

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

NGUYỄN QUỐC HUY

**NGHIÊN CỨU MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG THỦY ĐỘNG LỰC
HỌC CỦA DÒNG NỐI TIẾP HỖN HỢP MẶT - ĐÁY - NGẬP
3 XOÁY SAU BẠC THỤT**

Chuyên ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình thủy

Mã số: 62580202

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI, NĂM 2017

Công trình này được hoàn thành tại Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Quốc gia
về Động lực học sông biển - Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học: PGS. TS Lê Văn Nghi

Phản biện 1: GS.TS. Nguyễn Thế Hùng

Phản biện 2: GS.TS. Nguyễn Chiến

Phản biện 3: PGS.TS. Vũ Hữu Hải

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp Viện họp tại
Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Vào hồi, ... giờ ..., ngày ... tháng ... năm 2017

Có thể tìm hiểu luận án tại:

Thư viện Quốc gia Việt Nam

Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết

Nước nhảy, nổi tiếp, tiêu năng là vấn đề phức tạp, đa dạng và luôn mang tính thời sự. Các dạng nổi tiếp chảy mặt, mặt đáy hỗn hợp với các trường hợp: bậc thụt phẳng và chiều cao bậc nhỏ; bậc thụt có góc hắt nhỏ hơn 15^0 và chiều cao bậc tương đối lớn; bậc thụt có góc hắt lớn hơn 15^0 và chiều cao bậc thụt rất nhỏ đã được nghiên cứu tương đối hoàn chỉnh.

Một hình thức nổi tiếp này còn ít được quan tâm với bậc thụt mũi hắt cong, có góc hắt lớn hơn 25^0 và chiều cao bậc thụt tương đối lớn, đó là dòng nổi tiếp hỗn hợp mặt – đáy – ngập 3 xoáy ở sau công trình tháo có bậc thụt.

Đề tài luận án “Nghiên cứu một số đặc trưng thủy động lực học của dòng nổi tiếp hỗn hợp mặt – đáy – ngập 3 xoáy sau bậc thụt” sẽ làm mở rộng hơn các hiểu biết về nước nhảy mặt, gồm: điều kiện hình thành và các đặc trưng thủy động lực học cơ bản của dòng chảy phễu, góp phần làm phong phú hơn các kết quả nghiên cứu thực nghiệm về nổi tiếp dòng chảy mặt, từng bước hoàn thiện lý luận, tính toán nước nhảy và tiêu năng ở hạ lưu công trình tháo.

Dòng chảy nổi tiếp hỗn hợp mặt – đáy – ngập 3 xoáy sau bậc thụt tạo cuộn nước hình phễu theo phương ngang xuôi chiều dòng chảy (Hình 1.2). Do vậy, trong luận án này dòng nổi tiếp hỗn hợp mặt – đáy – ngập 3 xoáy sau bậc thụt được gọi tắt là dòng chảy phễu.

2. Mục đích nghiên cứu

Nghiên cứu điều kiện hình thành và một số đặc trưng thủy động lực học cơ bản của dòng chảy phễu (kích thước hình học các khu xoáy, phân bố vận tốc). Từ đó đề xuất hình thức kết cấu bậc thụt để phát sinh và ổn định dòng chảy phễu sau công trình tháo.

3. Phạm vi nghiên cứu

Bài toán phẳng, dòng chảy không đều biến đổi dần; dòng chảy tự do không điều tiết qua cửa van; số Froude $Fr=1,35\div 4,5$; bậc thụt có tỷ lệ $a/P=0,14\div 0,46$; mũi hắt cong, dạng liên tục (không có rãnh), góc hắt $\theta=25^0\div 51^0$, đỉnh mũi hắt thấp hơn mực nước hạ lưu.

4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu được áp dụng trong luận án gồm: Phân tích lý luận để xác định nội dung và hướng nghiên cứu; thí nghiệm trên mô hình vật lý xác định các thông số hình học, đặc trưng thủy động lực học dòng chảy phễu;

phân tích thứ nguyên, định lý hàm số π xác định các chuỗi thí nghiệm; phân tích hồi quy tuyến tính đa biến để thiết lập các quan hệ thực nghiệm.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Ý nghĩa khoa học: Luận án đã làm sáng tỏ và mở rộng hơn các hiểu biết về nước nhảy mặt, đặc biệt là dòng chảy phễu ở hạ lưu công trình tháo, về điều kiện hình thành và các đặc trưng thủy động lực học cơ bản của nó;

Luận án cũng làm phong phú hơn các kết quả thực nghiệm về dòng chảy phễu, từng bước góp phần hoàn thiện lý luận nghiên cứu, tính toán nước nhảy và tiêu năng dòng chảy ở hạ lưu công trình tháo.

Ý nghĩa thực tiễn: Từ các điều kiện hình thành, tồn tại và các đặc trưng cơ bản của dòng chảy phễu, luận án đã xác định được cơ sở khoa học để thiết kế kết cấu bậc thụt có chiều cao, mũi cong và góc hắt lớn nhằm tạo ra dạng tiêu năng dòng chảy phễu cho hạ lưu công trình, tạo thêm lựa chọn có lợi về kinh tế, kỹ thuật khi thiết kế xây dựng, nâng cấp, sửa chữa, vận hành các công trình tháo.

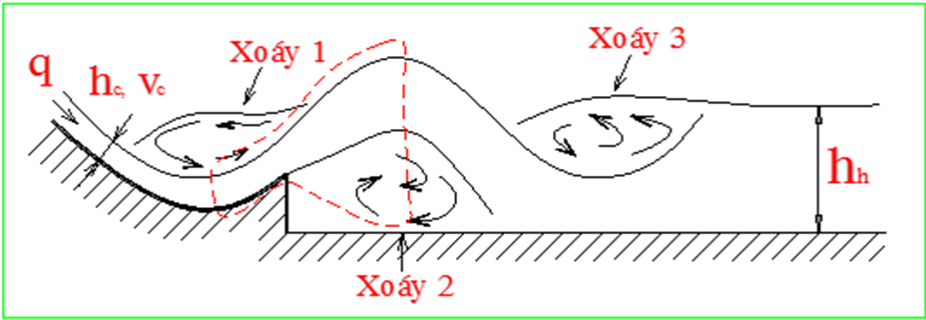
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ CÁC NGHIÊN CỨU NỐI TIẾP, TIÊU NĂNG

1.1. Khái niệm chung về nước nhảy, nối tiếp và tiêu năng ở hạ lưu công trình tháo

Nước nhảy là hiện tượng thường gặp ở hạ lưu công trình tháo, đặc trưng cho quá trình chuyển đổi xiết – êm. Việc nghiên cứu các đặc trưng của nó có ý nghĩa đặc biệt trong việc thiết kế tiêu năng.

Các hình thức nối tiếp ở hạ lưu đa phần được gắn với sự hình thành nước nhảy bao gồm: nối tiếp chảy đáy - gắn liền với nước nhảy đáy; nối tiếp chảy mặt, gắn liền với nước nhảy mặt; ngoài ra còn có những dạng nối tiếp khác không qua nước nhảy như nối tiếp qua dòng phun tự do

Nối tiếp chảy mặt có nhiều trạng thái chuyển tiếp khác nhau, nó phụ thuộc vào kết cấu bậc thụt và mực nước hạ lưu. Khi chiều cao bậc thụt nhỏ, góc hắt lớn hơn 16^0 , nối tiếp dòng đa xoáy sau đập tràn là các nghiên cứu về bồn tiêu năng. Khi chiều cao bậc thụt tương đối lớn, góc hắt lớn hơn 25^0 , mực nước hạ lưu ngập mũi hắt khiến cho dòng chảy có lưu tốc cao sinh ra dòng xoáy cuộn ở bề mặt và sóng dâng cao ở phía sau bậc thụt tác dụng tương hỗ với dòng xoáy ở mặt, đáy hình thành 3 xoáy (Hình 1.2), đó là nối tiếp dòng chảy phễu.



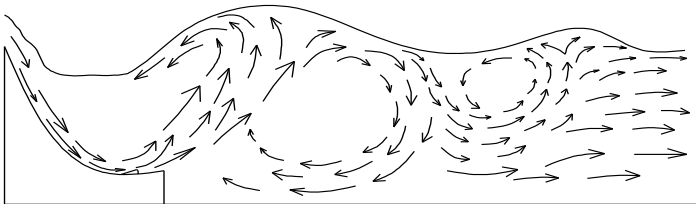
Hình 1.2. Hình dạng dòng chảy phức sau bậc thụt (Nanjing Hydraulic Research Institute, 1985)

1.2. Các phương pháp nghiên cứu thủy lực hạ lưu công trình tháo

Vấn đề thủy lực công trình, đặc biệt thủy lực ở hạ lưu là một vấn đề phức tạp và vô cùng lý thú. Nó đã, đang và sẽ thu hút nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu, với mục đích tìm hiểu các đặc trưng về hình thức, nội bộ, trạng thái dòng chảy. Từ trước tới nay, có các phương pháp sau được sử dụng: + Nghiên cứu bằng thực nghiệm; + Nghiên cứu bằng giải tích (giải tích toán học và giải tích số) hay được gọi là nghiên cứu lý thuyết; + Nghiên cứu bằng các mô hình số trị, mô hình toán; + Nghiên cứu bằng bán thực nghiệm (kết hợp giữa nghiên cứu bằng thực nghiệm và giải tích).

1.3. Nối tiếp bằng dòng đa xoáy ở hạ lưu bậc thụt nhỏ - Bồn tiêu năng

Bồn tiêu năng là kết cấu mũi hắt có góc hắt lớn hơn 16° đặt ở chân phía hạ lưu của đập tràn với chiều cao bậc thụt rất nhỏ, có tác dụng hắt dòng chảy lên mặt hình thành dòng chảy đa xoáy đứng ở hạ lưu công trình tháo (Hình 1.3).



Hình 1.3. Dòng đa xoáy của bồn tiêu năng (Peterka, 1958)

Bồn tiêu năng được nghiên cứu chủ yếu bởi các nhà khoa học phương Tây, các nghiên cứu chủ yếu bằng thực nghiệm. Trong đó phải kể đến nghiên

cứ của Peterka thông qua công trình tiêu năng được gọi là bể VII, ông đã thí nghiệm với nhiều thiết kế mũi hắt khác nhau: loại liên tục và không liên tục (không có rãnh và có rãnh). Từ kết quả thực nghiệm, Peterka đề xuất các nguyên tắc thiết kế bồn tiêu năng đảm bảo tiêu năng hiệu quả và không gây xói lở ở hạ lưu như sau:

+ Giá trị nhỏ nhất của bán kính mũi phun R_{\min}/h_c phụ thuộc vào số Froude (Fr_c) được xác định bằng công thức (1-1), là đại lượng tác động đến hình thành dạng tiêu năng này.

$$\frac{R_{\min}}{h_c} = 4(Fr_c)^{1,5}[1 + (0,5)Fr_c^2] \cong 2,2Fr_c^{0,5} \quad (1-1)$$

+ Chiều sâu hạ lưu nhỏ nhất (T_{\min}) và lớn nhất (T_{\max}) phải được đảm bảo rằng: ứng với tất cả các giá trị lưu lượng phải nằm trong khoảng $T_{\min} < T < T_{\max}$.

