

TÍNH TOÁN TIÊU NĂNG DÒNG MẶT SAU BẬC THỤT CÓ MŨI HÁT CONG VÀ GÓC HÁT LỚN

Nguyễn Quốc Huy

Trường Cao đẳng nghề Cơ điện và xây dựng Bắc Ninh

Lê Văn Nghị

Phòng Thí nghiệm Trọng điểm quốc gia về Động lực học sông biển

Tóm tắt: Tiêu năng dòng mặt gắn liền với bậc thụt, áp dụng phù hợp cho các công trình ngăn sông có điều kiện địa chất là đá phong hóa vừa đến phong hóa, là hình thức tiêu năng có nhiều ưu điểm: hiệu quả tiêu năng không kém nhiều so với tiêu năng dòng đáy, đạt tới 65% nhưng chiều dài sân sau ngắn hơn ($\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$) lần, đồng thời lưu tốc ở đáy nhỏ nên chiều dày sân sau nhỏ, thậm chí trên nền đá không cần làm sân sau [1,5]. Các hình thức nối tiếp mặt, mặt đáy hỗn hợp với bậc thụt phẳng góc hát nhỏ ($\alpha \rightarrow 10^\circ$) đã được nghiên cứu tương đối hoàn chỉnh [1,2,7], nhưng do nhược điểm không ổn định và có sóng lan truyền dài ở hạ lưu [2] mà ở Việt Nam nó hầu như rất ít được áp dụng. Trong bài báo này, trình bày phương pháp tính toán tiêu năng dòng phễu là trường hợp mở rộng của nước nhảy mặt đáy hỗn hợp, với các ưu điểm của tiêu năng mặt, nhưng ổn định trong khoảng thay đổi lớn của mực nước hạ lưu và “cắt được” sóng lan truyền ở hạ lưu bởi sự hình thành “3 cuộn, 1 sóng” ở sau bậc thụt có mũi cong góc hát lớn [2] mang lại hiệu quả kinh tế và kỹ thuật.

Từ khóa: Kết cấu bậc thụt lớn, nước nhảy mặt, nước nhảy mặt đáy hỗn hợp, nước nhảy, nối tiếp tiêu năng.

Summary: Surface flow energy dissipation with indented step structure have many advantages: efficiency of energy dissipation is comparable with the bottom flow case (reaches 65%), but the backyard length is shorter than ($\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$) times, and the bottom velocity is low so the backyard thickness is small, then it does not need the backyard if the structure lies on the rock background. [1.5]. The successive forms of surface, surface – bottom flow with small angle indented step ($\alpha \rightarrow 10^\circ$) has been comprehensively studied [1,2,9]. However, it is very rarely applied in Vietnam because of its status of unstable and long spread wave in the downstream [2]. This article is presented the energy dissipation calculation method of hopper flow, the expansion case of the mixed surface-bottom hydraulic jump with the advantages of surface energy dissipation: stability in the large changes of downstream water level and cutting down the wave in downstream by the formation of “3 reels, 1 wave” in high indented and curved step structures, which has large angle of diffusion, bringing effectiveness of economy and techniques.

Key words: high indented step structure, surface hydraulic jump, surface-bottom mixed hydraulic jump; hydraulic jump; successive energy dissipation;

1. MỞ ĐẦU

Công trình tháo có vai trò quan trọng trong việc đảm bảo an toàn cho hệ thống công trình đầu mối và lòng dẫn hạ lưu. Nó rất phong phú

về thể loại, đa dạng về hình thức kết cấu, được quan tâm đặc biệt của người quản lý, các nhà khoa học và người thiết kế. Trong công trình tháo, bộ phận quan trọng, tốn nhiều công sức nhất là hình thức, kết cấu tiêu năng và nối tiếp thượng hạ lưu.

Công trình tiêu năng là giải pháp công trình được thiết kế nhằm ổn định một hình thức nối tiếp bằng

Ngày nhận bài: 8/8/2016

Ngày thông qua phản biện: 25/8/2016

Ngày duyệt đăng: 29/8/2016

nước nhảy hoặc nối tiếp xiết êm với mong muốn tạo ra một cách ổn định và hiệu quả tiêu năng cao, nhằm đảm bảo an toàn, chống xói lở cục bộ sau công trình, chống phá hủy lòng dẫn.

Nguyên lý cơ bản của các hình thức tiêu năng là năng lượng thừa được tiêu tán bằng nội ma sát, bằng xáo trộn với không khí, khuếch tán theo phương đứng và phương ngang. Các hình thức tiêu năng có liên quan lẫn nhau, khi mực nước hạ lưu thay đổi các hình thức đó có thể chuyển hóa lẫn nhau

Các hình thức tiêu năng thường được áp dụng là: Tiêu năng phóng xa (gắn với mũi phun tự do); tiêu năng đáy (gắn với bề tiêu năng và nước nhảy đáy); tiêu năng mặt (gắn với bậc thụt và nước nhảy mặt, mặt đáy hỗn hợp); và các hình thức tiêu năng đặc biệt khác như tiêu năng Phễu, tiêu năng bồn.

