

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài luận án

Đập tràn có vai trò quan trọng hàng đầu trong đầu mối công trình thủy lợi, thủy điện, và liên tục được nghiên cứu, phát triển hoàn thiện cùng với trình độ phát triển của khoa học công nghệ và đáp ứng yêu cầu thực tiễn sử dụng. Đập tràn thực dụng hình cong được sử dụng phổ biến nhất ở các công trình thủy lợi, thủy điện vừa và lớn với hai dạng mặt cắt thông dụng là mặt cắt Creager – Ophixerop [2], [12] và dạng WES [12], [25], [31], [45], [48].

Đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong đã được ứng dụng trên thế giới [29], [30], [34], [35] [37], [45], và ở Việt Nam [8], [14]. Loại đập tràn này có những ưu điểm như cho phép làm việc ở mức nước hồ lớn hơn, tăng dung tích phòng lũ, tháo lũ hồ chứa ở mức nước thấp, tối ưu hóa kích thước cửa van và thiết bị cơ khí, giảm giá thành xây dựng. Chúng có phạm vi ứng dụng rộng rãi với tất cả các loại đập tràn xây dựng mới, sửa chữa nâng cao an toàn và các hồ chứa có yêu cầu phòng lũ.

Đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong có những ưu điểm và có khả năng ứng dụng rộng rãi nhưng kết quả nghiên cứu còn hạn chế, nếu có cũng chỉ đề cập đến kích thước hình học, tính khả năng tháo hoặc giới thiệu một công trình cụ thể. Ở Việt Nam, có trên 7000 hồ đập với dung tích trên 37 tỷ m³ (có 675 đập lớn)¹ trong đó có nhiều công trình cần sửa chữa nâng cấp và tương lai cần xây dựng những công trình phòng lũ có thể ứng dụng đập tràn có tường ngực biên cong nhưng chưa có công trình khoa học nào nghiên cứu về chế độ thủy lực cho loại đập tràn này.

Do vậy, nghiên cứu chế độ thủy lực đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong, xác định các đặc trưng thủy lực của chúng để có thể đề xuất áp dụng thực tế là vấn đề cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn, góp phần xem xét đầy đủ và phong phú hơn về lĩnh vực thủy lực công trình tháo lũ.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Làm rõ được đặc trưng về thủy lực của dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong;

Đề xuất được phương pháp, công thức, đồ thị xác định lưu lượng, vận tốc và áp suất dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là một số đặc trưng thủy lực gồm chế độ chảy, lưu lượng tháo, vận tốc, áp suất ở đập tràn thực dụng hình cong có tường ngực biên cong (gọi tắt là đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong) chảy có áp.

Phạm vi nghiên cứu trong giới hạn của đập tràn với dạng mặt tràn WES, Ophixerop có tường ngực biên cong ở điều kiện làm việc khi tỉ số $H/H_d \leq 1,5$ hay $H/D \leq 3$ và dòng chảy phía sau tường ngực chảy tự do hoặc cửa van mở hoàn toàn.

¹ Báo cáo môi trường quốc gia 2012

4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp kế thừa: Nghiên cứu, kế thừa các kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước.

Phương pháp điều tra thu thập các kết quả thí nghiệm công trình thực tế.

Phương pháp thực nghiệm mô hình vật lý: Xây dựng, thí nghiệm và thu thập số liệu mô hình thủy lực.

Phương pháp thống kê: Phân tích đánh giá, kiểm chứng và so sánh với các kết quả nghiên cứu khác trong và ngoài nước. Xây dựng các công thức, bảng biểu, đồ thị phục vụ tính toán áp dụng thực tế.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Ý nghĩa khoa học: Luận án sẽ góp phần làm sáng tỏ hơn về chế độ thủy lực, chế độ dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong và bổ sung cơ sở khoa học cho tính toán các đặc trưng thủy lực ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong.

Ý nghĩa thực tiễn: Luận án góp phần đáp ứng tính cấp thiết của việc giải quyết bài toán tối ưu hóa trong điều tiết vận hành hồ chứa, nâng cao khả năng làm việc của công trình thủy lợi, thủy điện trong điều kiện cần tăng dung tích đón lũ, phòng lũ trong điều kiện cần tăng dung tích đón lũ, phòng lũ đảm bảo an toàn hạ du.

6. Những đóng góp mới của luận án

Luận án có những đóng góp mới như sau:

1. Xây dựng và đề xuất mới công thức và đồ thị tính hệ số lưu lượng μ cho đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong; phạm vi cột nước làm việc $H/D=1,6\div 3,0$.

2. Xác định được hệ số lưu tốc φ để tính độ sâu mực nước trong trường hợp chảy có áp. Xây dựng và kiến nghị ứng dụng bảng tọa độ không thứ nguyên để tính đường mặt nước và vận tốc trên mặt tràn.

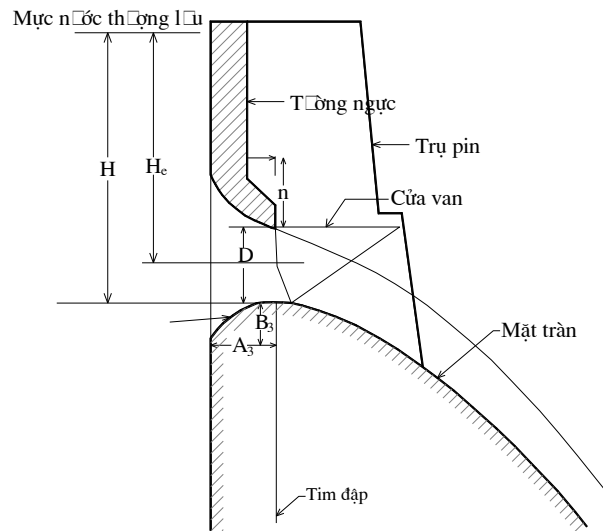
3. Đề xuất phương pháp xác định hệ số giảm áp C_{pmax} để xác định áp suất nhỏ nhất ở phần chảy có áp trên đập tràn. Xây dựng các biểu đồ không thứ nguyên để tính áp suất trên mặt tràn ở đoạn chảy tự do.

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ ĐẬP TRÀN CÓ TƯỜNG NGỰC BIÊN CONG

1.1 Khái quát chung về đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong

1.1.1 Cấu tạo đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong

Đập tràn thực dụng có tường ngực là loại đập tràn ngoài đỉnh đập còn được bố trí bộ phận tường ngực ở phía trên. Tường ngực là một bộ phận chắn phía trên ngưỡng tràn nhằm mục đích hạn chế khả năng tăng nhanh của lưu lượng xả khi mực nước thượng lưu lớn, kiểm soát lưu lượng tháo. Tường ngực có thể là dạng đường thẳng, cong, di động. Loại đập tràn này trong thực tế vận hành gặp chế độ dòng chảy không áp hoặc có áp. Trong luận án, chúng tôi chọn đối tượng nghiên cứu là đập tràn dạng Creager-Ophixerop, WES và tường ngực biên cong chảy có áp.



Hình 1.1 Sơ đồ đập tràn có tường tường ngực

Đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong có cấu tạo gồm phần mặt tràn thực dụng hình cong ở phía dưới, tiếp xúc với phần dưới của luồng nước chảy qua tràn, phần biên trên, phía dưới tường ngực giống như cửa vào tuynel hoặc cửa vào cống lấy nước (hình 1.1-hình 1.3) tiếp xúc với phần trên của luồng nước.

Như vậy sự khác biệt về cấu tạo của loại đập tràn này là cả biên trên là tường ngực và dưới là mặt tràn đều có dạng hình cong.

1.1.2 Một số ứng dụng của đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong

Các hồ chứa thường có vai trò đa mục tiêu, ngoài việc cung cấp nước cho thủy lợi, phát điện, nhiều hồ chứa lớn có nhiệm vụ chống lũ cho hạ du, thậm chí một số hồ chứa còn có nhiệm vụ chính là phòng lũ như Hòa Bình, Sơn La,... Khi đó đập tràn phải điều tiết một lượng lũ lớn trong hồ. Cột nước làm việc trên đỉnh đập tràn có thể lên tới vài chục mét, nếu bố trí tràn mặt thông thường với cửa van cùng thì chiều cao cửa van rất lớn và khó khăn trong vận hành. Ví dụ như ở công trình thủy điện Sơn La (Hình 1.4), do yêu cầu tích nước hồ chứa và phòng lũ PMF, chênh lệch từ ngưỡng tràn ở cao trình 197,80 m, tới mức nước lũ PMF 228,10 m có $H_{max}=30,3$ m. Việc bố trí đập tràn có tường ngực biên cong đã tối ưu hóa kích thước cửa van còn 12 m, tăng thêm dung tích phòng lũ cho hồ chứa lên đến 3 tỷ m^3 , góp phần giảm lũ, cắt lũ cho hạ du.

1.1.3 Đặc điểm dòng chảy qua đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong

Dòng chảy qua đập tràn có tường ngực khi thay đổi mực nước thượng lưu từ thấp đến cao trải qua 2 chế độ chảy là không áp (chảy hờ như đập tràn thông thường) và có áp.

Chảy có áp, khi mực nước thượng lưu ngập kín biên dưới tường ngực. Đoạn đầu dưới tường ngực là dòng có áp, sau tường ngực là dòng chảy không áp. Nhưng do tác động của phần có áp ở đoạn dưới tường ngực mà các đặc trưng thủy lực của đoạn chảy hờ có sự khác biệt với chế độ chảy hờ hoàn toàn. Chế độ này còn được ít nghiên cứu và ở Việt Nam chưa có tiêu chuẩn thiết kế hay hướng dẫn tính toán.

1.2 Các nghiên cứu về đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong

Các nghiên cứu về đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong chủ yếu là ở Ấn Độ, Trung Quốc gồm: Đường cong mặt hạ lưu tràn, đường cong phía thượng lưu mặt tràn, đường cong mép dưới tường ngực, tính lưu lượng, tính hệ số lưu lượng [30], [45].

Đường cong mặt tràn ở Ấn Độ [30] có phương trình (1.2):

$$X^2 = kH_d Y \quad (1.2)$$

Đường cong mặt tràn ở Trung Quốc [18], [45] có phương trình (1.3):

$$X^2 = 4\varphi^2 H_d Y \quad (1.3)$$

Đường cong mép dưới tường ngực có dạng elip được biểu diễn theo phương trình (1.7) [30].

$$\frac{X^2}{A_2^2} + \frac{Y^2}{B_2^2} = 1 \quad (1.7)$$

Theo [45], đường cong mép dưới tường ngực có thể là cong tròn, elip nối với đoạn thẳng nối tiếp dưới tường ngực có thể là độ dốc 1:4÷1:6.

Lưu lượng chảy có áp dưới tường ngực được tính theo công thức (1.10) [29], [45].

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH_e} \quad (1.10)$$

Trong đó hệ số lưu lượng được xác định như sau:

- Ở các thiết kế sơ bộ có thể lấy $\mu=0,74\div0,82$ khi $H/D=2,0\div2,4$; $\mu=0,83\div0,93$ khi $H/D>2,4$. Hệ số μ có thể được tính toán thông qua tổn thất khi tính đường mặt nước [45].

- Theo [29], [30] hệ số lưu lượng được tính theo công thức (1.11).

$$\mu = 0,148631 + 0,945305 \frac{H}{H_d} - 0,326238 \left(\frac{H}{H_d}\right)^2 \quad (1.11)$$

Các kết quả này còn chưa đầy đủ, công thức tính hệ số lưu lượng μ gặp khó khăn vì chỉ cho một dải giá trị mà không chỉ rõ yếu tố phụ thuộc. Khi xác định hệ số lưu lượng tại chỉ xét theo tỉ lệ H/H_d , mà chưa phản ánh được chế độ chảy và đặc trưng của lỗ là chiều cao D , chưa có nghiên cứu về giới hạn chế độ chảy có áp, xác định vận tốc, áp suất. Đây là những hạn chế mà các nghiên cứu đã có chưa giải quyết được.