1.4. Nước nhảy mặt, mặt đáy hỗn hợp và nối tiếp, tiêu năng sau bậc thụt có góc hắt nhỏ hơn 15°

Nước nhảy mặt là nước nhảy trong nối tiếp chảy mặt, tạo ra sau một bậc thụt đứng được bố trí ở cuối ngưỡng tràn.

Nước nhảy mặt và tiêu năng mặt cũng được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu bằng lý thuyết kết hợp thực nghiệm, cho những kết quả khá trùng khớp. Điển hình như các nghiên cứu của M.D. Chertousov, M.A. Mikhailiev, T.N. Astaficheva, A.A. Kaverin, B.M. Ivanov. Ở Việt Nam chỉ duy nhất có nghiên cứu của Lưu Như Phú (1986) về nước nhảy sóng sau bậc thụt. Các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào xác định chiều cao bậc thụt nhỏ nhất hình thành nước nhảy mặt, độ sâu hạ lưu giới hạn hình thành nước nhảy mặt, chiều cao sóng lớn nhất sau bậc thụt, phân bố vận tốc, áp lực thủy động tác dụng lên bản đáy sau bậc thụt... Tuy nhiên các nghiên cứu chủ yếu là đối với bậc thụt đứng, mũi bậc phẳng hoặc với góc hắt nhỏ ($\theta=0^\circ \div 15^\circ$).

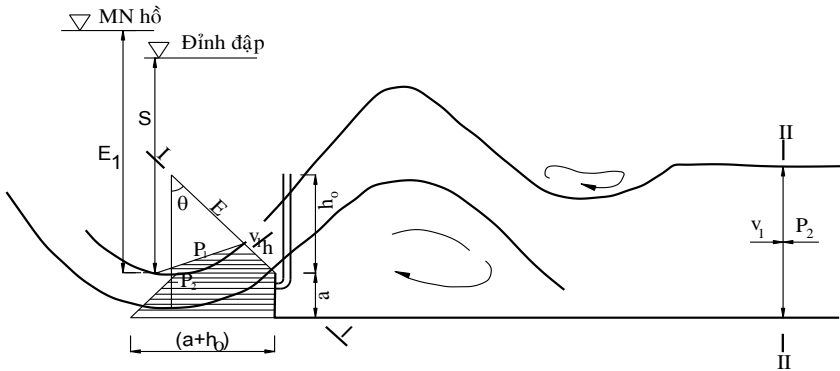
Nói chung, nước nhảy mặt có khả năng tiêu hao năng lượng lớn qua khu nước chảy cuộn ở đáy và khu chảy cuộn ở mặt; lưu tốc ở đáy nhỏ không gây ra xói lở nghiêm trọng nên giảm bớt yêu cầu gia cố hạ lưu. Do đó ở công trình lớn, cột nước cao thường cố gắng tạo nên nối tiếp chảy mặt. Nhưng vì các trạng thái của nước nhảy mặt diễn biến phức tạp khi mực nước hạ lưu thay đổi (có thể sự nối tiếp từ hình thức có lợi chuyển sang hình thức bất lợi). Vì vậy nó ít được ứng dụng hơn so với nước nhảy đáy. Ở Việt Nam chỉ có 02 công trình áp dụng hình thức tiêu năng mặt là đập tràn Thạch Nham, tỉnh Quảng Ngãi và đập tràn thủy điện Thác Bà, tỉnh Yên Bái.

1.5. Nối tiếp và tiêu năng dòng hỗn hợp mặt – đáy – ngập 3 xoáy sau bậc thụt có góc hất lớn hơn 25° (dòng chảy phễu)

Việc tạo ra dạng nối tiếp dòng chảy phễu được dựa trên cơ sở lợi dụng bán kính cong ngược của mũi bậc có góc hất lớn hơn 25° để hình thành cuộn nước dạng phễu. Nối tiếp dòng chảy phễu khác dòng mặt với góc hất nhỏ hơn 15° ở chỗ nhờ có bán kính cong ngược lớn, dòng phễu được nâng lên với một vận tốc lớn, tạo thành các sóng, độ cong của sóng lớn, tạo sóng cuộn ngay trên bề mặt làm năng lượng tiêu tán trên bề mặt dòng chảy, giảm hiện tượng xói hạ lưu.

Tiêu năng dòng chảy phễu được ứng dụng có hiệu quả ở một số công trình cụ thể của Mỹ, Ấn Độ, Nhật Bản, Trung Quốc...

Có rất ít công trình nghiên cứu về tiêu năng dòng chảy phễu, chỉ thấy có kết quả nghiên cứu của Viện Nghiên cứu Thủy lực Nam Kinh, Trung Quốc đưa ra các dạng nối tiếp dòng chảy phễu và phương trình (1-31), (1-32), (1-33), (1-34) xác định độ sâu giới hạn của dòng chảy phễu:



Hình 1.16. Sơ đồ dòng chảy giới hạn tiêu năng dòng chảy phễu (Nanjing Hydraulic Research Institute, 1985)

+ Dạng phễu chuẩn – bán kính cong đứng của cung tròn đơn:

$$2Fr_1^2 \cos \theta + \eta_a \cos \theta - \eta_a^2 = \frac{2Fr_1^2}{\eta} + \eta^2 - \eta_a \eta (\cos \theta + 2\eta_a) \quad (1-31)$$

+ Dạng phễu kéo dài – hình dạng kéo dài tiếp tuyến của đầu mút phễu:

$$2Fr_1^2 \cos \theta + \cos^2 \theta - \eta_a^2 = \frac{2Fr_1^2}{\eta} + \eta^2 - 2\eta_c \eta_a \eta \quad (1-32)$$

Từ tài liệu thí nghiệm mô hình của 5 công trình, tổng kết rút ra được công thức kinh nghiệm về tỷ số tiêu áp của mặt đập là: $\eta = \frac{0,76}{q\sqrt{gS^{1,5}}}$ (1-33)

Ngoài ra, cũng từ số liệu thí nghiệm mô hình lập thành số không thứ nguyên: $\eta_c = \frac{h_1}{S}$ và $k_s = \frac{q}{\sqrt{gS^{1,5}}}$, cho công thức kinh nghiệm đối với mặt đập có trụ pin:

$$\eta_s = 0,67k_s^{0,93} \quad (1-34)$$

1.6. Kết luận chương 1

1. Nước nhảy, nối tiếp và tiêu năng là vấn đề phức tạp, đa dạng và luôn mang tính thời sự. Cùng với thời gian thực hiện luận án này vẫn có các nghiên cứu cơ bản về nước nhảy đáy, nước nhảy mặt, nước nhảy mặt đáy được công bố của các nhà khoa học Liên bang Nga.

2. Để xuất hiện nước nhảy mặt, chiều cao bậc thụt phải lớn hơn một giá trị a_{\min} được xác định bằng công thức thực nghiệm.

3. Các nghiên cứu về nước nhảy mặt chủ yếu đối với bậc thụt thẳng đứng, mũi hắt phẳng hoặc mũi hắt cong có góc hắt ($\theta=0^\circ \div 15^\circ$).

4. Dạng nối tiếp chảy mặt gắn liền với bậc thụt ngưỡng thấp, khi chiều cao bậc ngưỡng thay đổi, hình dạng nước nhảy ở hạ lưu cũng thay đổi theo, nếu chiều cao tương đối của bậc nhỏ so với độ sâu dòng chảy ở hạ lưu thì dòng chảy qua đó vẫn có dạng chảy đáy, ngược lại thì sinh nước nhảy mặt. Vị trí nước nhảy đáy hoàn chỉnh thay đổi, dưới tác dụng của chiều cao bậc sinh ra dòng chủ lưu tạo sóng mặt gây bất lợi về tiêu năng.

5. Dạng nối tiếp đa xoáy với bậc thụt rất nhỏ và góc hắt lớn của kết cấu tiêu năng bồn được các nhà khoa học phương Tây nghiên cứu rất tỉ mỉ. Tuy nhiên đó là các nghiên cứu thực nghiệm trong phòng, giới hạn chiều cao bậc thụt rất nhỏ $a = 0,05R$.

6. Dạng nối tiếp chảy mặt với mũi hắt cong có góc hắt lớn hơn 25° chỉ thấy có nghiên cứu của Viện nghiên cứu Thủy lực Nam Kinh, Trung Quốc trên cơ sở tài liệu nghiên cứu của một số công trình cụ thể nên khi áp dụng vào các công trình thực tế thường có tính phiến diện, ít phổ quát. Chưa có kết quả nghiên cứu về điều kiện hình thành và tiêu chí chuyển đổi từ chế độ chảy này sang chế độ chảy khác.

7. Các kết quả về đặc trưng thủy động lực học của nước nhảy mặt chủ yếu thu được từ phương pháp nghiên cứu thực nghiệm và bán thực nghiệm, tập trung vào giới hạn hình thành các dạng nối tiếp, các nghiên cứu lý thuyết thì chấp nhận giả thiết vận tốc phân bố đều, áp suất phân bố theo qui luật thủy tĩnh, xuất phát từ phương trình động lượng để xác định đường mặt nước của luồng

phun sau bậc thụt ở trạng thái phân giới 1, rất ít thấy các nghiên cứu đầy đủ về đặc trưng thủy động lực học của nối tiếp đa xoáy bằng lý thuyết.

8. Ở Việt Nam, nghiên cứu về nước nhảy sau bậc thụt chỉ duy nhất có công trình nghiên cứu của PGS.TS Lưu Như Phú (1986). Công trình ứng dụng tiêu năng mặt cũng chỉ có Trần Thạch Nham, tỉnh Quảng Ngãi và Trần Thác Bà, tỉnh Yên Bái. Trong giai đoạn hiện nay, nhiều công trình thủy lợi, thủy điện có điều kiện để áp dụng tiêu năng dòng mặt hoặc tiêu năng dòng chảy phổ với mong muốn giảm giá thành và thi công nhanh, nhưng do những hạn chế hiểu biết về chúng mà vẫn được thiết kế là tiêu năng đáy như Trần Bản Mông, Trần Khe Bó tỉnh Nghệ An...

