

HIỆN TƯỢNG TÁCH DÒNG TRONG NƯỚC NHẢY ĐÁY KHÔNG NGẬP

HOÀNG TƯ AN
LÊ THỊ THU HIỀN
Đại học Thủy lợi

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nước nhảy đáy là hiện tượng thường gặp trong thực tế của các công trình thủy lợi. Hiện tượng về nước nhảy là một trong những vấn đề cơ bản của thủy động lực học mà các nhà thủy lực vẫn còn tiếp tục nghiên cứu.

Trong nước nhảy xuất hiện nhiều hiện tượng thứ cấp khác làm cho hiện tượng đó càng phức tạp hơn khi nghiên cứu. Một trong những hiện tượng thứ cấp đáng quan tâm nhất là hiện tượng tách dòng khỏi biên ở đáy lòng dẫn khi có sự thay đổi yếu tố động học của dòng chảy. Hiện tượng tách dòng cũng liên quan đến những vấn đề phức tạp nhất của thủy động lực học. Theo các quan niệm kinh điển, hiện tượng này liên quan đến tính nhớt của chất lỏng nên thường gọi là hiện tượng tách dòng khỏi lớp biên. Đây là bài toán cơ bản của thủy động lực học. Trong bài báo này đã mô phỏng bằng lý thuyết các ý tưởng và các kết quả thí nghiệm về hiện tượng tách dòng đã được miêu tả trong [2]. Trong đó tác giả đưa ra những tính chất và những số liệu thí nghiệm của các hệ số trong tài liệu đó đối với nước nhảy cũng như các hiện tượng tách dòng khác. Từ những kết quả lý thuyết đã nghiên cứu được, bài báo đã đưa ra những giải thích về sự hình thành của nước nhảy theo những tài liệu trong [1] và cách phân loại bằng thí nghiệm của V.T.Chou.

Điều kiện cần thiết để xuất hiện tách dòng là gradien áp suất $\frac{dp}{dx}$ dọc theo dòng chảy phải có giá trị dương. Điều đó chỉ có thể xảy ra khi dòng chảy mở rộng dần (theo phương ngang hoặc theo phương đứng), trong đó chất lỏng chuyển động từ khu vực có áp suất thấp sang khu vực có áp suất cao và có một độ chênh áp

suất nhất định.

Trong lớp biên, lưu tốc điểm ở lớp sát thành rất nhỏ, động năng của nó có thể bỏ qua. Lúc đó, sức cản sẽ tạo ra những chỗ dừng và những bước nhảy cục bộ theo hướng ngược chiều của dòng chính. Đó là những chuyển động phụ của các khu xoáy nhỏ dưới tác động của áp suất. Sự gặp nhau giữa chuyển động chính của dòng chảy và chuyển động phụ ở lớp biên sát đáy sẽ làm tăng thêm độ dày ở đáy lòng dẫn [1, 2].

Khi có hiện tượng nối tiếp ở hạ lưu các công trình thủy lợi bằng nước nhảy đáy, trong khu vực đó sẽ có sự mở rộng dần của dòng chảy theo phương đứng và phương ngang, đồng thời với sự giảm dần lưu tốc dọc theo dòng chảy. Đặc điểm đó làm xuất hiện hiện tượng tách dòng và tạo ra các khu xoáy phụ ở đáy. Hiện tượng tách dòng là một trong những nguyên nhân làm tăng mức độ không ổn định của nước nhảy, làm gia tăng hiện tượng mạch động lưu tốc và áp suất, làm thay đổi phụ tải lên đáy lòng dẫn theo hướng bất lợi cho công trình.

Nếu tại một mặt cắt bất kỳ nào đó trong khu vực nước nhảy xuất hiện hiện tượng tách dòng thì tại đó tia dòng sẽ có xu thế cong lên về phía mặt thoáng, làm cho độ sâu dòng chảy ở đó tăng lên, đồng thời gradient áp suất từ mặt cắt đó trở về trước nước nhảy cũng tăng lên. Hiện tượng đó lại kéo theo sự dịch chuyển của điểm tách dòng ngược theo chiều dòng chảy chính. Như vậy, trên mặt thoáng của nước nhảy sẽ xuất hiện các sóng nhiễu động truyền ngược chiều dòng chảy chính. Khi nhiễu động truyền đến mặt cắt đầu của nước nhảy, do không thể truyền ngược lên trên mặt dòng chảy xiết nên bị vỡ ra. Hiện tượng đó cứ diễn ra liên tục, gây nên sự mất ổn định của nước nhảy.