1.3 Kết quả nghiên cứu về đập tràn thực dụng hình cong

Kết quả nghiên cứu với các loại đập tràn thực dụng hình cong đã xây dựng được các công thức, đồ thị, bảng biểu lựa chọn hình dạng hình học, khả năng tháo, đường mặt nước, vận tốc và áp suất [12], [17], [29], [30], [31], [35], [45], [48], [50], [51]. Các tài liệu công bố này về cơ bản có thể sử dụng cho thiết kế, còn với công trình cụ thể, quan trọng vẫn cần thiết nghiên cứu thực nghiệm để kiểm chứng và tối ưu hoá.

1.4 Kết quả nghiên cứu về công trình tháo xả sâu, xả mặt kết hợp xả sâu

Công trình tháo xả sâu có đặc điểm tương tự với đập tràn có tường ngực biên cong nhưng có cột nước làm việc lớn hơn đã được nhiều nhà khoa học nghiên cứu. Các hướng

ngiên cứu tập trung về chế độ chảy, tính lưu lượng và phân bố áp suất trên trần cửa vào. Các kết quả này đã được áp dụng thành công vào thực tế xây dựng nhiều công trình trên thế giới cũng như ở Việt Nam.

Các nghiên cứu về áp suất thủy động trên trần cửa vào tuynel của G.A. Vorobiov, N.P. Rozanop, E.I Đubinric, S.M. Sliski [51], [52] đưa vào hệ số giảm áp C_p . Hệ số C_p được xác định theo thí nghiệm. Hệ số C_p phụ thuộc vào kích thước và hình dạng của cửa vào, nó có ý nghĩa ứng dụng thực tế rất lớn, là thông số quyết định để lựa chọn hình dạng cửa vào. Hệ số C_p tại điểm (i) trên trần cửa vào tuynel được tính theo công thức (1.25).

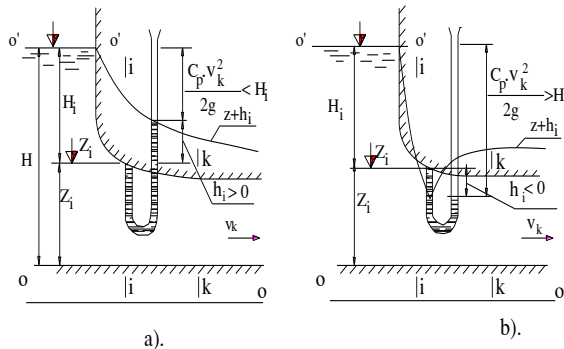
$$C_{pi} = \frac{2g(H_i - p_i / \gamma)}{v_k^2} \quad (1.25)$$

Khi biết biên dạng đường viền và hệ số C_p tại điểm (i) có thể tính áp suất dư tại đó theo công thức (1.7):

$$\frac{p_i}{\gamma} = H_i - C_p \frac{v_k^2}{2g} \quad (1.26)$$

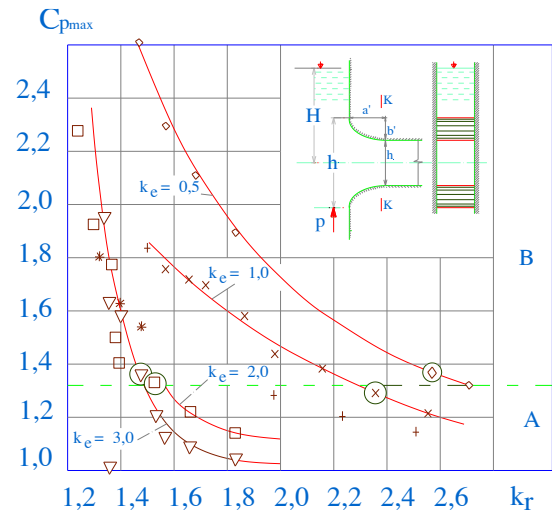
Áp suất nhỏ nhất trên biên cửa vào được xác định theo công thức (1.27):

$$\frac{p_{i \min}}{\gamma} = H_i - C_{p \max} \frac{V_k^2}{2g} \quad (1.27)$$



a) Trường hợp không có chân không
b) Trường hợp có chân không

Hình 1.28 Sơ đồ xác định áp suất và hệ số giảm áp C_p ở cửa vào [51], [52]



Hình 1.30 Hệ số $C_{p \max}$ ở cửa vào phẳng [51], [52]

A. Vùng không tác dòng
B. Vùng tách dòng

Cấu tạo cửa vào của đập tràn có tường ngực biên cong tương tự như cửa vào ở công trình xả sâu, chỉ khác ở chỗ cả biên trên và biên dưới đều cong.

1.5 Những vấn đề tồn tại

Mặc dù đã có một số kết quả nghiên cứu về đập tràn có tường ngực như hình dạng, kích thước, tính lưu lượng... nhưng vẫn chưa phản ánh hết phạm vi làm việc, đặc điểm

thủy lực, chưa lượng hóa hết các yếu tố ảnh hưởng đến hình dạng, khả năng tháo, áp lực ở đập tràn này. Các vấn đề tồn tại chủ yếu là:

- 1/ Chưa phân định chế độ chảy qua đập;
 - 2/ Việc xác định hệ số lưu lượng μ gặp khó khăn vì chỉ cho một dải giá trị mà không chỉ rõ yếu tố phụ thuộc. Công thức tính hệ số lưu lượng xét theo tỉ lệ H/H_d , chưa phản ánh được chế độ chảy và đặc trưng của lỗ là chiều cao D ;
 - 3/ Chưa có hướng dẫn cách xác định các yếu tố thủy lực như đường mặt nước, vận tốc, áp suất trên mặt tràn;
 - 4/ Chưa chỉ ra cách xác định áp suất nhỏ nhất trên mặt tràn, biên tường ngực.
- Việc xác định các tồn tại này góp phần làm rõ bản chất thủy lực của dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong, giảm bớt khối lượng thực nghiệm.

1.6 Kết luận chương 1

Các đập tràn cột nước vừa vào cao có thể lựa chọn xả mặt, xả sâu hay xả mặt kết hợp xả sâu. Mỗi hình thức đều có phạm vi ứng dụng và những ưu nhược điểm nhất định. Đập tràn thực dụng hình cong với hai loại mặt cắt Creager – Ophixerop và dạng WES là loại đập được áp dụng nhiều nhất.

Với dòng chảy hở qua đập tràn hay dòng chảy có áp qua công ngầm, tuy nên thì các kết quả nghiên cứu là tương đối đầy đủ cơ bản đáp ứng yêu cầu nghiên cứu, thiết kế trong thực tế.

Đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong là hình thức trung gian giữa xả mặt và xả sâu, có ưu điểm là có thể tăng dung tích phòng lũ, tối ưu hóa cửa van, tháo lưu lượng hồ ở mức nước thấp. Nó phát huy được những ưu điểm của cả xả mặt và xả đáy nên hay được dùng cho những đập tràn vừa và cao. Các kết quả nghiên cứu về hình thức xả này đã có nhưng chưa đầy đủ, chi tiết, một số nghiên cứu chỉ là cá biệt cho công trình cụ thể.

Phần tiếp theo luận án sẽ nghiên cứu một số đặc trưng thủy lực là xác định chế độ dòng chảy, xác định lưu lượng, vận tốc, áp suất và xây dựng hàm thực nghiệm ứng dụng trong tính toán.

CHƯƠNG 2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU CÁC ĐẶC TRƯNG THỦY LỰC Ở ĐẬP TRÀN CÓ TƯỜNG NGỰC

2.1 Phương pháp xác định chế độ dòng chảy

Phương pháp chung xác định đường mặt nước là tính và vẽ đường mặt nước ở đập tràn dạng Creager-Ophixerop, WES trên cùng mặt bằng, tỷ lệ với đường cong mặt đập và tường ngực. Đập tràn có tường ngực chảy tự do khi đường mặt nước chưa chạm tường ngực, chảy phân giới khi đường mặt nước bắt đầu chạm mép mép dưới tường ngực và đập tràn chảy có áp khi đường mặt nước ngập hoàn toàn mép dưới tường ngực.

2.2 Phương pháp nghiên cứu mô hình thủy lực

2.2.1 Tiêu chuẩn tương tự thủy động lực học

Luận án sử dụng phương pháp nghiên cứu mô hình thủy lực với phương trình đồng dạng sau:

$$\varphi(\text{Fr}, \text{Eu}, \text{Re}, \text{Sh}) = 0 \quad (2.1)$$

Mô hình hoá dòng chảy qua đập tràn có tường ngực biên cong, dòng chảy chịu tác động của lực trọng trường là chính. Như vậy để nghiên cứu mô hình thủy lực cần thoả

mãn tiêu chuẩn Euler và Froude, hai tiêu chuẩn này là đồng nhất khi tính áp suất theo cột nước thường dùng với đơn vị đo là mét (m H₂O).

Phương trình tiêu chuẩn nghiên cứu được chọn là tiêu chuẩn Froude sau:

$$Fr = \frac{v^2}{gl} = \text{idem hay } \frac{\lambda_v^2}{\lambda_g \lambda_1} = 1 \quad (2.3)$$

Khi đó các tiêu chuẩn khác được coi là điều kiện thỏa mãn.

2.2.2 Phương pháp quy hoạch thực nghiệm và xây dựng hàm hồi quy

Luận án sử dụng xây dựng các phương trình hồi quy thực nghiệm bằng phương pháp mô hình hóa dựa trên cơ sở chủ động bố trí các thí nghiệm để đo các thông số đầu ra theo các thông số đầu vào đã định trước. Từ đó có thể giúp tìm ra miền làm việc tối ưu của hệ. Thông số đầu vào là các biến kiểm tra được và điều khiển được mà người nghiên cứu có thể điều chỉnh theo dự định. Vì vậy, đây là phương pháp quan trọng được dùng phổ biến trong nghiên cứu để xây dựng các mô hình theo kiểu hộp đen nhằm mô tả những hệ có cấu trúc phức tạp.

2.3 Xây dựng phương trình nghiên cứu thực nghiệm

Luận án nghiên cứu một số đặc trưng thủy lực của dòng chảy qua tràn thực dụng có tường ngực biên cong, khi xét chế độ chảy có áp qua tường ngực các đại lượng có thể thay đổi trong quá trình nghiên cứu là các đặc trưng của chất lỏng thí nghiệm gồm: khối lượng riêng ρ , độ nhớt động lực học η , gia tốc trọng trường g ; các đại lượng hình học gồm độ dài L , cột nước tác dụng H , chiều cao cửa ra của tường ngực D , chiều cao cửa vào của tường ngực D_1 , chiều dài tường ngực theo phương dòng chảy D_2 , chiều cao ngưỡng đập tràn P , chiều rộng khoang tràn B , cột nước hình dạng của mặt tràn H_d ; lưu lượng tháo qua tràn Q . các đại lượng đo đặc thí nghiệm trên mô hình gồm vận tốc v , độ sâu dòng chảy h_i . Ở đây áp suất được đo là m cột nước nên cũng được biểu diễn như độ sâu dòng chảy. Từ đó ta có phương trình:

$$f(Q, H, D, D_1, D_2, P, b, H_d, g, \rho, \eta, h_i, v_i) = 0 \quad (2.10)$$

Trong phương trình trên số đại lượng biến đổi độc lập $n=13$. Dùng phương pháp Buckingham (định lý Pi) với việc lựa chọn 3 đại lượng cơ bản là Q, D, ρ ta có phiên hàm mới có $n - 3 = 10$ đại lượng không thứ nguyên (2.4).

$$F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-3}) = 0 \text{ hay } \pi_1 = G(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-3}) \quad (2.11)$$

Việc xác định các tổ hợp không thứ nguyên theo phương pháp Buckingham thu được phương trình biểu diễn các đại lượng không thứ nguyên và phương trình thực nghiệm tổng quát (2.5).

$$F\left[\frac{H}{D}, \frac{D_1}{D}, \frac{D_2}{D}, \frac{P}{D}, \frac{b}{D}, \frac{H_d}{D}, \frac{D^5 \cdot g}{Q^2}, \frac{1}{R_e}, \frac{h_i}{D}, \frac{D \cdot v_i}{q}\right] = 0 \quad (2.12)$$

Phương trình (2.12) là phương trình được sử dụng để xác định các chuỗi thí nghiệm và khi nghiên cứu thực nghiệm tổng quát của luận án.