9. Xét trên quan điểm kết cấu công trình, dòng hỗn hợp mặt – đáy – ngập 3 xoáy (dòng chảy phổ) là sự kết hợp giữa bốn tiêu năng theo dạng bề tiêu năng số VII của Peterka (Nhà khoa học Hoa Kỳ) với bậc thụt cao để tạo ra nước nhảy mặt với nhiều kết quả nghiên cứu của các nhà khoa học Nga và Trung Quốc. Với nhận xét đó sẽ định hướng cho nghiên cứu sinh kế thừa các phương pháp nghiên cứu và tư duy khoa học của các tác giả đi trước trong vấn đề nghiên cứu của mình.

10. Mô hình vật lý và mô hình toán là hai phương pháp nghiên cứu cơ bản được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu thủy lực hạ lưu. Với đối tượng nghiên cứu của luận án thì mô hình vật lý có hiệu quả hơn mô hình toán vì đặc điểm phức tạp của cấu trúc dòng chảy. Mô hình toán có thể được sử dụng kết hợp với mô hình vật lý nhưng về thời gian và công sức bỏ ra để tính toán bằng mô hình 3D hiện nay có chi phí không kém thí nghiệm mô hình vật lý.

Vì vậy, dòng chảy phổ cần được nghiên cứu tiếp về điều kiện hình thành, cũng như các đặc trưng thủy động lực học của nó, giúp lựa chọn khi thiết kế công trình tiêu năng và sử dụng phương pháp mô hình vật lý để nghiên cứu.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP LUẬN NGHIÊN CỨU CÁC ĐẶC TRƯNG THỦY ĐỘNG LỰC HỌC CỦA DÒNG NỐI TIẾP HỖN HỢP MẶT – ĐÁY – NGẬP 3 XOÁY SAU BẬC THỤT

2.1. Cơ sở lý thuyết tương tự và mô hình hóa

Lý thuyết thứ nguyên và tương tự là cơ sở lý luận của mô hình hóa các hiện tượng thủy lực.

Để đảm bảo cho phép chuyển những kết quả thu được trên mô hình sang thực tế, giữa mô hình và nguyên hình phải đảm bảo các điều kiện tương tự.

+ Đặc trưng cho quá trình chuyển động không dừng có tiêu chuẩn Strukhan: $S_h = \frac{b}{vt}$

+ Đặc trưng cho lực khối có tiêu chuẩn Froude: $Fr = \frac{V}{\sqrt{gb}}$

+ Đặc trưng cho lực nhớt có tiêu chuẩn Reynolds: $Re = \frac{vb\rho}{\mu}$

+ Đặc trưng cho áp lực có tiêu chuẩn Euler: $Eu = \frac{p}{\rho v^2}$

Trong trường hợp nghiên cứu của luận án, dòng chảy qua đập tràn là dòng không áp, lực khối chủ yếu là trọng lực, vì vậy sử dụng tiêu chuẩn Froude để thiết lập mô hình nghiên cứu. Các tiêu chuẩn còn lại là điều kiện thỏa mãn.

2.2. Lập phương trình nghiên cứu thực nghiệm

Sử dụng phương pháp phân tích thứ nguyên và định lý π xây dựng được phương trình (2-12) để xác định các chuỗi thí nghiệm và các yếu tố tác động đến đại lượng nghiên cứu thực nghiệm tổng quát của luận án.

$$F \left[\frac{h_h}{a}, \frac{R}{a}, \frac{P}{a}, \theta, \frac{D}{a}, \frac{a}{h_k}, \frac{1}{Re}, \frac{L}{a}, \frac{aV}{q} \right] = 0 \quad (2-12)$$

+ Xác định chiều sâu hạ lưu giới hạn xuất hiện dòng chảy phễu thì (2-12) trở thành:

$$\frac{h_{gh}}{a} = F_1 \left[\frac{P}{a}, \frac{a}{h_k}, \frac{D}{a}, \theta \right] \quad (2-13)$$

+ Xét yếu tố độ dài xoáy cuộn trong nội bộ dòng chảy phễu thì (2-12) trở thành:

$$\frac{L}{a} = F_2 \left[\frac{h_h}{a}, \frac{P}{a}, \frac{a}{h_k}, \frac{D}{a}, \theta \right] \quad (2-14)$$

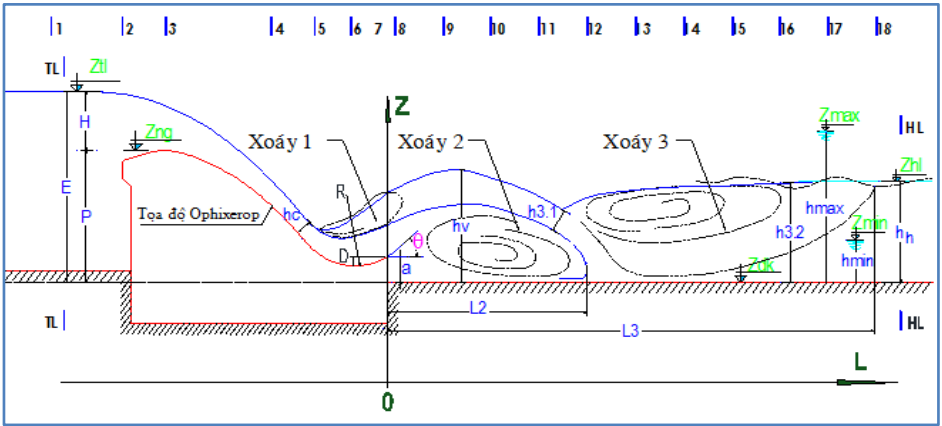
+ Xét lưu tốc trong nội bộ dòng chảy phễu thì (2-12) trở thành:

$$\frac{aV}{q} = F_3 \left[\frac{h_h}{a}, \frac{P}{a}, \frac{a}{h_k}, \frac{D}{a}, \theta \right] \quad (2-15)$$

2.3. Ứng dụng quy hoạch thực nghiệm trong nghiên cứu các đặc trưng thủy động lực học của dòng nối tiếp hỗn hợp mặt – đáy – ngập 3 xoáy sau bậc thụt (dòng chảy phễu)

Xét thực nghiệm yếu tố toàn phần 2 mức m yếu tố ảnh hưởng thì số thí nghiệm tối thiểu phải thực hiện là 2^m . Trong trường hợp nghiên cứu của luận án, các chuỗi thí nghiệm được lập là tổ hợp của các thông số: góc hất θ , bán kính mũi hất R, chiều cao bậc thụt a, chiều cao công trình P, tỷ lưu q (Hình 2.2). Như vậy số thí nghiệm cần thực hiện là: $N = 2^5 = 32$ thí nghiệm.

Xây dựng 9 kịch bản với các thông số đầu vào (Bảng 2.3), mỗi kịch bản thí nghiệm với bốn cấp lưu lượng lần lượt là $0,09 \text{ m}^3/\text{s/m}$, $0,18 \text{ m}^3/\text{s/m}$, $0,265 \text{ m}^3/\text{s/m}$ và $0,325 \text{ m}^3/\text{s/m}$. Tổng cộng có 33 trường hợp thí nghiệm, khi tổ hợp với mực nước hạ lưu có hơn 150 thí nghiệm đã được thực hiện.



Hình 2.2. Cấu tạo, thông số thủy lực dòng chảy nhiễu và vị trí mặt cắt đ

Bảng 2.3. Các thông số kích bản thí nghiệm

KB	Ký hiệu chi tiết kích bản	θ (độ)	R (cm)	P (cm)	a (cm)	D (cm)	a/P	D/a
1	$\theta = 51^\circ, R=17,8, a/P=0,32$	51	17,8	62,2	20,0	6,60	0,32	0,33
2	$\theta = 51^\circ, R=17,8, a/P=0,24$	51	17,8	55,6	13,3	6,60	0,24	0,50
3	$\theta = 51^\circ, R=17,8, a/P=0,14$	51	17,8	48,9	6,7	6,60	0,14	0,99
4	$\theta = 44^\circ, R=18,6, a/P=0,46$	44	18,6	62,2	28,9	5,22	0,46	0,18
5	$\theta = 40^\circ, R=21,7, a/P=0,39$	40	21,7	68,9	26,7	5,08	0,39	0,19
6	$\theta = 40^\circ, R=21,7, a/P=0,32$	40	21,7	62,2	20,0	5,08	0,32	0,25
7	$\theta = 40^\circ, R=21,7, a/P=0,24$	40	21,7	55,6	13,3	5,08	0,24	0,38
8	$\theta = 32^\circ, R=25,5, a/P=0,28$	32	25,5	62,2	17,6	3,87	0,28	0,22
9	$\theta = 25^\circ, R=29,6, a/P=0,32$	25	29,6	62,2	20,0	2,77	0,32	0,14
	Max	51	29,6	68,9	28,9	6,60	0,46	0,23
	Min	25	17,8	48,9	6,7	2,77	0,14	0,41

Khi nghiên cứu tương quan giữa nhiều đại lượng thường dùng mô hình hồi quy đa tuyến tính, hàm toán mô tả hệ là hàm hồi quy thực nghiệm (2-17):

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_mX_m \quad (2-17)$$

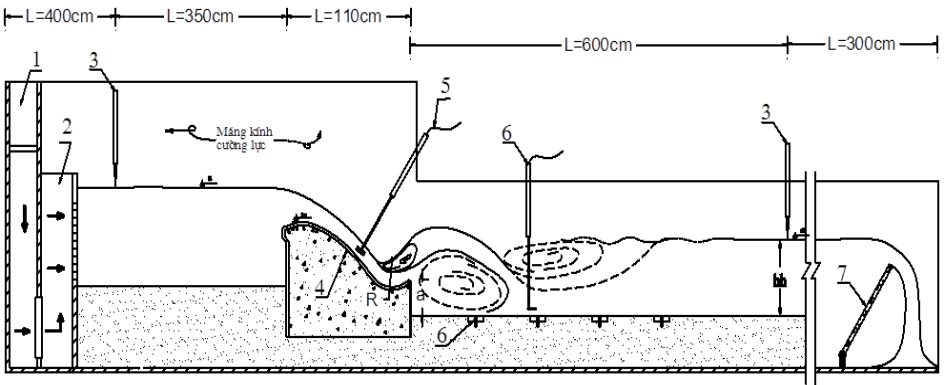
Từ số liệu thí nghiệm, các hệ số b_0, b_1, \dots, b_m được ước lượng nhờ các phần mềm có sẵn như: Microsoft Excel, SPSS, R.