II. NỘI DUNG

Để tìm vị trí điểm tách dòng người ta sử dụng nhiều phương pháp khác nhau, một trong những phương pháp đó là phương pháp A. Buri [2]. Tiêu chuẩn hình thành điểm tách dòng trong dòng chảy rối của A. Buri như sau:

$$\Gamma = \frac{1}{u_m} \cdot \frac{du_m}{dx} \cdot \left\{ \frac{1}{u_m^r} \left[s \int_{x_0}^x u_m^r dx + \frac{u_o}{du_o/dx} \cdot u_o^r \Gamma_o \right] \right\} \quad (1)$$

Trong đó,

u_m - lưu tốc lớn nhất ở gần đáy của nước nhảy,

u_o - lưu tốc dòng chảy ở mặt cắt đầu nước nhảy khi $x = x_0$,

Các số hạng Γ, Γ_o, r và s đối với nước nhảy sẽ là [2]: $\Gamma = -0,06, \Gamma_o = 0; s = 0,016, r = 4$.

Trên kênh đáy bằng ($i=0$), giá trị của đại lượng $\frac{du_m}{dx}$ tìm được khi cho rằng đường cong đi qua các điểm có $u = u_m$ là một đường dòng và được biểu diễn bằng phương trình (2-18) trong [4]:

$$\frac{\partial u_m}{\partial t} + u_m \cdot \frac{\partial u_m}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2)$$

Giả thiết gần đúng rằng, áp suất trong khu vực nước nhảy tuân theo qui luật thủy tĩnh:

Do đó

$$\frac{\partial u_m}{\partial x} = -g \cdot \frac{1}{u_m} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial u_m}{\partial t}$$

Nhờ các giả thiết trên, tiêu chuẩn A. Buri đối với nước nhảy trên kênh đáy bằng là:

$$g \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \cdot u_m^{-6} \cdot \int_0^x u_m^4 \cdot (1 + \bar{\alpha} \cdot Sh) \cdot dx = 3,75 \quad (3)$$

Với Sh là thông số không ổn định của nước nhảy. Bằng những phép biến đổi đơn giản [3], ta có:

$$Sh = \frac{Fr}{v^2} \cdot \frac{\partial q}{\partial t} \quad (4)$$

$\bar{\alpha}$ là hệ số tính đổi từ lưu tốc lớn nhất u_m sang lưu tốc trung bình mặt cắt v :

$$u_m = \bar{\alpha} \cdot v.$$

$$\text{Thông số động năng } Fr = \frac{v^2}{gh}$$

Viết lại biểu thức (3) dưới dạng không thứ

nguyên, ta có:

$$\frac{1}{Fr_1} \cdot \frac{\partial \eta_x}{\partial \xi} \cdot U_m^{-6} \cdot \int_0^\xi (1 + \bar{\alpha} Sh) \cdot U_m^4 \cdot d\xi = 3,75 \quad (5)$$

$$\text{Với } U_m = \frac{u_m}{u_1}, \eta_x = \frac{h}{h_1}, \xi = \frac{x}{h_1}$$

$$Fr_1 = \frac{v_1^2}{gh_1}, h_1, v_1 \text{ là độ sâu và lưu tốc ở mặt}$$

cắt trước nước nhảy.

Tại từng thời điểm nhất định số $Sh = \text{const}$, đại lượng U_m^2 tìm được nhờ biểu thức [4]:

$$U_m^2 = \frac{a_0^2 - \eta_x^2}{0,632 \cdot F_j \cdot \eta_x} \quad (6)$$

$$\text{Với } F_j = \frac{Fr_1}{1 + 2Sh}, a_0^2 = 2 \cdot F_j + 1$$

Đại lượng $\frac{\partial \eta}{\partial \xi}$ tại từng điểm cố định có biểu

thức tương tự như (3-13) trong [4]:

$$\frac{a_0^2 - \eta_x^2}{1,1a_0^2 + 0,9\eta_x^2} \quad (7)$$

Thay các biểu thức (6) và (7) vào (5) ta tìm được một phương trình đại số biểu diễn các giá trị tương đối η_s của độ sâu dòng chảy, tại đó xuất hiện tách dòng trong khu vực nước nhảy:

$$\eta_s^6 - A_1 \eta_s^4 - A_2 \eta_s^3 - A_3 \eta_s^2 + A_4 = 0 \quad (8)$$

Trong đó:

$$A_1 = \frac{4,16 \cdot \beta - 0,2}{5,346\beta + 0,3} \cdot a_0^2;$$

$$A_2 = \frac{0,55 \cdot a_0^4 - 0,22 \cdot a_0^2 + 0,3}{5,346\beta + 0,3}$$

$$A_3 = \frac{6,534 \cdot \beta + 0,55}{5,346\beta + 0,3} \cdot a_0^4;$$

$$A_4 = \frac{6,534 \cdot \beta a_0^6}{5,346\beta + 0,3};$$

$$\beta = \frac{1 + 2Sh}{1 + \bar{\alpha} \cdot Sh}.$$

Phương trình (8) được thiết lập trên cơ sở giả thiết các đại lượng $\bar{\alpha}$ và Sh là hằng số, bằng giá trị trung bình trên toàn khu vực nước nhảy để lấy tích phân (5). Thực tế, các đại lượng đó phụ thuộc vào độ sâu h .

Chiều dài của khu xoáy mặt trong nước nhảy ξ_j

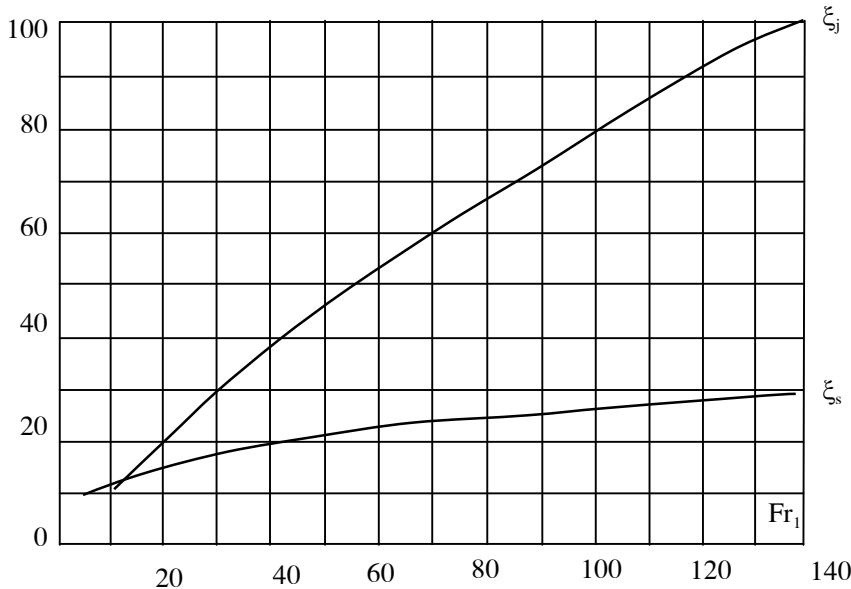
và vị trí của điểm tách dòng tại từng thời điểm cố định tính từ mặt cắt đầu nước nhảy ξ_s được xác định bằng phương trình (3-14) trong [4]:

Viết dưới dạng không thứ nguyên:

$$a_o \ln \frac{(a_o + \eta_x) \cdot (a_o - 1)}{(a_o - \eta_x) \cdot (a_o + 1)} - 0,9 \cdot (\eta_x - 1) = 0,45 \cdot \xi \quad (9)$$

Giải phương trình (8) sẽ tìm được độ sâu tương đối η_s tại đó xuất hiện hiện tượng tách dòng và thay vào phương trình (9) sẽ tìm được khoảng cách tương đối ξ_s của mặt cắt có điểm tách dòng đó tại từng thời điểm nhất định với $Sh = \text{const}$.

Khi nước nhảy ở trạng thái ổn định, $Sh = 0$, $\beta = 1$, vị trí điểm tách dòng ξ_s và chiều dài nước nhảy ξ_j phụ thuộc vào thông số Fr_1 như trên hình vẽ.



III. KẾT LUẬN.

Phân tích lời giải của hệ phương trình (8) và (9) có thể đi đến một vài kết luận sơ bộ như sau:

+ Đối với nước nhảy ổn định, $\beta = 1$, khi số $Fr_1 < 11$ thì $\xi_s > \xi_j$, có nghĩa là điểm tách dòng nằm ngoài khu vực xoáy mặt của nước nhảy. Khi $Fr_1 > 80$ vị trí điểm tách dòng hầu như ít thay đổi.