Khi nghiên cứu khả năng tháo
$$\mu = F_1 \left[\frac{H}{D}, \frac{H_d}{D}, \frac{D_1}{D}, \frac{b}{D} \right] \quad (2.13)$$

Khi nghiên cứu áp suất hoặc cột nước:
$$\frac{H_i}{H_d} = F_2 \left[\frac{H}{D}, \frac{H_d}{D}, \frac{D_1}{D}, \frac{b}{D} \right] \quad (2.14)$$

Khi nghiên cứu vận tốc trên mặt công trình trong phạm vi dòng xiết:

$$\frac{v_i}{v_r} = F_3 \left[\frac{H}{D}, \frac{H_d}{D}, \frac{D_1}{D}, \frac{b}{D} \right] \quad (2.15),$$
 với v_r là vận tốc dòng chảy ở tại mặt cắt cuối cùng

của tường ngực phía hạ lưu.

2.4 Mô hình nghiên cứu thực nghiệm

Luận án đã sử dụng 04 mô hình thực nghiệm để nghiên cứu (Bảng 2.1). Trong đó:

- Xây dựng và thí nghiệm 01 mô hình cho mặt cắt tràn dạng Creager-Ophixerop với 4 chiều cao lỗ khác nhau.

- Khai thác, sử dụng số liệu của 03 mô hình thực nghiệm có mặt cắt tràn dạng WES.

Bảng 2.1 Các mô hình thực nghiệm

TT	Thông số	Đơn vị	Mô hình 1	Mô hình 2	Mô hình 3	Mô hình 4
1	Đường cong mặt tràn		Creager - Ophixerop	WES	WES	WES
2	Cột nước hình dạng mặt tràn H_d	m	12	20,03	17,2	20,03
3	Chiều cao lỗ (cửa ra) D	m	5; 6; 7; 8	11,4	13,0	11,4
4	Chiều cao cửa vào D_1	m	9,5÷12,5	17,6	17,6	17,6
5	Chiều cao đập tràn (P)	m	62	138	138	138
6	Chiều rộng tháo nước 1 khoang tràn b	m	11	15	15	15
7	Tỉ lệ mô hình		1/64	1/48	1/48	1/100

Bảng 2.3 Các trường hợp thí nghiệm ở mô hình 1

STT	Cột nước $H = Z_{tl} - Z_{đỉnh}$ (m)	H/ H_d	H/D	Q Mô hình (l/s)
A	D=5 m			
1	7,82	0,65	1,56	14,8
2	8,42	0,70	1,68	17,4
3	9,32	0,78	1,86	19,5
4	11,34	0,94	2,27	23,2
5	14,45	1,20	2,89	27,8
6	15,85	1,32	3,17	29,7
7	18,68	1,56	3,74	33,1
8	21,99	1,83	4,40	36,5
B	D=6 m			
1	10,39	0,87	1,73	20,75
2	1,93	0,99	1,99	24,01

STT	Cột nước $H = Z_{tl} - Z_{đỉnh}$ (m)	H/H_d	H/D	Q Mô hình (l/s)
3	14,47	1,21	2,41	28,49
4	17,26	1,44	2,88	32,73
5	20,47	1,71	3,41	36,84
C	D=7 m			
1	9,63	0,80	1,38	19,39
2	11,75	0,98	1,68	25,76
3	13,59	1,13	1,94	29,80
4	15,87	1,32	2,27	34,92
5	19,20	1,60	2,74	40,58
6	22,39	1,87	3,20	45,33
D	D=8 m			
1	10,80	0,90	1,35	23,18
2	11,30	0,94	1,41	25,08
3	13,75	1,15	1,72	31,93
4	16,42	1,37	2,05	37,94
5	19,67	1,64	2,46	43,61
6	22,66	1,89	2,83	48,42
E	Sử dụng kết quả thí nghiệm chảy hở của mô hình 1			
1	9,75	0,81		19,66
2	12,00	1,00		27,41
3	12,95	1,08		31,09
4	14,15	1,18		35,61
5	15,30	1,28		40,13

2.5 Kết luận chương 2

Lựa chọn đường cong, kích thước mặt tràn, tường ngực và đoạn chuyển tiếp thượng lưu tràn cần thỏa mãn các điều kiện đảm bảo lưu lượng tháo, đáp ứng yêu cầu mức nước phòng lũ, kết cấu đơn giản, thuận dòng, tổn thất nhỏ, không xâm thực, dễ thi công, tiết kiệm khối lượng vật liệu và dễ bố trí kết cấu như khe van, cửa van.

Luận án lựa chọn sử dụng phương pháp nghiên cứu mô hình thủy lực với tiêu chuẩn Froude và lý thuyết quy hoạch thực nghiệm để xác định các đặc trưng thủy lực với số lượng thí nghiệm đủ lớn, tuân thủ các điều kiện tương tự về thủy lực đảm bảo độ chính xác, tin cậy của kết quả. Đây là một phương pháp nghiên cứu truyền thống có độ tin cậy cao và đã được sử dụng cho hầu hết các nghiên cứu về thủy lực công trình cho đến nay.

Phương pháp xử lý số liệu theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm với hàm hồi quy thực nghiệm (2.20). Về hình dạng, luận án chọn hai dạng đập tràn WES và Creager-Ofixerop là hai loại đập tràn được sử dụng rộng rãi để nghiên cứu với các tỉ lệ $H/H_d=0,5\div 2,60$, $H_d/D=0,92\div 4,40$; hình dạng tường ngực là elip và đường tròn kết hợp đường thẳng để nghiên cứu.

Luận án đã sử dụng 6 kịch bản với 60 trường hợp thí nghiệm, trong đó có 30 trường hợp cho dạng đập WES và 30 trường hợp cho dạng đập Creager-Ofixerop.

Mô hình thí nghiệm của luận án đã được kiểm định bằng cách thí nghiệm mô hình xác định các đặc trưng thủy lực trong trường hợp chảy hở và so sánh với các tài liệu đã công bố. Kết quả sai số về đường mặt nước $< \pm 5\%$, sai số về lưu lượng trong khoảng $2 \div 5\%$, sai số về áp suất $< \pm 0,5m$. Các kết quả so sánh hầu hết đều cho giá trị sai số $< 5\%$, điều đó nói lên độ tin cậy của mô hình thí nghiệm.

Như vậy phương pháp thí nghiệm mô hình thủy lực là đủ độ tin cậy để tiến hành nghiên cứu các đặc trưng của luận án ở chế độ chảy có áp dưới tường ngực (hay chảy đầy tường ngực).

Kết quả nghiên cứu từ phương pháp này sẽ được trình bày và thảo luận ở chương 3 tiếp theo.

CHƯƠNG 3 KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG THỦY LỰC CỦA ĐẬP TRÀN CÓ TƯỜNG NGỰC BIÊN CONG

3.1 Kết quả và đánh giá kết quả thực nghiệm

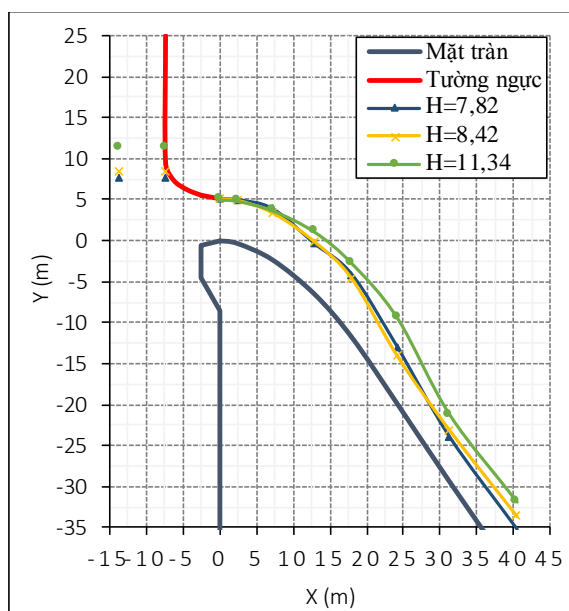
3.1.1 Xác định giới hạn chế độ chảy

Trên các mô hình nghiên cứu, bắt đầu thực hiện thí nghiệm từ mực nước thấp, ở chế độ chảy tự do, tăng mực nước đến chế độ chảy phân giới rồi tiếp tục tăng mực nước đến chế độ chảy có áp. Có 19 trường hợp thí nghiệm được lập ở bảng 3.1. Kết quả khi $H/D \geq 1,6$, kết hợp với quan sát hình ảnh và kết quả vẽ đường mặt nước, chế độ chảy có áp.

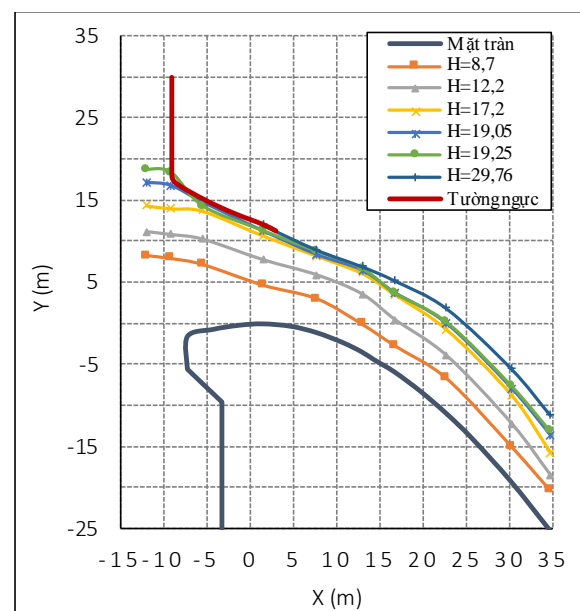
Bảng 3.1 Bảng kết quả thí nghiệm xác định chế độ chảy

TT thí nghiệm	D (m)	D ₁ (m)	H (m)	H/D	Độ sâu cửa vào h ₁ (m)	h ₁ /D ₁	Độ sâu cửa ra h ₂ (m)	h ₂ /D	Chế độ chảy
Mô hình 1									
1	5	9,5	7,82	1,56	7,71	0,81	5,00	1,00	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D=1, chảy phân giới
2	5	9,5	8,42	1,68	8,35	0,88	5,03	1,01	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D>1, dòng chảy có áp
3	5	9,5	9,34	1,87	9,15	0,96	5,09	1,02	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D>1, chảy có áp
4	6	10,5	8,33	1,39	8,10	0,77	4,74	0,79	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy không áp
5	6	10,5	8,87	1,48	8,51	0,81	5,76	0,96	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy phân giới
6	6	10,5	9,92	1,65	9,79	0,93	6,06	1,01	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D>1, dòng chảy có áp
7	6	10,5	10,95	1,83	10,62	1,01	6,10	1,02	h ₁ /D ₁ >1, h ₂ /D>1, chảy có áp
8	7	11,5	9,62	1,37	9,38	0,82	6,86	0,98	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy không áp
9	7	11,5	11,81	1,69	11,71	1,02	7,02	1,00	h ₁ /D ₁ >1, h ₂ /D=1, chảy có áp
10	8	12,5	13,75	1,72	13,63	1,09	8,01	1,00	h ₁ /D ₁ >1, h ₂ /D=1, chảy có áp
11	8	12,5	16,42	2,05	16,40	1,31	8,02	1,00	h ₁ /D ₁ >1, h ₂ /D=1, chảy có áp
Mô hình 2, 3									
10	11	17,16	17,04	1,49	14,61	0,85	10,89	0,96	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy phân giới