Để kiểm định sự phù hợp của mô hình hồi quy tổng thể, sử dụng Sig.F làm căn cứ cho việc chấp nhận hay bác bỏ giả thuyết: Sig. F < α : Mô hình có ý nghĩa, Sig. F > α : Mô hình không có ý nghĩa. Thông thường chọn $\alpha=0,05$.

Để kiểm định công thức thực nghiệm được xây dựng từ mô hình hồi quy áp dụng phương pháp Holdout. Trong phương pháp này, số liệu thực nghiệm được chia làm 2 tập: tập lập công thức và tập kiểm định công thức.

Hệ số tương quan (r) là một chỉ số thống kê đo lường mối liên hệ tương quan giữa hai biến số x và y . $-1 \leq r \leq +1$, $r=0$ (hay gần 0) có nghĩa là hai biến số đó không tương quan, tương quan ít khi $|r| < 0,3$, tương quan khi $|r| = 0,3 \div 0,75$ và tương quan chặt khi $|r| > 0,75$, đồng biến khi $r > 0$, nghịch biến khi $r < 0$. Hệ số tương quan r có thể dễ dàng tính toán nhờ các phần mềm phân tích số liệu có sẵn.

2.4. Mô hình thí nghiệm



1-Máng lường cấp nước, 2-Khu lạng sóng, 3-Kim đo mực nước, 4-Đầu đo áp suất trung bình, 5- Đầu đo lưu tốc, 6-Đầu đo áp lực mạch động tại đáy, 7-Cửa xả.

Hình 2.4. Sơ đồ bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm tiến hành trên mô hình mặt cắt trong máng kính rộng $B=0,4m$ tại Trung tâm Nghiên cứu Thủy lực, Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Quốc gia về Động lực học sông biển, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam (Hình 2.4, Ảnh 2.1) và đảm bảo các yêu cầu thí nghiệm theo tiêu chuẩn Quốc gia Thí nghiệm mô hình thủy lực công trình thủy lợi, thủy điện (TCVN: 8214 – 2009).

Vị trí, mặt cắt đo trong thí nghiệm được bố trí tại các vị trí đặc thù nhằm mô tả chi tiết các đặc trưng thủy động lực học dòng chảy (Hình 2.2).



a. Mô hình đập tràn và mũi hút



b. Mô hình sau khi lắp đặt

Ảnh 2.1. Mô hình thí nghiệm

Thiết bị đo: + Lưu lượng: đo bằng máng lường chữ nhật, với ngưỡng là đập tràn thành mỏng, lưu lượng được xác định theo công thức Rehbock; + Cao độ mặt nước: sử dụng kim đo mực nước cố định, máy thủy chuẩn Ni04 và mia để đo cao độ mặt nước dòng chảy, kết hợp kiểm tra bằng thước thép; + Chiều dài nước nháy: đo bằng thước thép và thước cây; + Lưu tốc: đo bằng đầu đo điện tử E30, E40 và PEMS; + Hiệu quả tiêu năng: xác định bằng cách tính năng lượng tại hai mặt cắt thượng lưu và hạ lưu công trình.

Với mỗi cấp lưu lượng (Q), bằng cách điều chỉnh cửa van hạ lưu, có thể thay đổi độ mở với những bước rất nhỏ. Ứng với từng trạng thái dòng chảy nối tiếp, cố định mực nước hạ lưu và tiến hành đo đạc các thông số.

Sai số về lưu lượng 2%, sai số về lưu tốc: 3%, sai số về cao độ mực nước: 2,5%, sai số về chiều dài khu xoáy: 2,5%.

Trong điều kiện thí nghiệm của luận án: $Re_m=(9.000.000\div 325.000.000)>Re_{gh}=(5.000\div 10.000)$, nên dòng chảy trong mô hình sẽ làm việc trong khu tự động mô hình. Các kết quả nghiên cứu thí nghiệm trong luận án này hoàn toàn áp dụng được vào thực tế, khi sử dụng phép biến đổi ra nguyên hình với tỷ lệ $\lambda \leq 100$, với công trình lớn hơn thì vẫn có thể tham khảo tốt.

2.5. Kết luận chương 2

1. Trên cơ sở lý thuyết tương tự, mô hình hóa, quy hoạch thực nghiệm xây dựng được cơ sở phương pháp luận để xác định các đặc trưng thủy động lực học của dòng chảy phức.

2. Với đối tượng nghiên cứu và trong các điều kiện đã cho, mô hình được xây dựng đảm bảo các thí nghiệm tiến hành trong khu tự động mô hình đối với

sức cản và các kết quả nghiên cứu thí nghiệm trong luận án này có thể áp dụng vào thực tế.

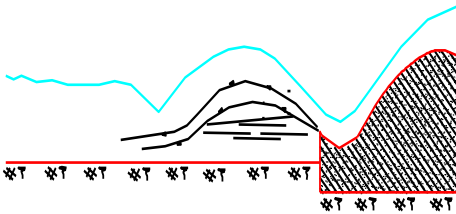
3. Qua đánh giá sai số, cho thấy các phép đo trên mô hình có sai số mắc phải nhỏ hơn 3%.

CHƯƠNG 3: ĐẶC TRƯNG THỦY ĐỘNG LỰC HỌC CỦA DÒNG NỐI TIẾP HỖN HỢP MẶT – ĐÁY – NGẬP SAU BẬC THỤT

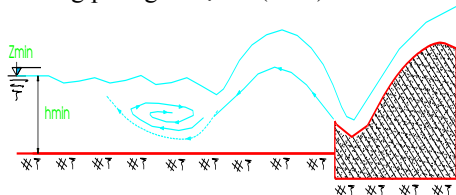
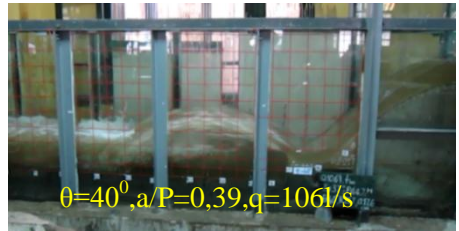
3.1. Giới hạn trên và giới hạn dưới hình thành dòng nối tiếp hỗn hợp mặt – đáy – ngập sau bậc thụt (dòng chảy phễu)

3.1.1. Sự chuyển đổi chế độ nối tiếp ở hạ lưu bậc thụt có tỷ lệ $a/P=0,14 \div 0,46$ và góc hất $\theta=25^0 \div 51^0$

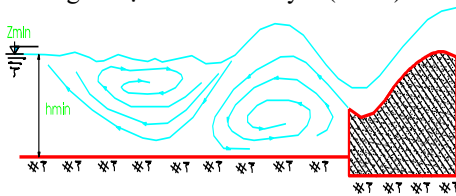
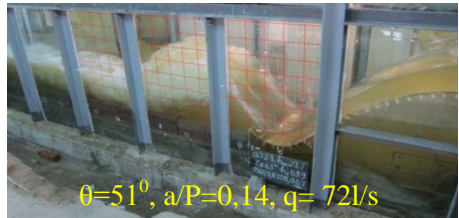
Từ thượng lưu về hạ lưu, các xoáy được đánh số theo thứ tự 1, 2, 3. Xoáy 1 là xoáy xuôi, ngược chiều kim đồng hồ, xuất hiện ở ngay trên mũi phống. Xoáy 2 là xoáy ngược, thuận chiều kim đồng hồ, xuất hiện ở sau bậc thụt. Xoáy 3 là xoáy xuôi, ngược chiều kim đồng hồ, xuất hiện ở sau luồng phun, sau xoáy 2. Có 7 dạng nối tiếp cơ bản lần lượt từ mực nước hạ lưu thấp đến cao (Hình 3.1)



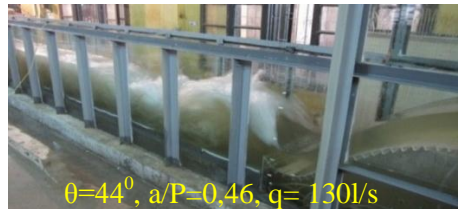
a. Dòng phóng xạ tự do (HT1)

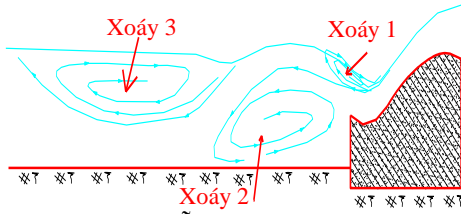


b. TT giới hạn dưới có xoáy 3 (TT2a)

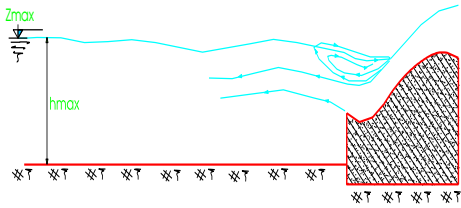
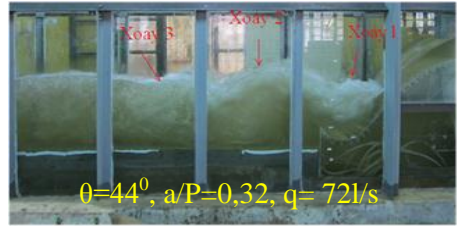


c. TT giới hạn dưới có xoáy 2, 3 (TT2b)

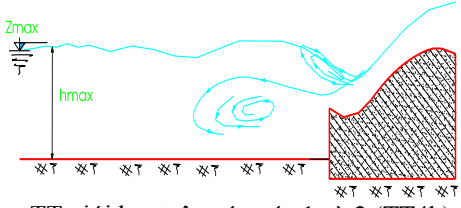
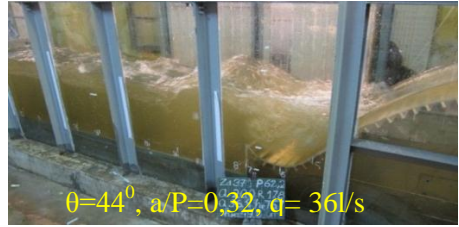




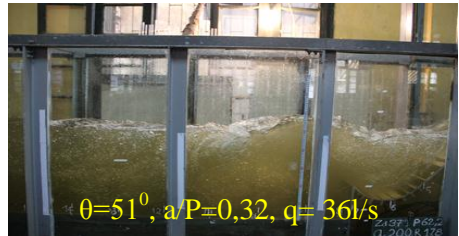
d. Dòng chảy phễu (HT3)



e. TT giới hạn trên có xoáy 1 (TT4a)



g. TT giới hạn trên có xoáy 1 và 2 (TT4b)



Hình 3.1. Các dạng nổi tiếp ở hạ lưu bậc thụt có tỷ lệ $a/P=0,14 \div 0,46$ và góc hất $\theta=25^{\circ} \div 51^{\circ}$

3.1.2. Dòng chảy phễu và trạng thái giới hạn

Dòng chảy phễu là dòng nổi tiếp hỗn hợp mặt – đáy – ngập xuất hiện đồng thời 3 xoáy theo chiều đứng ở hạ lưu bậc thụt (Hình 3.1d).