+ Vị trí của điểm tách dòng so với chiều dài của nước nhảy phụ thuộc vào số Fr_1 và Sh . Đối

với nước nhảy ổn định, khi $Fr_1 = 40$, $\xi_s \approx \frac{1}{2} \xi_j$, khi

$Fr_1 = 11 \div 40$ thì điểm tách dòng ở nửa sau của khu xoáy mặt, còn khi $Fr_1 > 80$ nằm trong khoảng 1/3 đầu tiên của khu xoáy mặt. Điều này cũng là lời giải thích cho câu hỏi vì sao lại cần thiết phải tạo ra các khu xoáy phụ ở đáy lòng dẫn để làm tăng khả năng tiêu hao bớt năng lượng thừa của nước nhảy ở hạ lưu công trình tháo nước, vị trí các khu xoáy phụ ở đáy có khả năng tăng thêm sự tiêu hao năng lượng cần được tạo ra trong khoảng một nửa trước của khu xoáy mặt.

+ Kết quả nghiên cứu ở đây cũng giải thích được cách phân loại nước nhảy của V.T Chou [1]. Nước nhảy xuất hiện khi $Fr_1 = 6 \div 20$ gọi là

nước nhảy dao động, chiều dài của nước nhảy có thể tính từ điểm tách dòng đến đầu nước nhảy. Điểm tách dòng gây ra nhiễu động có chu kỳ của nước nhảy.

$Fr_1 = 20 \div 80$ nước nhảy được gọi là ổn định, điểm tách dòng nằm trong phạm vi khu xoáy mặt và sự dịch chuyển của nó không làm thay đổi chiều dài nước nhảy.

Khi $Fr_1 > 80$ nước nhảy được gọi là nước nhảy mạnh, vị trí điểm tách dòng hầu như không đổi, năng lượng tiêu hao trong nước nhảy rất lớn.

+ Khi nước nhảy là không ổn định $\beta \neq 1$, gia tốc của dòng chảy ảnh hưởng nhiều đến vị trí điểm tách dòng. Khi chuyển động là nhanh dần, $Sh > 0$, khả năng xuất hiện nước nhảy dao động lớn hơn so với dòng chảy có chuyển động chậm dần, vì trong trường hợp có chuyển động nhanh dần thì điểm tách dòng thường vượt ra ngoài phạm vi khu xoáy mặt, còn trong chuyển động

chậm dần thì điểm tách dòng chủ yếu nằm trong phạm vi khu vực đó. Do đó, trong dòng chảy chuyển động nhanh dần, chiều dài nước nhảy tính theo các công thức thông thường tuy ngắn hơn chiều dài nước nhảy trong chuyển động chậm dần với cùng một thông số Sh , nhưng ảnh hưởng của mạch động lưu tốc và áp suất lại lớn hơn nhiều so với chuyển động chậm dần. Điều

này làm tăng thêm nguy cơ phá hoại lòng dẫn của dòng chảy sau công trình tháo nước.

+ Phương pháp nghiên cứu của tác giả là sự kế thừa và mở rộng phương pháp dòng tia rối. Có thể làm chính xác hơn kết quả nghiên cứu bằng cách giải bài toán nước nhảy trong kênh nhám (nhân tạo hoặc nhám đều) và không trung bình hóa các thông số $\bar{\alpha}$, Sh .

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1- Chou V.T Open channels hydraulics. L 1969
- 2- Chang P. Separation of flow L.1970
- 3- Hoàng Tur An và nnk – Mở rộng lý thuyết về nước nhảy không ổn định và bề tiêu năng. Tạp chí Thủy lợi và Môi trường N 7, 11-2005.
- 4- Hoàng Tur An - Thủy lực công trình, NXB Nông nghiệp, Hà Nội 2005.

Abstract

THE SEPARATION BOUNDARY PHENOMENA IN UNSUBMERGED BOTTOM JUMP.

The separation boundary in the jump is quite complicated and affected greatly on inner structure and also size of jump as well. Basing on A.Buri's criteria of total separation points and studying results obtained by theory of turbulent jet. The author has proposed an algebraical equation to determine coordinates of separation points in the jump, sequently given a rough explanation for experiment studies which have been done by previous ones.

Người phản biện: TS. Nguyễn Thu Hiền