TT thí nghiệm	D (m)	D ₁ (m)	H (m)	H/D	Độ sâu cửa vào h ₁ (m)	h ₁ /D ₁	Độ sâu cửa ra h ₂ (m)	h ₂ /D	Chế độ chảy
11	11	17,16	17,20	1,51	15,22	0,89	10,91	0,96	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy phân giới
12	11	17,16	19,05	1,67	17,00	0,99	11,40	1,00	h ₁ /D ₁ =1, h ₂ /D<1, chảy có áp
13	11	17,16	20,03	1,76	20,03	1,17	11,40	1,00	h ₁ /D ₁ >1, h ₂ /D<1, chảy có áp
14	13	17,16	17,20	1,32	15,03	0,88	11,51	0,89	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy tự do
15	13	17,16	18,20	1,40	15,20	0,89	11,61	0,89	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy tự do
16	13	17,16	19,72	1,52	17,15	1,00	11,85	0,91	h ₁ /D ₁ =1, h ₂ /D<1, chảy phân giới
17	13	17,16	20,40	1,57	17,44	1,02	13,48	1,04	h ₁ /D ₁ >1, h ₂ /D>1, chảy có áp



Hình 3.1 Kết quả thí nghiệm xác định chế độ chảy mô hình 1, D=5m



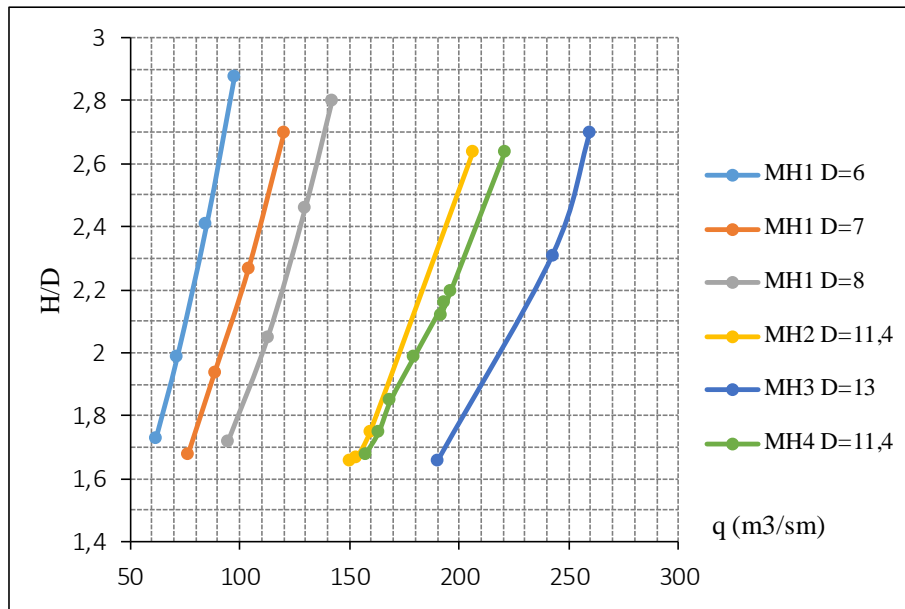
Hình 3.2 Kết quả thí nghiệm xác định chế độ chảy mô hình 2

3.1.2. Khả năng tháo và hệ số lưu lượng

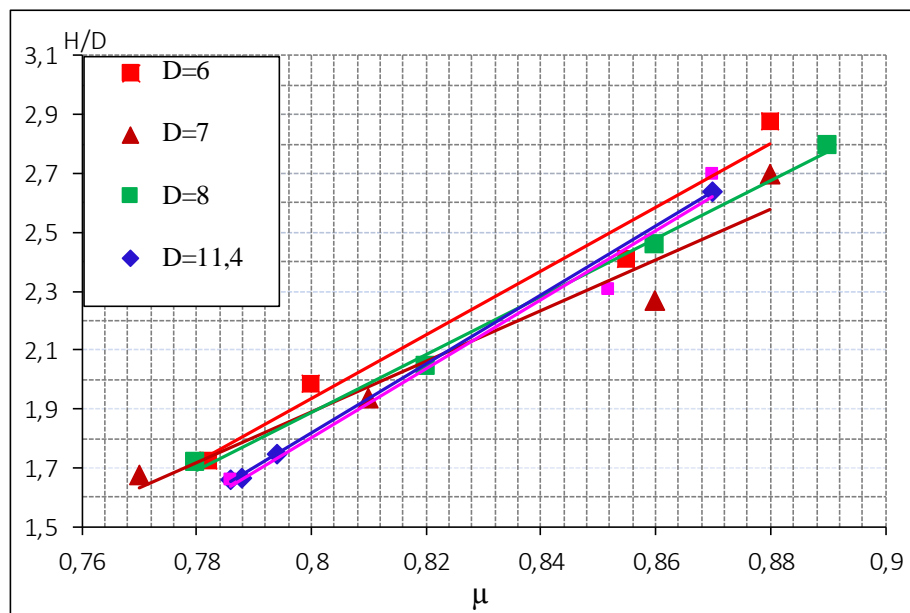
Số liệu thí nghiệm 12 trường hợp với đập Creager-O'Fisherop và 15 trường hợp với đập WES trong phạm vi $0,8 < H/H_d < 1,89$ hoặc $1,6 < H/D < 2,83$ cho kết quả ở Bảng 3.2, biểu diễn trên các Hình 3.5 ÷ Hình 3.6.

Từ đồ thị Hình 3.5, cho thấy khả năng tháo tăng tỉ lệ thuận với chiều cao lỗ, đường khả năng tháo với các chiều cao lỗ khác nhau có xu hướng song song nhau, thể hiện quan hệ tuyến tính của lưu lượng tháo và chiều cao lỗ.

Hình 3.6, cho thấy, với các mô hình thí nghiệm cho kết quả hệ số lưu lượng phân bố tương đối tập trung, có qui luật, giá trị trong khoảng $\mu = 0,76 \div 0,888$. Hệ số μ đồng biến với tỉ lệ với H/D.



Hình 3.5 Đồ thị xác định khả năng tháo



Hình 3.6 Đồ thị xác định hệ số lưu lượng μ

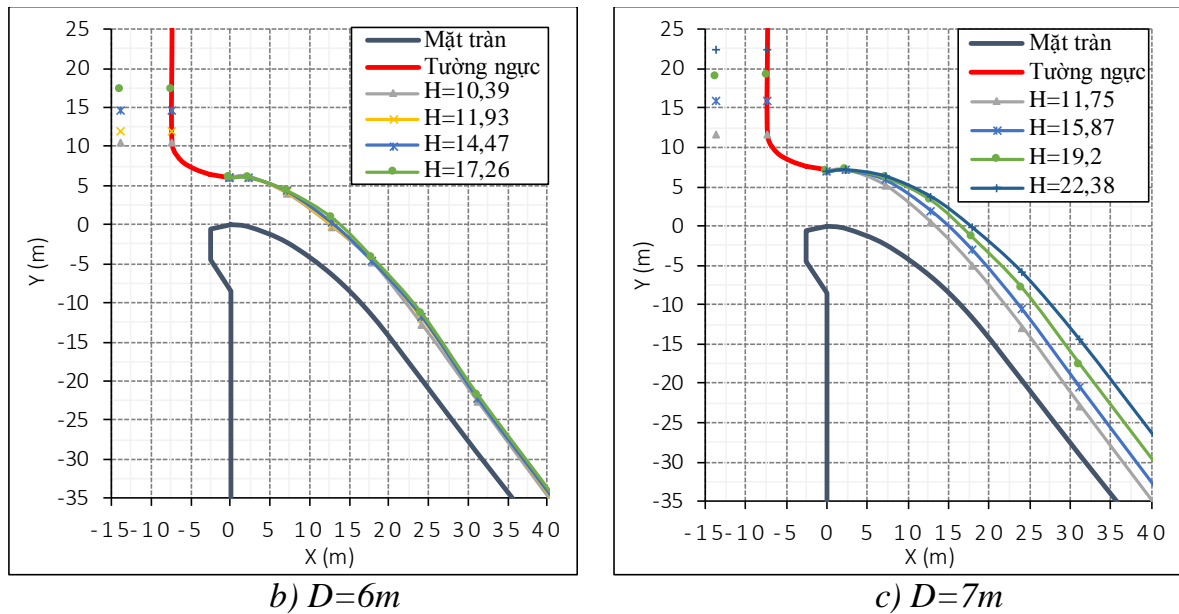
3.1.3 Đường mặt nước

Luận án đã thí nghiệm cho các trường hợp đường mặt nước với tỷ lệ $H/D=1,68\div 3,2$ cho hai dạng mặt cắt đập WES và Creager-Ophixerop.

Quan sát thí nghiệm và các đồ thị nhận thấy, các trường hợp thí nghiệm $H/D=1,6\div 2,8$, dòng chảy sau tường ngược chảy bám sát mặt tràn và có độ sâu bằng chiều cao lỗ. Độ sâu dòng chảy giảm dần về phía hạ lưu, phù hợp với đặc tính dòng xiết.

Với các trường hợp $H/D > 3$, độ sâu dòng chảy ra khỏi lỗ có xu hướng vòng cao hơn chiều cao lỗ, đây là biểu hiện của dòng chảy có xu thế tách dòng, gây hiện tượng chân không lớn, điều này phù hợp với các khuyến cáo trong các tài liệu hướng dẫn khi chọn $H/H_d < 1,33$.

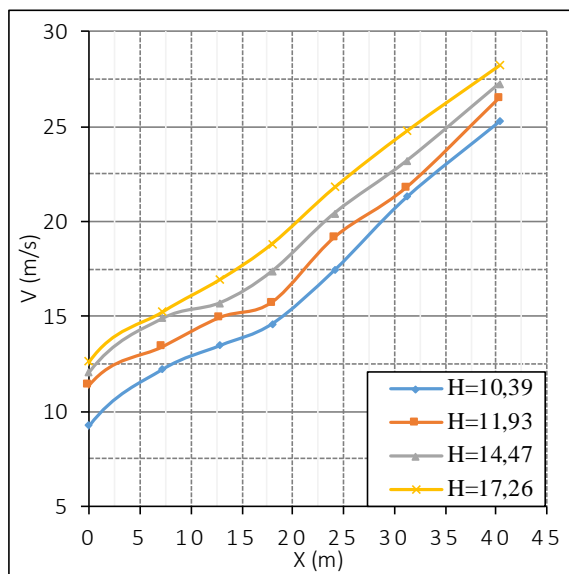
Đối với cả hai dạng mặt tràn được nghiên cứu, khi $H/D > 1,6$ thì dòng chảy qua tường ngực là dòng có áp. Độ sâu dòng chảy ở trên đoạn ngay sau tường ngực ít thay đổi, xấp xỉ chiều cao lỗ tường ngực. Giải thích cho kết quả này là do ở đoạn đỉnh tràn gần như nằm ngang, độ dốc theo phương ngang rất bé (khoảng $\theta < 7-8^\circ$, $\cos(\theta) > 0,99$), dòng chảy xiết ($Fr > 1$) ra khỏi lỗ giữ nguyên độ sâu đến đoạn thay đổi độ dốc lớn hơn. Các trường hợp $H/H_d > 3$ dòng chảy có xu thế tách dòng.



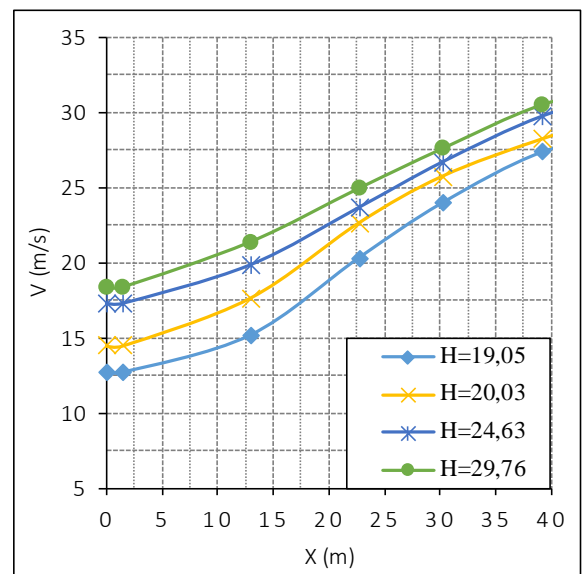
Hình 3.7 Đường mặt nước chế độ chảy có áp mô hình 1

3.1.4 Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm vận tốc dòng chảy

Kết quả đo vận tốc dòng chảy trên tuyến mặt tràn được ghi lại cùng với thí nghiệm đường mặt nước.