Trạng thái giới hạn dưới là trạng thái bắt đầu xuất hiện cả 3 xoáy 1, 2 và 3. Khi chiều sâu hạ lưu nhỏ hơn h_{\min} có 2 trường hợp xảy ra: xuất hiện cả xoáy 2 và 3 (Hình 3.1c) là 25/32 lần và chỉ xuất hiện xoáy 3 (Hình 3.1b) là 7/32 lần trước khi xuất hiện cả 3 xoáy.

Trạng thái giới hạn trên là trạng thái kết thúc xuất hiện đồng thời cả 3 xoáy 1, 2 và 3. Khi độ sâu dòng chảy lớn hơn h_{\max} cũng có 2 trường hợp xảy ra: xuất hiện đồng thời xoáy 1 và 2 (Hình 3.1g) là 5/32 lần và chỉ xuất hiện xoáy 1 (Hình 3.1e) là 28/32 lần sau khi xuất hiện cả 3 xoáy.

3.1.3. Tương quan của độ sâu giới hạn và các biến thực nghiệm

Bằng cách phân tích tương quan, sử dụng phần mềm xử lý số liệu thực nghiệm thu được mối tương quan đơn biến của các đại lượng cần khảo sát với các

biến thực nghiệm và các biến không thứ nguyên. Từ đó lựa chọn phương trình thực nghiệm xác định chiều sâu giới hạn từ các đại lượng không thứ nguyên là:

$$\frac{h_{gh}}{h_k} = f_1 \left[\frac{a}{P}, \frac{a}{h_k}, \frac{D}{a} \right] \text{ và } \frac{h_{gh}}{h_k} = f_{11} \left[\frac{a}{P}, \frac{a}{h_k} \right]$$

để lựa chọn một công thức thực nghiệm tốt nhất.

3.1.4. Độ sâu dòng chảy nhỏ nhất và lớn nhất hình thành dòng chảy phễu

Để xây dựng công thức tính độ sâu dòng chảy nhỏ nhất (h_{\min}) và lớn nhất (h_{\max}) là các độ sâu giới hạn xuất hiện dòng chảy phễu. Sử dụng phương pháp phân tích hồi quy tuyến tính đa biến, qua thử nghiệm với nhiều dạng hàm khác nhau, dạng hàm phù hợp để xây dựng công thức nghiệm xác định độ sâu giới hạn hình thành dòng chảy phễu là hàm tuyến tính và hàm mũ.

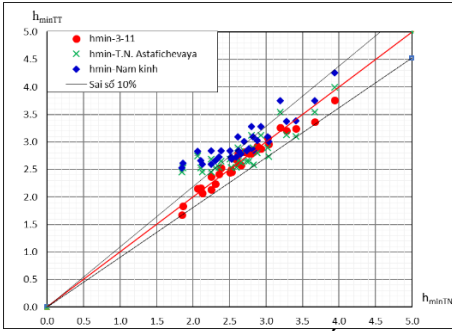
Tập số liệu thí nghiệm được chia thành 2 tập: Tập lập công thức gồm 25 số liệu thí nghiệm của 7 kích bản, 5 góc hắt ($25^0, 32^0, 40^0, 44^0, 51^0$), 5 giá trị a/P (0,24; 0,28; 0,32; 0,39; 0,46); tập kiểm định công thức dùng để đánh giá sai số của công thức gồm 7 số liệu thí nghiệm của hai trường hợp góc hắt 51^0 có $a/P=0,14$ và góc hắt 40^0 có $a/P=0,32$. Sai số trong luận án này được tính là sai số tương đối $(h_{\min}-h_{tt})/h_{\min}$.

Từ số liệu thí nghiệm, sử dụng công cụ phân tích hồi quy xác định các hệ số của phương trình hàm thực nghiệm. Kết quả cho thấy $\text{Sig.F} < 0,05$, vì vậy các hàm hồi quy giả thiết là phù hợp với các thông số thực nghiệm. So sánh sai số và mức độ tương quan lựa chọn được công thức (3-11) xác định chiều sâu hạ lưu nhỏ nhất h_{\min} (sai số chuẩn 0,03; hệ số tương quan 0,97; sai số mắc phải lớn nhất với tập lập công thức là 6,3% và tập kiểm định công thức là 9,4%); công thức (3-12) xác định chiều sâu hạ lưu lớn nhất h_{\max} (sai số chuẩn 0,02; hệ số tương quan 0,99; sai số mắc phải lớn nhất với tập lập công thức là 5,5% và tập kiểm định công thức là 9,3%).

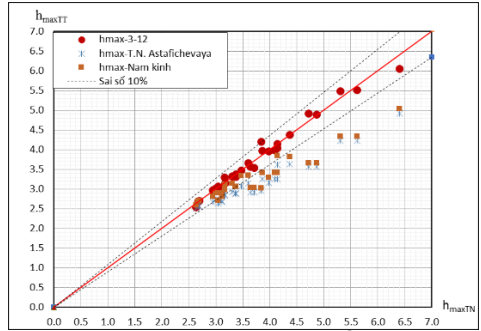
$$\frac{h_{\min}}{h_k} = 1,906 \left(\frac{a}{P} \right)^{-0,117} \left(\frac{a}{h_k} \right)^{0,355} \left(\frac{a}{D} \right)^{0,122} \quad (3-11)$$

$$\frac{h_{\max}}{h_k} = 1,584 \left(\frac{a}{P} \right)^{-0,601} \left(\frac{a}{h_k} \right)^{0,695} \left(\frac{a}{D} \right)^{0,02} \quad (3-12)$$

Hình 3.2, Hình 3.3 cho thấy kết quả tính toán theo công thức (3-11) và (3-12) rất tập trung và nằm trong phạm vi sai số nhỏ hơn 10%; đối với kết quả tính toán theo công thức (1-14), (1-15) của T.N.Astaficheva; công thức (1-17), (1-18) của Viện Nghiên cứu Thủy lực Nam Kinh, Trung Quốc thiết lập có sai số lớn hơn 10%.

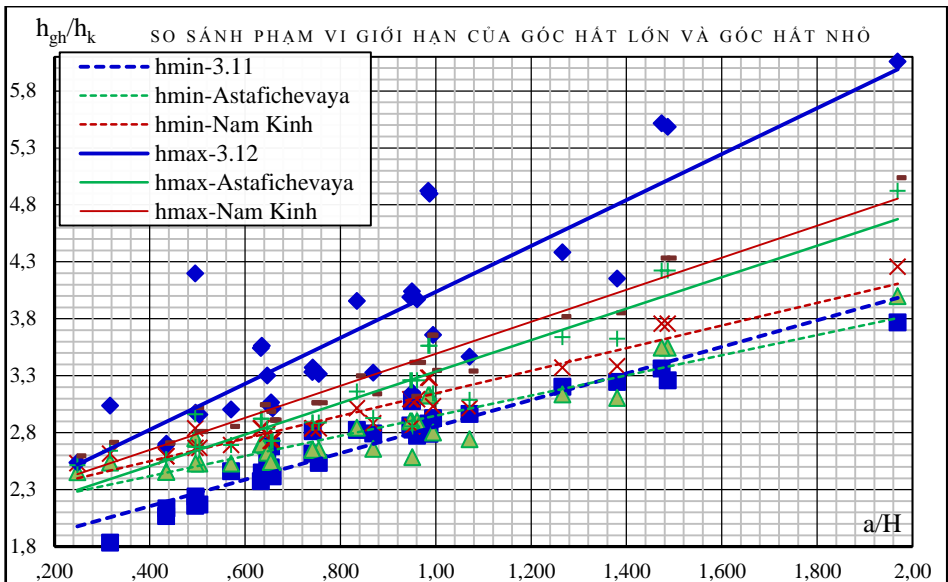


Hình 3.2. Quan hệ giữa số liệu thí nghiệm và số liệu tính toán h_{min}



Hình 3.3. Quan hệ giữa số liệu thí nghiệm và số liệu tính toán h_{max}

Căn cứ số liệu thí nghiệm và kết quả tính toán thiết lập quan hệ (Hình 3.6). Quan hệ này cho thấy: + Tại đầu dưới trục hoành khi $a/H=0,25$ với góc hất nhỏ hai đường giới hạn trên và dưới trùng nhau, còn với góc hất lớn $\Delta h_{gh}=0,56h_k$; + Khi giá trị $a/H \approx 2,0$ phạm vi dòng chảy ổn định giữa hai trạng thái giới hạn của dạng góc hất nhỏ là $\Delta h_{gh}=0,92h_k$ còn với dạng góc hất lớn $\Delta h_{gh}=2,5h_k$. Điều này rất có ý nghĩa khi ứng dụng tiêu năng dòng phễu ở hạ lưu công trình tháo.



Hình 3.6. Quan hệ h_{gh}/h_k và a/H của góc hất nhỏ hơn 15° và góc hất lớn hơn 25°

3.2. Đặc trưng hình dạng của dòng chảy phễu

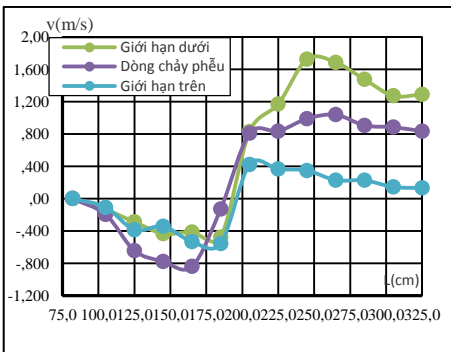
Với cách xây dựng công thức thực nghiệm tại mục 3.1, so sánh sai số và mức độ tương quan lựa chọn được công thức (3-15) xác định chiều cao cột nước vòng lớn nhất với sai số chuẩn là 0,04, hệ số tương quan là 0,98; sai số mắc phải lớn nhất của tập lập công thức là 7,9% và tập kiểm định công thức là 4,3%.

$$\frac{h_v}{a} = 1,342 \left(\frac{h_k}{a}\right)^{0,138} \left(\frac{D}{a}\right)^{0,016} \left(\frac{E}{a}\right)^{0,648} \quad (3-15)$$

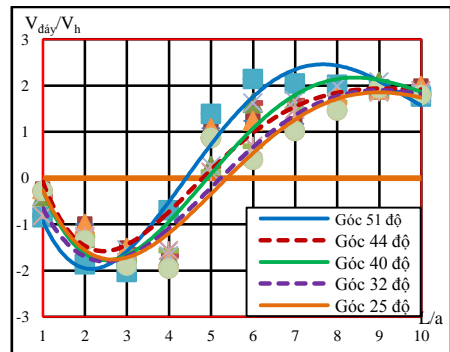
Từ kết quả thực nghiệm cho thấy: $1,2 \leq L_2/h_v \leq 2,0$; $2,4 \leq L_3/h_v \leq 4,4$. Công thức kinh nghiệm (3-16), (3-17) được lập để tính giới hạn của các khu xoáy ở hạ lưu bậc thụt khi có dòng chảy phễu tương ứng với các trường hợp xuất hiện nhiều nhất:

$$\frac{L_2}{h_v} = (1,4 \div 1,8) \quad (3-16); \quad \frac{L_3}{h_v} = (3,0 \div 3,7) \quad (3-17)$$

3.3. Phân bố lưu tốc, cấu trúc dòng chảy phễu



Hình 3.21. Phân bố lưu tốc đáy ở hạ lưu theo các trạng thái nổi tiếp



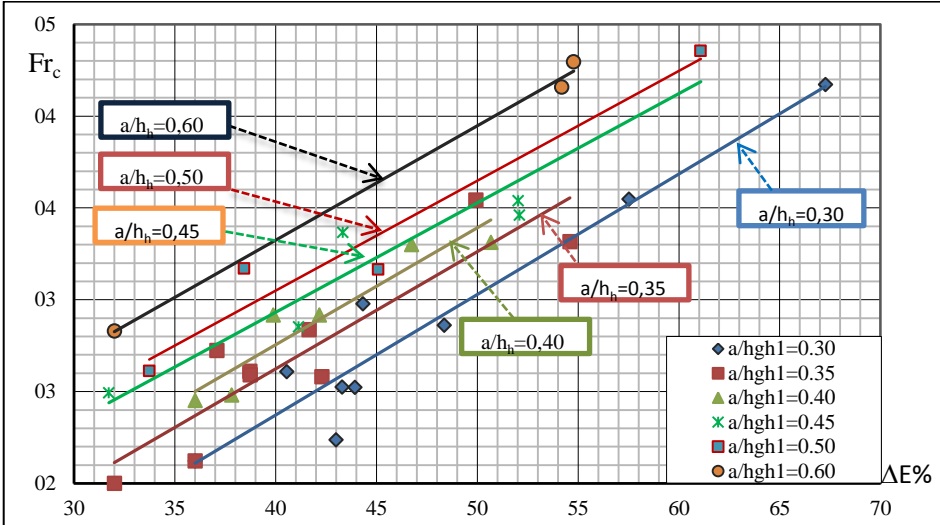
Hình 3.24. Phân bố lưu tốc đáy ở hạ lưu bậc thụt của dòng chảy phễu

Từ kết quả thí nghiệm, lập các quan hệ cho thấy: + Lưu tốc trung bình mặt cắt lớn nhất xuất hiện tại vị trí co hẹp (vị trí cuối ngưỡng, bắt đầu kết cấu gầu phễu) và vị trí mũi hắt; + Trên kênh hạ lưu, giá trị lưu tốc trung bình lớn nhất xuất hiện ở hình thức dòng phóng tự do, tại các vị trí ngay trước và sau điểm rơi của luồng phóng; + Khu vực ngay sau mũi, dòng chảy đổ xuống hạ lưu, giá trị lưu tốc giảm dần; + Lưu tốc đáy lớn nhất xuất hiện tại trường hợp dòng chảy ở trạng thái giới hạn dưới, gấp 2 lần lưu tốc đáy trong trường hợp dòng chảy phễu (Hình 3.21); + Độ suy giảm giá trị lưu tốc đáy dọc theo kênh hạ lưu khi tỷ lệ

h_h/h_k nhỏ của trạng thái dòng phóng tự do (khi $h_h < h_{\min}$) nhanh hơn so với trạng thái chảy đầy ngập và dòng chảy phễu (tức $h_h > h_{\min}$); + Lưu tốc đáy dòng quần (đáy xoáy 2) và lưu tốc đáy dòng xuôi trên kênh hạ lưu (đáy xoáy 3) gần đối xứng nhau, giá trị lưu tốc lớn nhất đạt khoảng 2 lần giá trị lưu tốc sau nước nhảy $V_{\text{đáyHL,max}} = 2V_h$ ($V_h = q/h_h$) (Hình 3.24).

3.4. Sự tiêu hao năng lượng của dòng chảy phễu

Trên cơ sở kết quả thí nghiệm, lập quan hệ ΔE và số Froude (Hình 3.26). Quan hệ này cho thấy trường hợp dòng chảy phễu ($h_{\min} < h_h < h_{\max}$) năng lượng được tiêu hao nhờ sự xáo trộn của 3 xoáy cuộn, sự tiêu hao năng lượng đạt mức trên 30% tới trên 60% và phụ thuộc vào giá trị a/h_h . Đây là trạng thái ổn định tốt nhất trong các trạng thái nối tiếp hạ lưu với lưu tốc đáy nhỏ và sóng trên mặt hạ lưu là nhỏ nhất.



Hình 3.26. Quan hệ hiệu quả tiêu hao năng lượng $\Delta E\% \sim Fr_c$ theo a/h_h

3.5. Kết luận chương 3

1. Dòng chảy phễu là một dạng nước nhảy mặt – đáy – ngập hỗn hợp được sinh ra trên kết cấu mũi hắt cong, góc hắt $\theta = 25^\circ \div 51^\circ$, chiều cao bậc thụt $a/P = 0,14 \div 0,46$ có nhiều đặc tính nổi trội hơn so với nước nhảy mặt đáy sau bậc thụt với góc hắt $< 15^\circ$. Khi xuất hiện dòng chảy phễu, ở hạ lưu không có sóng lan truyền dài ở hạ lưu, khả năng tiêu hao năng lượng lớn 30% ÷ 60%, lưu tốc đáy nhỏ.

2. Nối tiếp ở hạ lưu bậc thụt mũi hất cong, góc hất $\theta=25^0\div51^0$, chiều cao bậc thụt $a/P=0,14\div0,46$ chuyển đổi qua 7 dạng cơ bản (1) từ nối tiếp phóng xa bằng dòng xiết – HT1, (2) trạng thái giới hạn dưới – TT2 (TT2a và TT2b), (3) dòng chảy phễu – HT3, (4) trạng thái giới hạn trên – TT4 (TT4a và TT4b) và (5) nối tiếp chảy đáy ngập – HT5. Trong 7 dạng nối tiếp này có 3 dạng được gọi là hình thức nối tiếp, 4 dạng được gọi là trạng thái là giới hạn để chuyển đổi hình thức nối tiếp. Các dạng nối tiếp thu được phù hợp với các kết quả nghiên cứu trước đây của D.I. Cumin, Viện Nghiên cứu Thủy lực Nam Kinh, Trung Quốc.

3. Bằng công thức thực nghiệm (3-11), (3-12) xác định được độ sâu dòng chảy nhỏ nhất (h_{\min}) và độ sâu dòng chảy lớn nhất (h_{\max}) là khoảng xuất hiện dòng chảy phễu. Với kết cấu bậc thụt có góc hất $\theta=25^0\div51^0$ cho khoảng xuất hiện dòng chảy phễu lớn hơn 2,5 lần so với bậc thụt có góc hất $\theta<15^0$. Điều này rất có ý nghĩa khi ứng dụng tiêu năng dòng chảy phễu ở hạ lưu công trình tháo.

4. Chiều cao nước vồng nhỏ nhất trong trường hợp dòng chảy phễu, đạt giá trị lớn nhất khi ở trạng thái giới hạn trên và có thể xác định được giá trị chiều cao nước vồng lớn nhất h_v bằng công thức thực nghiệm (3-15).

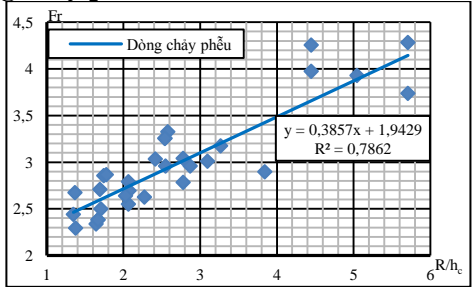
5. Tỷ lệ chiều dài xoáy 2 với chiều cao nước vồng lớn nhất biến thiên trong khoảng (1,2÷2,0) lần; tỷ lệ chiều dài xoáy 3 với chiều cao nước vồng lớn nhất biến thiên trong khoảng (2,4÷4,4) lần.

6. Dòng chảy phễu có lưu tốc đáy lớn nhất trên kênh hạ lưu bằng xấp xỉ 2 lần lưu tốc ở kênh hạ lưu, vị trí xuất hiện lưu tốc đáy lớn nhất cách chân mũi phóng một khoảng bằng (2÷5) chiều cao bậc thụt a.

CHƯƠNG 4: QUY TRÌNH TÍNH TOÁN LỰA CHỌN KẾT CẤU MŨI HẤT TẠO DÒNG NỐI TIẾP HỖN HỢP MẶT – ĐÁY – NGẬP 3 XOÁY

4.1. Lựa chọn kết cấu tiêu năng dòng chảy phễu

Kết cấu tiêu năng dòng chảy phễu là kết cấu tạo ra được dòng nối tiếp hỗn hợp mặt – đáy – ngập 3 xoáy sau bậc thụt trong một khoảng đủ lớn của sự thay đổi mực nước hạ lưu, có lưu tốc ở đáy kênh hạ lưu nhỏ, nằm xa công trình và mức độ tiêu hao năng lượng lớn.



Hình 4.3. Quan hệ giữa số Froude và R/h_c dòng chảy phễu

Phân tích tương quan cho thấy giữa số Froude và tỷ số R/h_c tương quan chặt với nhau ($r=0,89$), còn với các đại lượng không thứ nguyên khác thì tương quan ít hoặc không tương quan.