Hình 3.12 Đồ thị phân bố vận tốc ở mô hình 1, $D=6m$



Hình 3.15 Đồ thị phân bố vận tốc mô hình 2

Từ kết quả đo cho thấy phân bố vận tốc dòng chảy là phù hợp với quy luật, vận tốc dòng chảy tăng dần từ đỉnh tràn đến đoạn chuyển tiếp đường thẳng trên mặt tràn, vận tốc

tăng khi mức nước thượng lưu tăng và không phát hiện sự khác biệt về qui luật giữa các trường hợp nghiên cứu.

3.1.5 Phân bố áp suất trên đập tràn có tường ngược

3.1.5.1 Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm áp suất trên mặt tràn

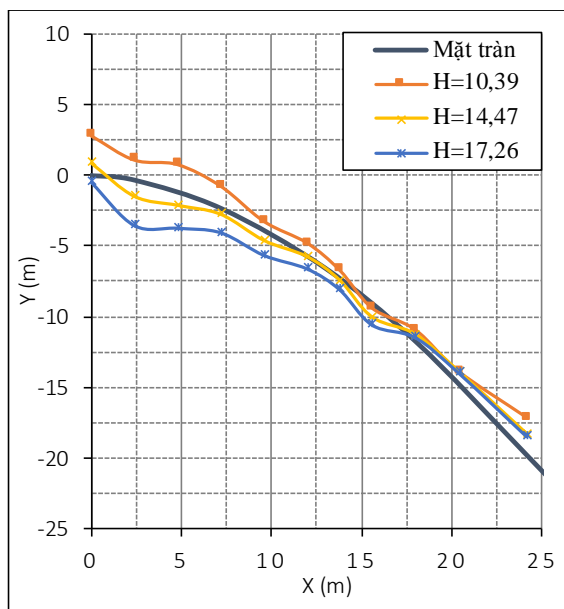
1/ Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm áp suất trên mặt tràn mô hình 1

Kết quả đo áp suất tuyến giữa khoang ở mô hình 1 với $D=5\div 8m$ được biểu diễn trên Hình 3.18÷Hình 3.21.

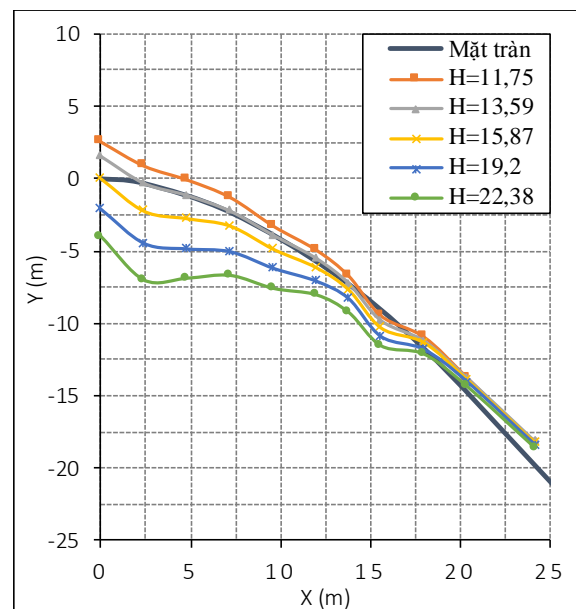
Các nghiên cứu thực hiện với tỷ lệ $H/D=1,35\div 3,4$ hay $H/H_d=0,80$ đến 1,89, phân tích kết quả và trên đồ thị nhận thấy:

- Khi $H/H_d \leq 1$, Trên mặt tràn không xuất hiện áp suất chân không và ngược lại. Áp suất chân không tăng nhanh khi $H/H_d > 1$.
- Vị trí xuất hiện áp suất chân không lớn nhất ở lân cận đỉnh tràn, vùng chân không kéo dài từ đỉnh tràn về hạ lưu trong khoảng $X/H_d = (0\div 1,2)$.
- Giá trị chân không có thể vượt quá giá trị chân không cho phép không xâm thực mặt tràn ($h_{ck}=5\div 6m$) khi tỷ lệ $H/H_d > 1,6$.

Các nhận xét trên phù hợp với quy luật phân bố áp suất ở mặt tràn khi chảy tự do, nhưng giá trị có thể khác, và phù hợp với khuyến cáo cho trường hợp chảy hở, $H/H_d < 1,33$.



Hình 3.19 Cao độ đường đo áp tuyến giữa khi chảy có áp ở mô hình 1, $D=6m$

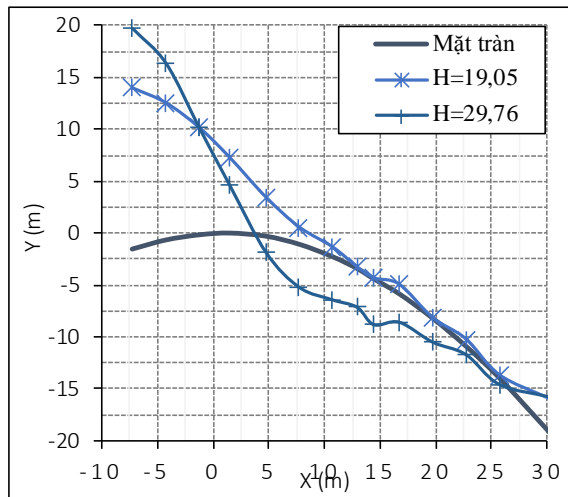


Hình 3.20 Cao độ đường đo áp tuyến giữa khi chảy có áp ở mô hình 1, $D=7m$

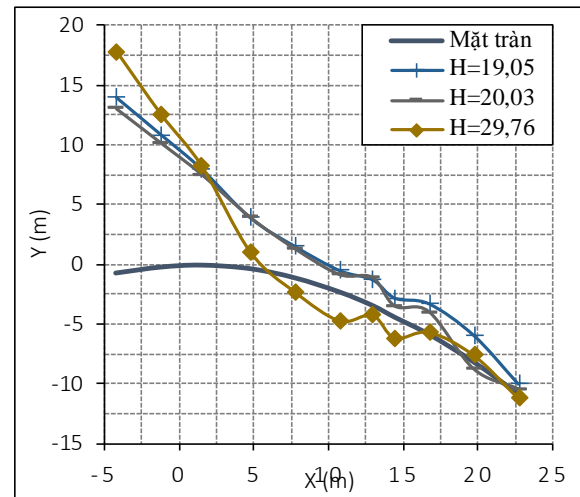
2/ Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm áp suất trên mặt tràn mô hình 2

Kết quả thí nghiệm về áp suất ở tuyến giữa khoang và sát trụ pin mô hình 2 được thể hiện trên các Hình 3.22÷ Hình 3.23.

Quy luật phân bố áp suất trên mặt đập, do ảnh hưởng của phần đoạn cong thượng và hạ lưu, áp suất dòng chảy có xu thế giảm dần từ thượng lưu về hạ lưu, vùng áp suất giảm mạnh, có thể có chân không trong khoảng $X = (-0,2 \div 1,4)H_d$ tùy thuộc vào tỉ lệ H/H_d . Tỉ lệ H/H_d tăng áp suất càng giảm mạnh, vùng giảm áp và chân không càng lớn.

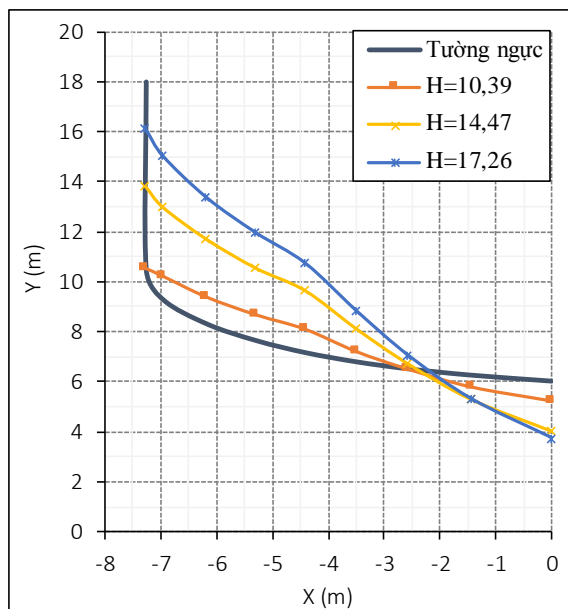


Hình 3.22 Cao độ đường đo áp tuyến giữa khi chảy có áp mô hình 2



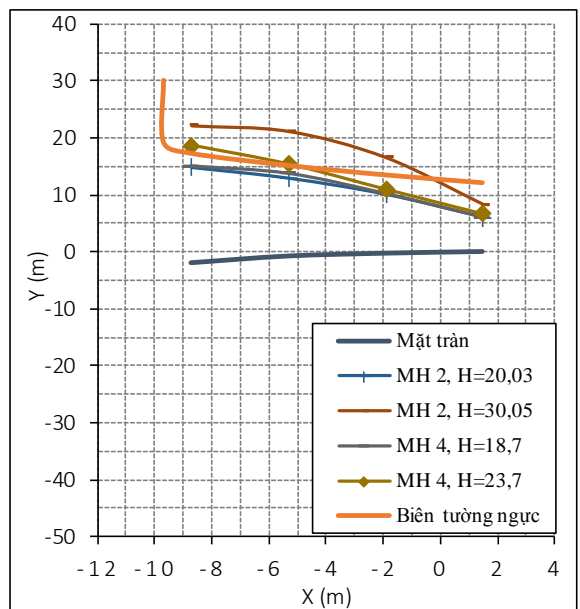
Hình 3.23 Cao độ đường đo áp tuyến sát trụ pin khi chảy có áp mô hình 2

3.1.5.2 Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm áp suất lên tường ngực



Hình 3.27 Cao độ đường đo áp trên tường ngực ở mô hình 1, $D=6$ m.

- Vùng áp suất dương $h_p > 0$, ở khoảng $2/3$ chiều dài đoạn đầu tường ngực.
- Áp suất giảm, $h_p < 0$, ở $1/3$ đoạn cuối của tường ngực, áp suất chân không càng lớn, khi mực nước càng cao.
- Giá trị áp suất chân không có thể vượt quá giá trị cho phép khi $H/D > 3$.
- Quy luật phân bố áp suất ở tường ngực trong các trường hợp thí nghiệm không có sự khác biệt.



Hình 3.30 Cao độ đường đo áp trên tường ngực ở đoạn có áp mô hình 2, 4

Quy luật phân bố trên tường ngực cho hai dạng mặt tràn ở các mô hình thí nghiệm tương tự nhau.

3.2 Xác định một số đặc trưng thủy lực của đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong

3.2.1 Xây dựng công thức tính hệ số lưu lượng

Từ kết quả xây dựng phương trình nghiên cứu thực nghiệm và phân tích tương quan đã xác định được các biến của hàm không thứ nguyên hệ số lưu lượng μ như phương trình (2.13). Từ công thức này kết hợp với dạng hàm đa thức tuyến tính, phi tuyến hoặc hàm mũ, sử dụng phương pháp phân tích hồi quy tuyến tính để tìm ra mối quan hệ giữa các biến thực nghiệm với μ . Nhiều dạng hàm số tích hợp bởi các biến không thứ nguyên và các dạng hàm của các công thức tính μ đã được khảo sát và thử nghiệm, nhưng dạng hàm tuyến tính được sử dụng cho hàm f_1 thu được kết quả tốt nhất như dạng (3.1).

$$\mu = b_0 + b_1 \frac{H}{D} + b_2 \frac{H_d}{D} + b_3 \frac{D_1}{D} + b_4 \frac{b}{D} \quad (3.1)$$

Bên cạnh đó kế thừa các kết quả nghiên cứu đã có, đặc biệt là các nghiên cứu của Ân Độ, kết hợp với phân tích tương quan cho thấy, hệ số lưu lượng μ tương quan rất chặt với đại lượng H/D (hệ số tương quan là 0,92), trong khi đó hệ số H/H_d có tương quan với μ thấp hơn chỉ đạt 0,83. Do vậy, ở đây sử dụng dạng hàm của công thức (1.11), thay H/H_d bằng H/D thu được công thức (3.2).

$$\mu = M \left(\frac{H}{D} \right)^2 + N \left(\frac{H}{D} \right) + P \quad (3.2)$$

Tập lập công thức có số liệu thí nghiệm của 5 kịch bản chiều cao lỗ D , 3 chiều cao cửa vào, 3 giá trị H_d , 17 giá trị H/D . Tập kiểm định công thức với số liệu thí nghiệm của hai trường hợp chiều cao lỗ D có $H_d/D=1,71$ và $1,78$; $D_1/D=1,77$ và $1,83$. Sai lệch trong luận án này được tính là sai lệch tương đối $(\mu_{\text{tn}} - \mu_{\text{tt}}) / \mu_{\text{tn}}$.