Lập biểu đồ quan hệ giữa số Froude và tỷ số R/h_c đối với dòng chảy phễu (Hình 4.3). Trên cơ sở biểu đồ này có thể chọn được bán kính cho mũi hất hoặc từ phương trình thu được trên biểu đồ có thể tính toán được bán kính R_{tt} theo công thức (4-3):

$$R_{tt} = 2,59(Fr_c - 1,9429)h_c \tag{4-3}$$

Để có kết cấu mũi hất hợp lý, tạo được dòng chảy phễu và cho lưu tốc đáy nhỏ cần thỏa mãn các điều kiện (4-4):

$$\theta = 30^\circ \div 45^\circ; \frac{a}{h_k} \geq \frac{1}{3}; 0,14 \leq \frac{a}{p} \leq 0,46; \frac{a}{E} \geq 0,6737 \frac{a}{p} - 0,0233 \tag{4-4}$$

4.2. Quy trình tính toán lựa chọn kết cấu tiêu năng dòng chảy phễu

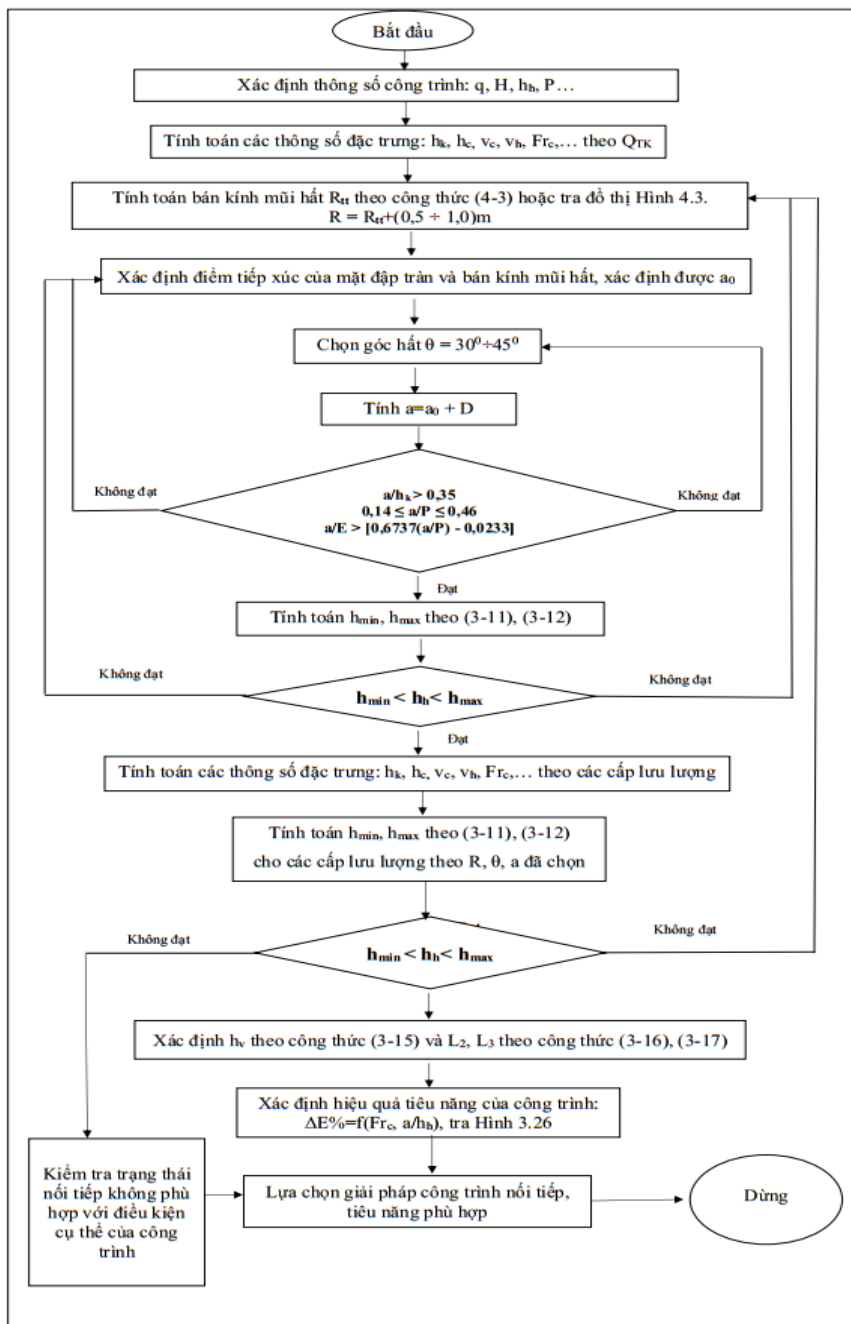
Kích thước kết cấu mũi hất gồm: chiều cao bậc (a), bán kính cong mũi hất (R) và góc phóng của mũi hất (θ). Quy trình tính toán được thể hiện ở sơ đồ (Hình 4.5).

4.3. Tính toán ứng dụng đối với tràn xả lũ Bản Mòng

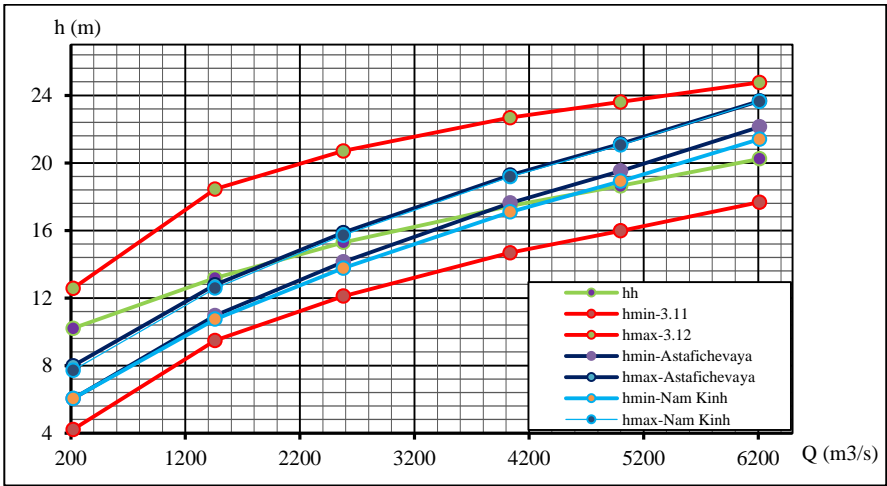
Với kết cấu tiêu năng dòng chảy phễu có: chiều cao bậc thực $a=4,99m$, góc hất $\theta=40^\circ$, bán kính mũi hất $R=13,0m$ hình thành dòng hỗn hợp mặt – đáy – ngập 3 xoáy sau bậc thực (dòng chảy phễu) ứng với tất cả các cấp lưu lượng xả qua tràn trong một khoảng khá lớn của sự thay đổi mực nước hạ lưu (trong khoảng $7,09m \div 8,36m$) (Bảng 4.3, Hình 4.8).

Bảng 4.3. Kết quả tính toán kiểm tra, so sánh cho tràn Bản Mòng

Tham số	Đơn vị	P_{KT}	P_{TK}	P_{TX1}	P_{TX2}	P_{TX3}	P_{TX4}
Góc hất 40°							
Q	m ³ /s	6215,47	4915,47	4036,56	2580,60	1460,91	221,91
h_{min}	m	17,68	15,98	14,68	12,11	9,48	4,22
h_h	m	20,24	18,64	17,46	15,30	13,18	10,21
h_{max}	m	24,76	23,61	22,68	20,71	18,45	12,58
h_v	m	26,05	24,71	23,71	21,73	19,72	15,35
L_2	m	46,88	44,48	42,67	39,12	35,50	27,64
L_3	m	96,37	91,43	87,71	80,41	72,98	56,81
$V_{đáymax}$	m/s	8,19	7,03	6,17	4,50	2,96	0,58



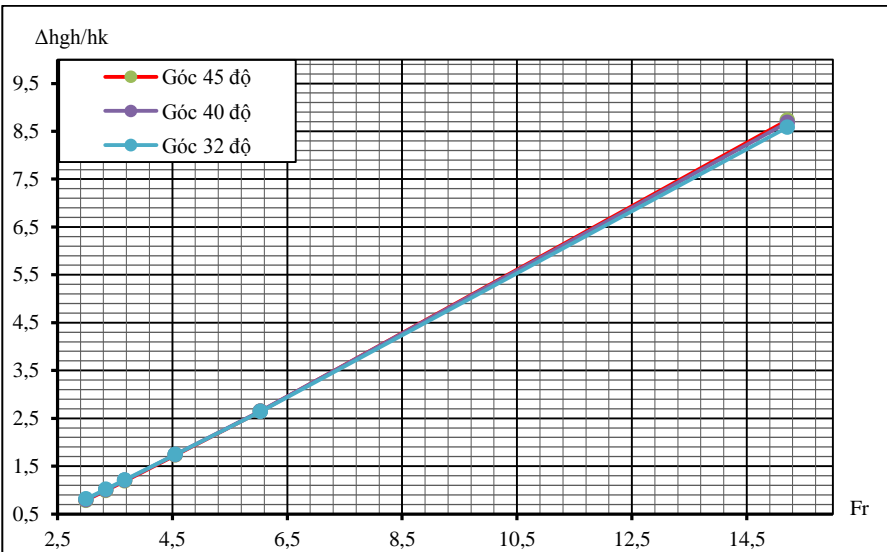
Hình 4.5. Sơ đồ tính toán lựa chọn kết cấu tiêu năng dòng chảy phễu



Hình 4.8 Quan hệ Q-h trường hợp góc hất 40°

Hình 4.8 cho thấy trường hợp kết cấu mũi bậc có góc hất nhỏ ($\theta=0^{\circ}\div 15^{\circ}$) không hình thành dòng chảy mặt khi lưu lượng xả nhỏ hoặc lớn, chỉ hình thành dòng chảy mặt khi lưu lượng xả trong khoảng ($2000\text{ m}^3/\text{s}\div 4000\text{ m}^3/\text{s}$) và trong một khoảng nhỏ của sự thay đổi mực nước hạ lưu (khoảng 2,0m).

Hình 4.9 cho thấy với góc hất 45° cho khoảng xuất hiện dòng chảy phễu lớn nhất, tuy nhiên khoảng xuất hiện chênh lệch giữa các góc hất không nhiều.



Hình 4.9 Quan hệ giới hạn xuất hiện dòng chảy phễu theo số Froude

Kết quả thí nghiệm mô hình vật lý tràn Bản Mòng theo phương án thiết kế tiêu năng đáy cho thấy: + Hiệu quả tiêu năng đạt khoảng 44% đến 55%; + Tổng cộng bề tiêu năng và đoạn cần gia cố sau bề tiêu năng (sân sau thứ nhất) là 72,0m, lưu tốc đáy lớn nhất là trong bề tiêu năng là 25,4m/s, lưu tốc đáy lớn nhất sau bề tiêu năng (sân sau thứ nhất) là 6,12m/s.