Sử dụng công cụ phân tích hồi quy (Regression) của phần mềm xử lý số liệu Microsoft Excel xác định được các hệ số hồi quy của phương trình cho kết quả các tham số và hệ số hồi quy của hàm thực nghiệm ở (Bảng 3.5), các công thức từ (3.3) đến (3.6) theo dạng tuyến tính (3.1) và công thức (3.7) theo dạng đa thức bậc 2 theo dạng (3.2).

Bảng 3.5 Tham số tương quan và hệ số hàm thực nghiệm về hệ số lưu lượng

Công thức	Hệ số hàm thực nghiệm					Tham số tương quan		Sai số (%)	
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	S	$Sig.F$	Min	Max
Công thức (4.3)	1,8700	0,0638	0,5797	-1,0967	-0,1507	0,797	0,0073	-3,85	3,58
Công thức (4.4)	0,7410	0,0660	-0,0481	0,0136		0,784	0,0033	-3,53	3,22
Công thức (4.5)	0,7150	0,0727	-0,0246			0,929	3E-07	-2,22	2,96
Công thức (4.6)	0,6741	0,0721				0,915	1E-07	-2,82	2,33
Công thức (4.7)	M	N	P						
	-0,0432	0,2640	0,4695			0,932	2,37E-07	-2,93	2,89

Bảng 3.5 cho các phương trình hồi quy tính toán hệ số lưu lượng như sau:

$$\mu = 1,8700 + 0,0638 \frac{H}{D} + 0,5797 \frac{H_d}{D} - 1,0967 \frac{D_1}{D} - 0,1507 \frac{b}{D} \quad (3.3)$$

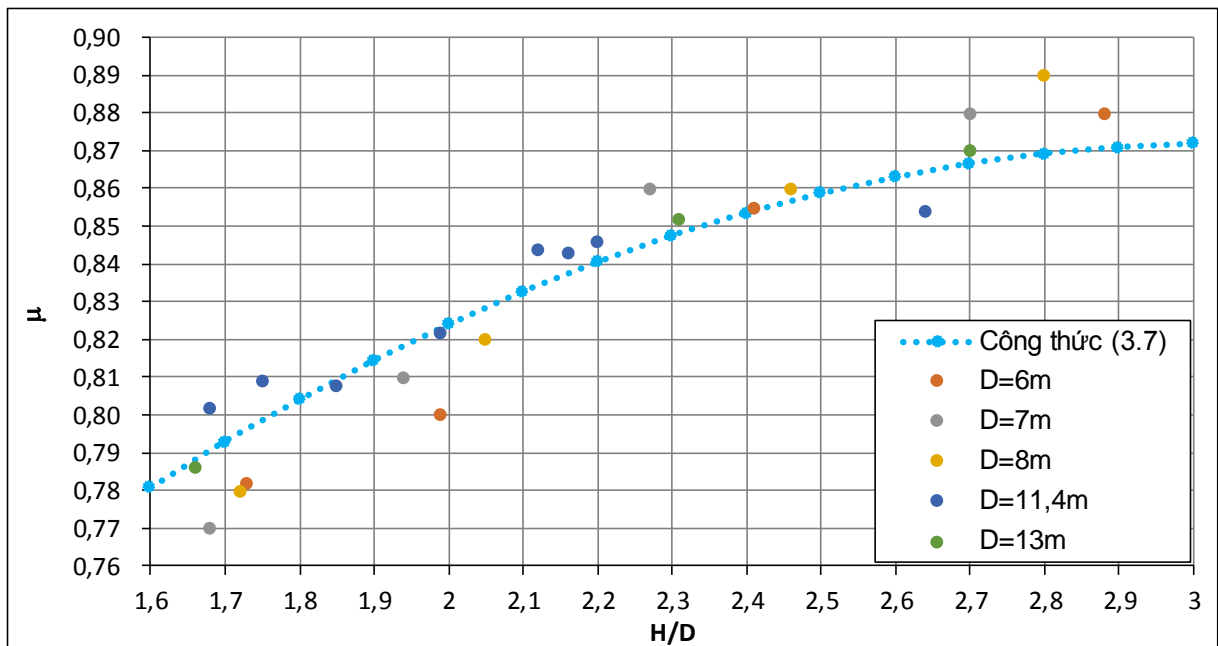
$$\mu = 0,7410 + 0,066 \frac{H}{D} - 0,0481 \frac{H_d}{D} + 0,0136 \frac{D_1}{D} \quad (3.4)$$

$$\mu = 0,7150 + 0,0727 \frac{H}{D} - 0,0246 \frac{H_d}{D} \quad (3.5)$$

$$\mu = 0,6741 + 0,0721 \frac{H}{D} \quad (3.6)$$

$$\mu = 0,4695 + 0,2637 \left(\frac{H}{D}\right) - 0,0432 \left(\frac{H}{D}\right)^2 \quad (3.7)$$

So sánh sai số và mức độ tương quan cho thấy công thức (3.7) là phù hợp nhất để xác định hệ số lưu lượng chảy có áp qua đập tràn có tường ngực. Biểu diễn mối quan hệ này trên Hình 3.32.



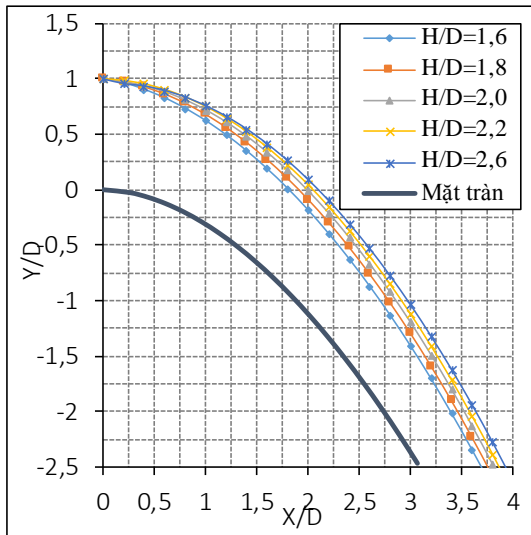
Hình 3.32 Quan hệ giữa hệ số lưu lượng μ và tỉ số H/D

Công thức 3.7 cũng được kiểm chứng với các công trình đã xây dựng và cho kết quả phù hợp khi hầu hết sai lệch nhỏ hơn 5% và sai lệch lớn nhất <8%.

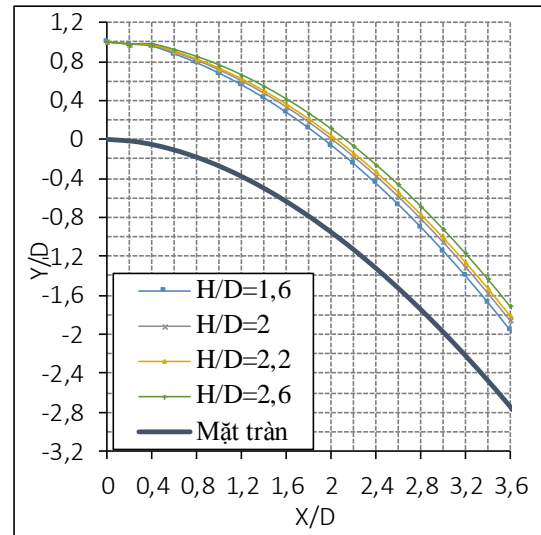
3.2.2 Xác định đường mặt nước và vận tốc dòng chảy

3.2.2.1 Xác định đường mặt nước

Phương trình xác định đường mặt nước là phương trình (1.16). Tuy nhiên sự khó khăn với việc ứng dụng phương trình này là xác định hệ số vận tốc φ trong trường hợp chảy có áp. Luận án đã kiến nghị giá trị φ cho trường hợp chảy có áp $\varphi=0,94\div 0,98$, theo đồ thị Hình 3.33 với $\varphi = -0,001X + 0,99$ và xây dựng đường mặt nước $Y/D=f(X/D, H/D)$ ứng với các mức nước $H/D=1,6; 1,8; 2,0; 2,2$ và $2,6$ là phạm vi cột nước thường dùng thực tế cho đập tràn WES được kết quả ở Bảng 3.6, Hình 3.34 và đập tràn Creager-Ophixerop ở Bảng 3.7, hình 3.35.



Hình 3.34. Tọa độ đường mặt nước biểu diễn theo dạng hàm $Y/D=f(X/D, H/D)$ mặt tràn dạng WES



Hình 3.35. Tọa độ mặt nước biểu diễn theo dạng hàm $Y/D=f(X/D, H/D)$ mặt tràn dạng Creager-Ophixerop

3.2.2.3 Tính vận tốc

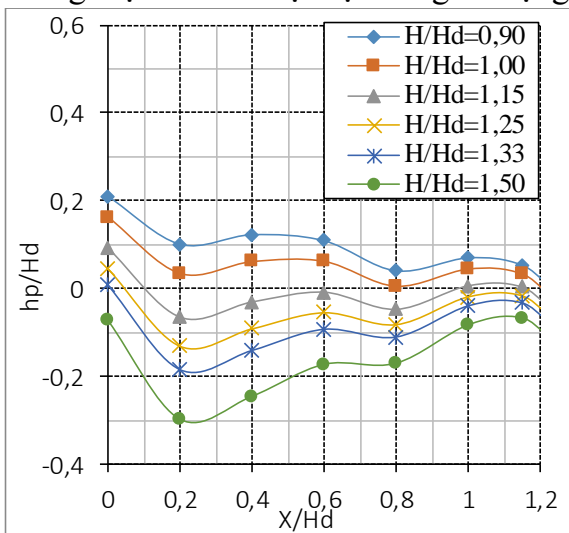
Vận tốc dòng chảy được tính theo công thức $V_i=q/h_i$

Trong đó: h_i - độ sâu dòng chảy tại mặt cắt i tính toán được tra theo bảng tính hay đồ thị không thứ nguyên Bảng 3.6, Hình 3.34 cho mặt tràn WES; Bảng 3.7, Hình 3.35 cho mặt tràn Creager-Ophixerop.