Kết quả tính toán tiêu năng dòng chảy phễu tràn Bản Mòng cho thấy lưu tốc đáy lớn nhất đạt khoảng 8,19 m/s trong phạm vi xoáy 2 (khoảng 47m).

Như vậy khi sử dụng phương án tiêu năng dòng chảy phễu sẽ giảm bớt được chiều dài gia cố, cũng như chiều dày bản đáy cần gia cố, có lợi hơn về kinh tế.

4.4. Kết luận chương 4

1. Qua khảo sát quan hệ giữa các yếu tố cấu tạo của mũi hắt đã đề xuất được các thông số của kết cấu bậc thụt cần được lựa chọn thỏa mãn điều kiện (4-4) để hình thành dòng chảy phễu ở hạ lưu công trình.

2. Quy trình tính toán được xây dựng giúp rút ngắn thời gian, giảm công sức tính toán, giảm bớt một phần khối lượng phải thí nghiệm, giúp người thiết kế có cái nhìn sát thực hơn về khả năng làm việc cũng như dự đoán trước tình hình thủy lực dòng chảy qua công trình từ trong các điều kiện cụ thể khi tính toán, góp phần cho công tác thiết kế, quản lý, vận hành công trình đạt hiệu quả cao.

3. Với tràn Bản Mòng hoàn toàn có thể ứng dụng kết cấu tiêu năng dòng chảy phễu, khi đó sẽ giảm khối lượng gia cố hạ lưu nhưng vẫn đảm bảo công trình làm việc ổn định.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

I. KẾT LUẬN

1. Các kết luận chung của luận án

(1) Nước nhảy, nổi tiếp và tiêu năng là vấn đề phức tạp, đa dạng và luôn mang tính thời sự. Các hình thức nổi tiếp mặt đáy, mặt đáy hỗn hợp với bậc thụt phẳng hoặc mũi bậc có góc hắt nhỏ ($\theta=0^{\circ}\div 15^{\circ}$) đã được nghiên cứu tương đối hoàn chỉnh, nhưng do nhược điểm không ổn định và có sóng lan truyền dài ở hạ lưu mà ở Việt Nam rất ít được áp dụng và nghiên cứu. Các dạng nổi tiếp đa xoáy với bậc thụt rất nhỏ và góc hắt lớn của kết cấu tiêu năng bồn được các nhà khoa học phương Tây nghiên cứu rất tỉ mỉ. Tuy nhiên đó là các nghiên cứu thực nghiệm trong phòng, giới hạn chiều cao bậc thụt rất nhỏ $a = 0,05R$.

(2) Các kết quả về đặc trưng thủy động lực học của dòng chảy đa xoáy chủ yếu thu được từ phương pháp nghiên cứu thực nghiệm và bán thực nghiệm, tập trung vào giới hạn hình thành các dạng nối tiếp, các nghiên cứu lý thuyết thì chấp nhận giả thiết vận tốc phân bố đều, áp suất phân bố theo qui luật thủy tĩnh. Trong điều kiện nghiên cứu của luận án thì phương pháp nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình vật lý cho kết quả tốt nhất.

(3) Dòng nối tiếp hỗn hợp mặt-đáy-ngập 3 xoáy (dòng chảy phễu) là trường hợp mở rộng của nước nhảy mặt, là loại nối tiếp đa xoáy, với khả năng tiêu hao năng lượng đạt tới 60%, “cắt được” sóng lan truyền ở hạ lưu bởi sự hình thành “3 xoáy” ở sau bậc thụt có mũi hất cong, góc hất lớn ($\theta=25^{\circ}\div 51^{\circ}$). Dòng chảy phễu có lưu tốc đáy nhỏ hơn nhiều so với tiêu năng đáy và tiêu năng phóng xa cùng điều kiện.

(4) Mô hình thủy lực dòng chảy phễu đã được xây dựng trong máng kính, đảm bảo các tiêu chuẩn về tương tự theo các tiêu chuẩn thực nghiệm hiện hành và chuyển được ra thực tế với tỷ lệ mô hình $\lambda_L \leq 100$, sai số các phép đo trên mô hình nhỏ hơn 3%.

(5) Chế độ nối tiếp hạ lưu bậc thụt mũi hất cong, góc hất $\theta=25^{\circ}\div 51^{\circ}$, chiều cao bậc thụt $a/P=0,14\div 0,46$ chuyển đổi qua 7 dạng cơ bản phù hợp với các kết quả nghiên cứu trước đây về dòng chảy mặt.

(6) Dòng chảy phễu xuất hiện trong một khoảng rộng của sự thay đổi mực nước hạ lưu từ giới hạn dưới – độ sâu dòng chảy nhỏ nhất (h_{\min}) đến giới hạn trên – độ sâu dòng chảy lớn nhất (h_{\max}).

(7) Tỷ lệ chiều cao nước vòng lớn nhất đối với độ sâu hạ lưu nhỏ nhất hình thành dòng chảy phễu biến thiên trong khoảng (1,2÷1,92) lần và với chiều sâu hạ lưu lớn nhất hình thành dòng chảy phễu biến thiên trong khoảng (1,02÷1,14) lần. Chiều cao nước vòng nhỏ nhất trong trường hợp dòng chảy phễu và đạt giá trị lớn nhất khi ở trạng thái giới hạn trên.

(8) Giới hạn các xoáy cuộn ở hạ lưu bậc thụt của dòng chảy phễu tỷ lệ với chiều cao cột nước vòng lớn nhất, giới hạn xoáy 2 là $L_2 = (1,2 \div 2,0)h_v$ và giới hạn xoáy 3 là $L_3 = (2,4 \div 4,4)h_v$.

(9) Dòng chảy phễu có lưu tốc dòng chảy ngược lớn nhất bằng khoảng 2 lần lưu tốc dòng chảy ở kênh hạ lưu đáy bằng. Vị trí xuất hiện lưu tốc đáy lớn nhất cách chân mũi phóng một khoảng bằng (2÷5) chiều cao bậc thụt a.

(10) Kết cấu mũi hất cho sự hình thành dòng chảy phễu cần được lựa chọn thỏa mãn điều kiện (4-4). Đây cũng là giới hạn của các công thức thực nghiệm được xây dựng từ luận án này.

(11) Quy trình tính toán, lựa chọn kết cấu mũi hút tạo dòng chảy phễu được xây dựng và áp dụng tính toán thành công cho một công trình thực tế.

2. Các đóng góp mới của luận án

(1) Xây dựng được các công thức thực nghiệm xác định giới hạn trên h_{\max} , giới hạn dưới h_{\min} của cột nước hạ lưu để tạo dòng nối tiếp mặt-đáy-ngập 3 xoáy và chiều cao nước vòng h_v của dòng nối tiếp hỗn hợp sau bậc thụt có mũi hút cong, góc hút từ 25^0 đến 51^0 .

(2) Đề xuất được hình dạng và kích thước của bậc thụt, mũi hút để đảm bảo chế độ nối tiếp hỗn hợp mặt-đáy-ngập 3 xoáy sau bậc thụt.

(3) Thiết lập được quy trình tính toán lựa chọn kết cấu mũi hút tạo dòng nối tiếp hỗn hợp mặt – đáy – ngập 3 xoáy và xác định các đặc trưng thủy động lực dòng nối tiếp hỗn hợp sau bậc thụt.

II. KIẾN NGHỊ

+ Áp dụng hình thức nối tiếp, tiêu năng dòng phễu vào thiết kế tiêu năng cho các công trình tháo nhằm đến phương án tối ưu về kinh tế và kỹ thuật;

+ Áp dụng số liệu, công thức, quan hệ được thiết lập của luận án vào tính toán thiết kế công trình tiêu năng dạng phễu ở hạ lưu bậc thụt, mà trước đây chưa đủ luận cứ khoa học để thiết kế dạng nối tiếp chảy mặt có hiệu quả kinh tế...

III. HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

+ Tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện các đặc trưng thủy động lực học theo hướng chi tiết hơn của kết quả luận án như: kích thước các xoáy cuộn, đặc trưng đường mặt nước trong dòng chảy phễu; phân bố chi tiết lưu tốc, áp lực, mạch động lưu tốc, mạch động áp lực;

+ Mở rộng phạm vi nghiên cứu trong bài toán không gian, dòng chảy qua cửa van, điều kiện biên địa hình đáy lòng dẫn để thu được các kết quả tốt hơn của luận án này;

+ Xây dựng chương trình tính toán thủy lực nhằm lựa chọn kết cấu phễu hợp lý từ kết quả nghiên cứu của luận án;

+ Nghiên cứu áp dụng dạng mũi hút không liên tục, nhằm nâng cao khả năng khuếch tán dòng chảy tăng cường tiêu năng ở hạ lưu của bậc thụt;

+ Ứng dụng mô hình toán 3 chiều hoặc 2 chiều đứng trong việc phân tích kết cấu dòng chảy của dòng chảy phễu cũng là một hướng để làm giàu các hiểu biết về đặc trưng thủy động lực học của dòng chảy phễu.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Nguyễn Quốc Huy, Xác định giới hạn hình thành dòng chảy phễu ở hạ lưu bậc thụt mũi hắt cong, góc hắt lớn, *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, Số 20, Kỳ 2, Tr. 76-84, tháng 10/2016.
2. Nguyễn Quốc Huy, Lê Văn Nghị, Đặc trưng hình dạng của dòng chảy phễu sau bậc thụt có góc hắt lớn, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, Số 34, tr. 55-64, tháng 08/2016.
3. Nguyễn Quốc Huy, Lê Văn Nghị, Tính toán tiêu năng dòng mặt sau bậc thụt có mũi hắt cong và góc hắt lớn, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, Số 34, tr. 9-15, tháng 08/2016.
4. Lê Văn Nghị, Nguyễn Quốc Huy, Đoàn Thị Minh Yến, Điều kiện hình thành, chuyển hóa các trạng thái dòng chảy ở hạ lưu công trình dạng bậc thụt có góc hắt lớn, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, Số 25, Tr. 44-51, tháng 2/2015.
5. Lê Văn Nghị, Nguyễn Quốc Huy, Đoàn Thị Minh Yến, *Sáng chế “Kết cấu mũi hắt tạo dòng chảy hỗn hợp mặt đáy ổn định dạng 3 xoáy ở hạ lưu công trình tháo”*, Số đơn 1-2015-03470, ngày 21/9/2015, Quyết định chấp nhận đơn hợp lệ số 68818/QĐ-SHTT, ngày 03/11/2015 của Cục Sở hữu Trí tuệ - Bộ Khoa học và Công nghệ.