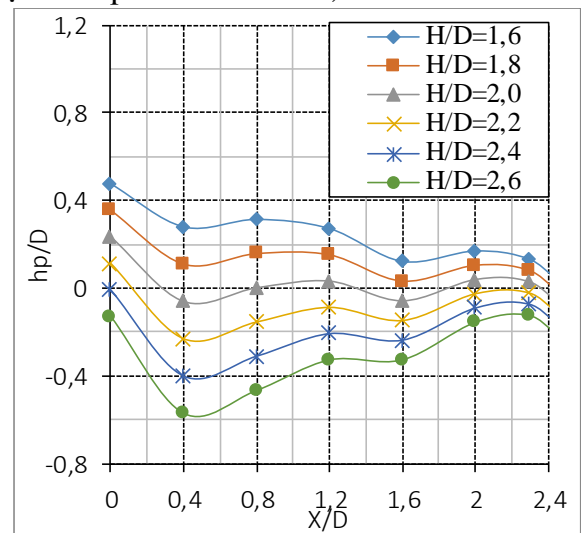
3.2.3 Quy luật phân bố áp suất trên mặt tràn

3.2.3.1 Quy luật phân bố áp suất mặt tràn dạng Creager-Ophixerop

Để thuận tiện trong tra cứu, tính toán kết quả thí nghiệm áp suất biểu diễn dưới dạng không thứ nguyên theo hàm h_p/H_d bằng cách chia kết quả này cho H_d . Từ các kết quả áp suất cho các trường hợp thực nghiệm, sử dụng phương pháp thống kê thực nghiệm với các giá trị cột nước thiết kế H_d , các trường hợp thí nghiệm với tỉ lệ H/H_d , trung bình hóa các giá trị này với các giá trị $H/H_d=0,9$ đến 1,5 và $H/D=1,6$ đến 2,6 rồi chuyển về dạng áp suất $h_p/H_d=f(H/H_d, X/H_d)$ hoặc $h_p/D=f(H/D, X/D)$ tuyến giữa mặt tràn Creager-Ophixerop khi chảy có áp ứng với các trường hợp H/H_d hoặc H/D hay gặp trong thực tế để thuận lợi trong sử dụng được kết quả ở Hình 3.36, Hình 3.37.



Hình 3.36 Áp suất $h_p/H_d = f(X/H_d, H/H_d)$ mặt tràn Creager-Ophixerop

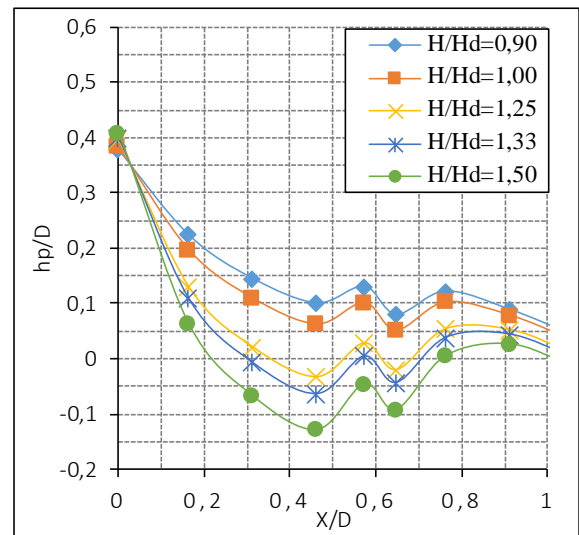
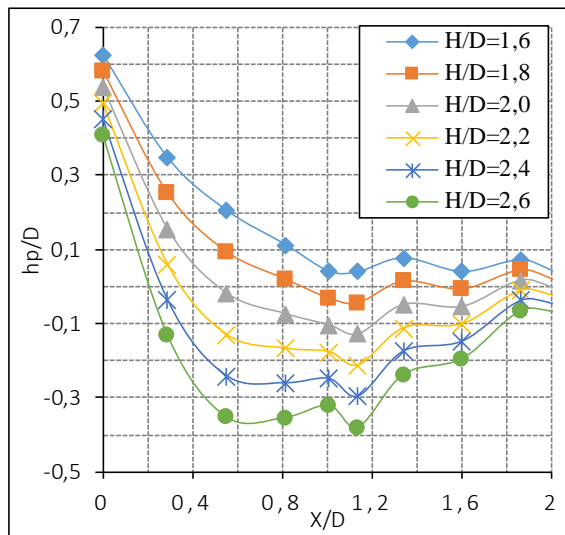
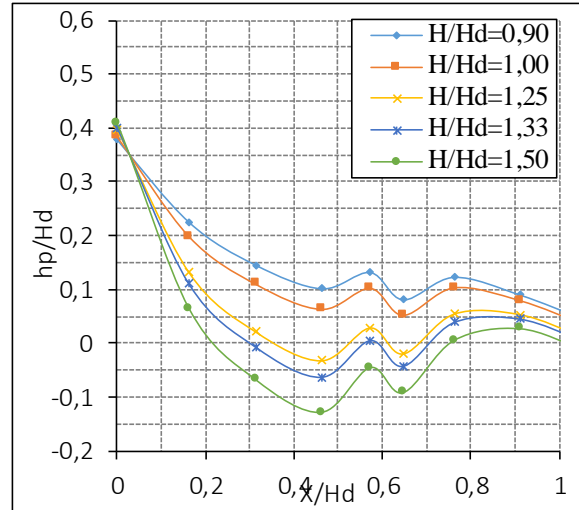


Hình 3.37 Áp suất $h_p/D = f(X/D, H/D)$ mặt tràn Creager-Ophixerop

3.2.3.2 Quy luật phân bố áp suất trên mặt tràn WES

Làm tương tự như với đập Creager-Ofixerop, có được biểu đồ phân bố áp suất mặt tràn WES như các hình từ 3.38 đến 3.40.

Hình 3.38. Áp suất $h_p/H_d = f(H/H_d, X/H_d)$ tuyến giữa, mặt tràn WES



Hình 3.39. Áp suất $h_p/D = f(H/D, X/D)$ tuyến giữa, mặt tràn WES

Hình 3.40. Áp suất $h_p/D = f(H/D, X/D)$ tuyến sát trụ pin, mặt tràn WES

3.2.4 Xác định áp suất trên tường ngực

Sơ đồ tính áp suất trên bề mặt tường ngực tương tự như tràn cửa vào tuynel, cống. Để tính toán phân bố áp suất dưới tường ngực và mặt tràn trong phần chảy có áp có thể áp dụng phương pháp tính như ở cửa vào tuynel, cống được trình bày tại [2], [7], [51], [52]. Áp suất ở tường ngực được tính theo công thức (1.26). Từ kết quả thí nghiệm ở các mô hình thí nghiệm được ghi ở bảng PL3.23 và các Hình 3.30÷Hình 3.31 tính hệ số giảm áp C_p , kết quả ghi ở Bảng 3.9, Bảng 3.10.

Với đập tràn có mặt cắt dạng WES: Từ kết quả tính ở bảng trên cho thấy, mỗi vị trí trên tường ngực và mặt tràn phần chảy có áp có một giá trị C_p , giá trị C_p tăng theo chiều dòng chảy và giá trị C_{pmax} ở vị trí mặt cắt cuối phần chảy có áp.

Tại các mô hình, giá trị C_{pmax} từ các thí nghiệm đều có kết quả phù hợp với tính toán lý thuyết. Như vậy có thể sử dụng công thức (1.25) để xác định áp suất ở đập tràn có tường ngực trong vùng chảy có áp với hệ số C_p tham khảo [51], [52].

3.3 Kết luận chương 3

Qua khảo sát 19 trường hợp thí nghiệm, kết hợp quan sát nhận thấy dòng chảy có áp qua đập tràn thực dụng có tường ngược khi $H/D \geq 1,6$;

Các kết quả thực nghiệm mô hình thủy lực là chế độ dòng chảy, đường mặt nước, khả năng tháo, vận tốc dòng chảy và phân bố áp suất có quy luật phù hợp với các tài liệu đã công bố.

Kết quả và những đánh giá kết quả nghiên cứu thực nghiệm mô hình vật lý đủ tin cậy làm căn cứ để xây dựng phương pháp xác định một số đặc trưng thủy lực ở đập tràn thực dụng có tường ngược biên cong.

Các yếu tố thủy lực liên quan là xác định phạm vi cột nước làm việc, lưu lượng, chế độ dòng chảy qua đập tràn, vận tốc dòng chảy và áp suất lên mặt tường ngược và đập tràn.

Luận án đã sử dụng phương pháp hồi quy tuyến tính để tìm ra mối quan hệ giữa các biến thực nghiệm với hệ số lưu lượng và xác định được phương trình (3.7) phù hợp nhất để tính hệ số lưu lượng cho dòng chảy có áp ở đập tràn thực dụng có tường ngược biên cong. Công thức này biểu diễn quan hệ giữa $\mu = f(H/D)$.

Sử dụng phương trình (1.16) kết hợp với đồ thị tính hệ số lưu tốc φ ở Hình 3.33 để xác định đường mặt nước hoặc cũng có thể xác định theo Bảng 3.6, hình 3.34 đối với mặt tràn WES; Bảng 3.7, hình 3.35 đối với mặt tràn Creager-Ophixerop.

Luận án đã kiến nghị áp dụng công thức xác định áp suất trên mặt tràn, tường ngược ở đoạn chảy có áp theo các công thức (1.25), (1.26) là các công thức tính áp suất cho cống, tuynel. Áp suất nhỏ nhất trên tường ngược ở đoạn chảy có áp tính theo công thức (1.27).

Luận án đã sử dụng phương pháp thống kê thực nghiệm để đề xuất phương pháp xác định quy luật phân bố áp suất trên mặt tràn ở đoạn chảy tự do sau tường ngược trên mặt tràn Creager-Ophixerop theo các Hình 3.36, Hình 3.37, trên mặt tràn WES theo các Hình 3.38÷Hình 3.40.

CHƯƠNG 4 QUY TRÌNH TÍNH TOÁN CÁC ĐẶC TRƯNG THỦY LỰC CỦA ĐẬP TRÀN THỰC DỤNG CÓ TƯỜNG NGƯỢC BIÊN CONG

Để thuận lợi trong việc ứng dụng các kết quả nghiên cứu nêu trên, ở chương 4 trình bày về quy trình tính toán các đặc trưng thủy lực như đường mặt nước, lưu lượng, vận tốc và áp suất dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngược biên cong và ứng dụng cho một công trình cụ thể.

4.1 Quy trình tính toán thủy lực

4.1.1 Xác định kích thước công trình

Căn cứ vào yêu cầu nhiệm vụ công trình xác định được các mực nước thiết kế hồ chứa như với hồ chứa có đập tràn thông thường. Những thông số chính về kết cấu đập tràn tường ngược biên cong cần phải xác định gồm Profile đỉnh đập tràn, cả phía thượng lưu và hạ lưu, Profile mặt dưới tường ngược và chiều cao lỗ D. Tính toán điều tiết, xác định được mực nước thượng lưu tràn (Z_{TL}) ứng với các tần suất thiết kế.

Các kết quả này làm thông số đầu vào cho tính toán các đặc trưng thủy lực.

4.1.2 Tính kiểm tra khả năng tháo

Lưu lượng qua đập tràn khi chảy hở được tính toán như với đập tràn thông thường. Lưu lượng được xác định theo công thức (1.14) cho mặt cắt Creager-Ophixerop hoặc (1.15) cho mặt cắt WES.

Lưu lượng qua đập tràn khi chảy có áp được xác định theo công thức (1.10), với μ xác định theo công thức (3.7).

4.1.3 Tính đường mặt nước, vận tốc

Nội suy từ bảng (3.7) hoặc hình (3.35) cho mặt cắt Creager-Ophixerop, bảng (3.6) hoặc hình (3.34.) cho mặt cắt WES được các đường mặt nước ứng với các mực nước thượng lưu theo các quan hệ $Y/D=f(X/D,H/D)$. Đưa đường mặt nước về tọa độ thực của công trình $Y=f(X,H/D)$ bằng cách nhân cả 2 vế với D , rồi biểu diễn trên cùng tọa độ mặt tràn xác định được chiều sâu lớp nước h_i trên mặt tràn tại các mặt cắt tính toán. Tính vận tốc trung bình tại từng mặt cắt tính toán theo công thức $V=Q/h_i$.

4.1.4 Phân bố áp suất

4.1.4.1 Trên mặt tràn

Nội suy từ hình (3.36÷3.37) cho mặt cắt Creager-Ophixerop, hình (3.38÷3.40.) cho mặt cắt WES được áp suất lên mặt tràn ứng với các mực nước thượng lưu theo các quan hệ $h_p/D=f(X/D,H/D)$.

Đưa áp suất về giá trị thực của công trình $h_p=f(X,H/D)$ rồi biểu diễn trên cùng tọa độ mặt tràn xác định được áp suất lên mặt tràn tại các vị trí tính toán.

4.1.4.2. Trên tường ngực

Căn cứ vào độ cong của tường ngực được k_e ;

Độ lồi k_r được xác định theo độ lồi của cửa vào theo tỉ số h_v/D ;

Từ k_e, k_r tra hình (1.30) xác định được C_{pmax} ;

Thay C_{pmax} vào công thức (1.27) tính được áp suất dư lớn nhất lên tường ngực.

4.1.5 Quy trình tính toán

Quy trình tính toán thủy lực đập tràn có tường ngực nhằm xác định các đặc trưng thủy lực như khả năng xả, đường mặt nước, vận tốc, áp suất. Quy trình tính toán được thể hiện trên sơ đồ Hình 4.1.

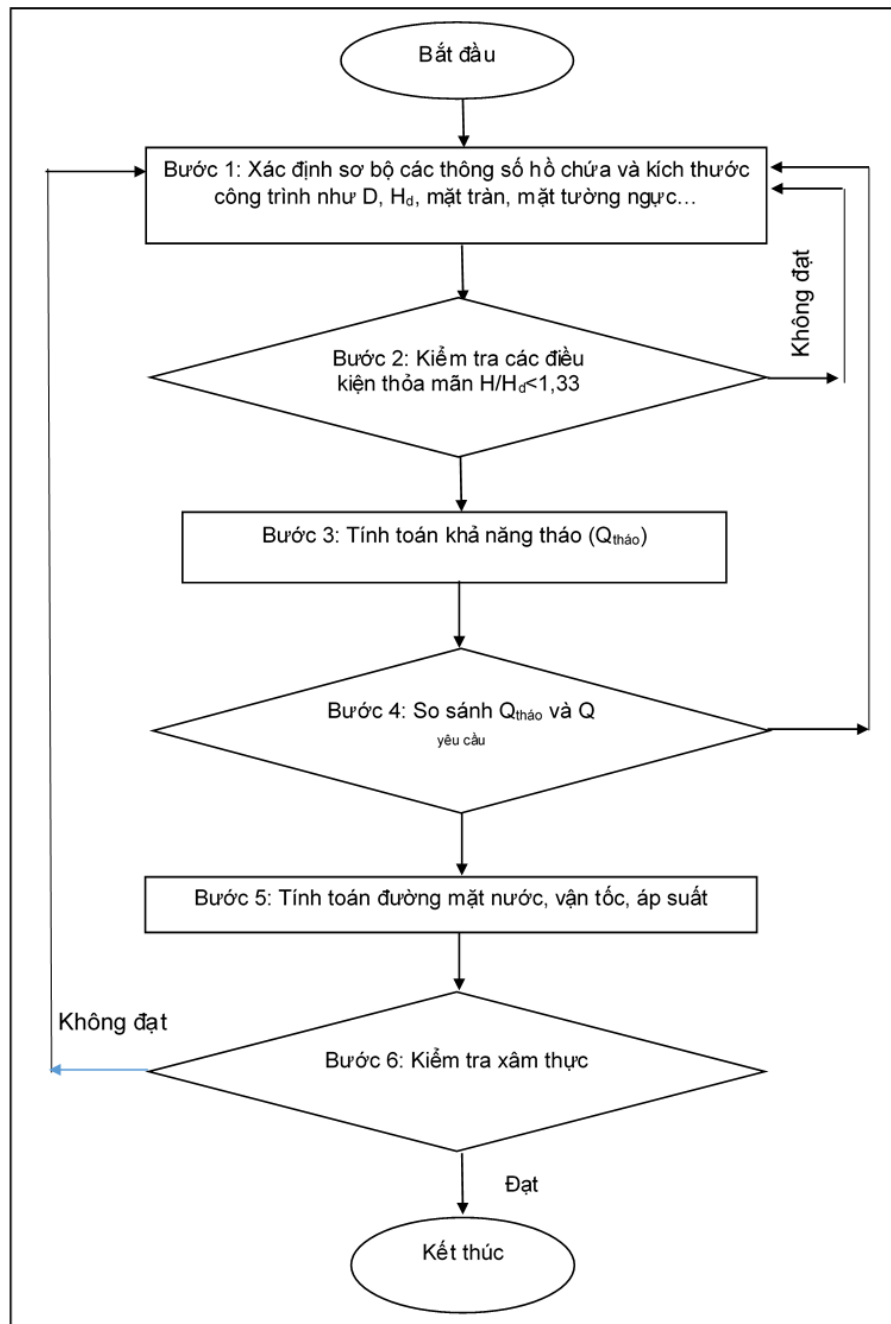
4.2 Ứng dụng

Luận án nghiên cứu sử dụng số liệu mực nước, lưu lượng của tràn xả lũ Bản Lải để đề xuất tính toán phương án ứng dụng tràn thực dụng có tường ngực biên cong. Luận án đã thực hiện các bước trong quy trình để thực hiện thiết kế, tính toán cho phương án tràn thực dụng có tường ngực hồ chứa Bản Lải. Kết quả tính toán đáp ứng yêu cầu đặt ra với hồ chứa phòng lũ. Lưu lượng cắt lũ trong trường hợp thiết kế là 870 m^3 đáp ứng yêu cầu xả xuống hạ lưu là 845 m^3 .

Bảng 4.7. Bảng so sánh kết quả tính toán của luận án và phương án dự kiến điều chỉnh

STT	Thông số	Đơn vị	Kết quả tính toán các phương án		
			Dự án đầu tư	Dự kiến điều chỉnh	Luận án
1	Cấp công trình		1	2	2
2	Tuyên đập dâng và tràn		Hai tuyên	Cùng tuyên	Cùng tuyên
3	Cao trình đỉnh đập khô	m	319,00	316,50	316,50

STT	Thông số	Đơn vị	Kết quả tính toán các phương án		
			Dự án đầu tư	Dự kiến điều chỉnh	Luận án
4	MNDBT	m	314,50	302,45	302,45
5	MNC	m	294,50	294,50	294,50
6	MNLTK	m	315,63	312,48	312,48
7	MNLKT	m	317,16	315,53	315,53
8	B tràn mặt	m	215,00	50	50
8	Kích thước xả sâu	B x H	D=8 m	(4 x 3,2) m	(4,2 x 7,0)m
9	Số cửa xả sâu	Cửa	1	5	2
10	Cao trình ngưỡng xả sâu	m	296,50	294,00	294,00
11	Q xả 1%	m ³ /s	918,00	873,00	870,00
12	Q xả 0,2%	m ³ /s		949,00	1494,00



Hình 4.1 Sơ đồ tính toán thủy lực đập tràn có tường ngực

4.3 Kết luận chương 4

Quy trình tính toán được xây dựng giúp người thiết kế có được cái nhìn trực quan và dự đoán được đặc điểm thủy lực dòng chảy qua đập tràn có tường ngực, từ đó rút ngắn được thời gian tính toán, giảm bớt được một phần khối lượng các phương án thí nghiệm mô hình vật lý góp phần nâng cao hiệu quả công tác thiết kế công trình.

Hồ chứa Bản Lãi có thể ứng dụng kết cấu đập tràn có tường ngực để giảm chiều cao đập mà vẫn đảm bảo nhiệm vụ phòng lũ cho công trình.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận chung của luận án

Đập tràn thực dụng hình cong với 2 dạng mặt cắt Creager-Ophixerop và WES là 2 dạng mặt cắt được ứng dụng phổ biến nhất. Các tính toán đặc trưng thủy lực của chúng được hướng dẫn tương đối đầy đủ qua các tài liệu tham khảo hiện có.

Đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong với 2 dạng mặt cắt Creager-Ophixerop và WES đã có những ứng dụng trong thực tế, việc nghiên cứu tính các đặc trưng thủy lực với các loại đập này còn rất hạn chế. Thực tế gặp khó khăn khi tìm các tài liệu hướng dẫn tính toán, tham khảo.

Luận án đã sử dụng phương pháp mô hình vật lý, xử lý số liệu theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm với hàm hồi quy tuyến tính để nghiên cứu xác định các đặc trưng thủy lực ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong.

Luận án đã nghiên cứu thực nghiệm cho mặt cắt Creager-Ophixerop trên 01 mô hình tỉ lệ 1/64 với 4 trường hợp chiều cao lỗ $D=5\div 8m$ tại Phòng thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về Động lực học sông biển; đã thu thập, phân tích, đánh giá kết quả thí nghiệm mô hình vật lý ở đập tràn mặt tràn WES ở mô hình 2, 3 tỉ lệ 1/48, mô hình 4 tỉ lệ 1/100.

Nghiên cứu tính toán, phân tích lý thuyết và thực nghiệm về chế độ dòng chảy cũng đã xác định được giới hạn định lượng chế độ chảy từ không áp sang có áp khi $H/D \geq 1,6$.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm của luận án với các biến đổi không thứ nguyên, xử lý số liệu theo phương pháp bình phương tối thiểu đề xuất công thức mới (3.7) để tính hệ số lưu lượng theo tỉ số H/D phản ánh trực tiếp đến chế độ chảy có áp. Luận án cũng đã đưa ra biểu đồ xác định đường mặt nước, vận tốc, áp suất trên mặt tràn.

Luận án đã đưa ra quy trình tính toán đặc trưng thủy lực cho đập tràn thực dụng có tường ngực và áp dụng thành công cho một công trình.

2. Những đóng góp mới của luận án

Luận án đã đạt được những kết quả chính về khoa học và các đóng góp mới sau đây:

1. Xây dựng và đề xuất mới công thức (3.7): $\mu = 0,4695 + 0,2637 \left(\frac{H}{D}\right) - 0,0432 \left(\frac{H}{D}\right)^2$ và đồ thị Hình 3.32 tính hệ số lưu lượng cho đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong; phạm vi cột nước làm việc $H/D=1,6\div 3,0$.

2. Xác định được hệ số lưu tốc $\varphi \approx 0,94\div 0,99$ theo hình 3.33 để tính độ sâu mực nước theo công thức (1.16) trong trường hợp chảy có áp. Xây dựng và kiến nghị ứng dụng bảng tọa độ không thứ nguyên bảng 3.6, Hình 3.34 với mặt tràn dạng WES; Bảng 3.7, Hình 3.35 với mặt tràn dạng Creager-Ophixcerop để tính đường mặt nước và vận tốc.

3. Đề xuất phương pháp xác định hệ số giảm áp $C_{p\max}$ để xác định áp suất nhỏ nhất theo công thức (1.25): $C_{pi} = \frac{2g(H_i - p_i/\gamma)}{v_k^2}$, (1.27): $\frac{p_{i\min}}{\gamma} = H_i - C_{p\max} \frac{V_k^2}{2g}$ ở phần chảy có áp trên đập tràn. Xây dựng các biểu đồ không thứ nguyên hình 3.36÷hình 3.37 đối với mặt tràn dạng Creager-Ophixcerop và hình 3.38÷ hình 3.40 đối với mặt tràn dạng WES để tính áp suất trên mặt tràn ở đoạn chảy tự do.

3. Kiến nghị

1. Áp dụng hình thức đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong vào thiết kế cho các công trình tháo ở các hồ chứa có nhiệm vụ phòng lũ, nâng cao khả năng tháo, tối ưu hóa cửa van và thiết bị cơ khí trong thiết kế mới và sửa chữa nâng cao an toàn.

2. Áp dụng số liệu, công thức, biểu đồ được thiết lập của luận án vào tính toán thiết kế công trình tháo dạng đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong với hai loại mặt cắt dạng WES và Creager-Ophixcerop khi chưa đủ tài liệu tham khảo cho nghiên cứu, tính toán.

4. Hướng nghiên cứu tiếp

1. Tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện tính toán một số đặc trưng thủy lực với phạm vi cột nước làm việc lớn hơn, các vấn đề về mạch động vận tốc, áp suất, phổ xoáy và xâm thực, các loại đường cong mặt tràn khác.

2. Nghiên cứu, xem xét điều kiện làm việc với bài toán không gian để xét đến các ảnh hưởng về hình dạng, kích thước.

3. Nghiên cứu mô hình toán để ứng dụng nhằm tối ưu hóa các phương án thiết kế; giảm khối lượng, chi phí cho công tác nghiên cứu mô hình thực nghiệm.