Tiêu năng hay nối tiếp dòng phễu là trường hợp mở rộng của nước nhảy mặt đáy hỗn hợp, là loại nối tiếp đa xoáy, với khả năng tiêu hao năng lượng lớn, “cắt được” sóng lan truyền ở hạ lưu bởi sự hình thành “3 cuộn, 1 sóng” ở sau bậc thụt có mũi cong góc hất lớn, có vận tốc dòng đáy nhỏ [2]. Dòng chảy phễu được tạo ra ở hạ lưu bậc thụt với sự kết hợp của hiện tượng nước nhảy mặt và nối tiếp trong bồn tiêu năng, hay được tạo ra bởi một bậc thụt có chiều cao đủ lớn $a/P > 0,2$, và góc hất lớn hơn 25^0 .

Với những công trình ngăn sông có mực nước hạ lưu cao và thay đổi lớn, điều kiện địa chất

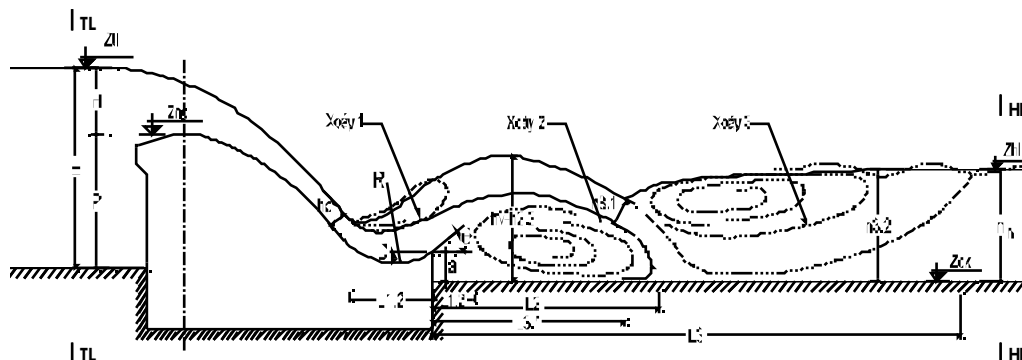
không tốt lắm (đá phong hóa vừa đến phong hóa) thì việc ứng dụng hình thức nối tiếp chảy mặt có hiệu quả, nhằm tận dụng chênh cao địa hình để tạo bậc thụt. Việc khai thác tối đa hiệu quả khả năng triệt tiêu năng lượng của dòng chảy bằng chính lớp nước đệm hạ lưu bằng cách tạo ra nhiều xoáy cuộn theo chiều đứng là một hướng đi triển vọng vừa đáp ứng mục đích tiêu hao năng lượng, an toàn công trình và hạ du vừa tiết kiệm kinh phí trong việc xây dựng các công trình tiêu năng kiên cố.

Bài báo trình bày phương pháp, quy trình tính toán tiêu năng dòng phễu sâu bậc thụt cong, có góc hất lớn ($25^0 \leq \theta < 55^0$) nhằm góp phần bổ sung vào lĩnh vực nhiệm vụ giải pháp tiêu năng dòng mặt truyền thống, đáp ứng vận dụng, khai thác tối đa điều kiện dòng chảy ở hệ thống sông suối trung du và miền núi, nhằm xây dựng các công trình an toàn, tiết kiệm.

2. QUY TRÌNH TÍNH TOÁN

A. Yêu cầu, mục đích và sơ đồ tính toán

Yêu cầu của tính toán tiêu năng dòng phễu là phải tìm được kích thước kết cấu bậc thụt đảm bảo tồn tại dòng chảy phễu ổn định 3 xoáy ở hạ lưu bậc thụt (0) thỏa mãn điều kiện $h_{min} < h_h < h_{max}$, cùng các thông số thủy lực tại hạ lưu bậc thụt bao gồm: chiều dài các khu xoáy, chiều cao nước vòng hay chiều dài và chiều cao bề tiêu năng (nếu địa chất nền yếu cần gia cố); vận tốc dòng chảy lớn nhất, mức độ tiêu hao năng lượng sau nước nhảy.



Hình 1. Sơ đồ hình dạng của phễu và cầu tạo mũi hất

Mục đích tính toán tiêu năng dòng chảy là xác định các thông số hình học của kết cấu mũi phun để đạt được yêu cầu tạo ra dòng chảy ổn định ở hạ lưu bậc thụt, hay tính toán xác định các thông số kích thước của bậc thụt gồm: chiều cao bậc (a), bán kính cong mũi hất (R) và góc phóng của mũi hất (θ) (Hình 1).

B. Các bước và công thức tính toán

Quy trình tính toán được thể hiện ở Hình 2

1. Xác định các thông số công trình

Chọn các thông số gây ra sự nối tiếp và phân bố dòng chảy bất lợi nhất làm thông số tính toán.

+ Lưu lượng đơn vị tính toán: Lưu lượng đơn vị tính toán (q_{tt}) được xác định là lưu lượng sinh ra hiện tượng bất lợi nhất về mặt thủy lực, $q_{tt}=Q_{tt}/B$, trong đó: Q_{tt} là lưu lượng xả bất lợi nhất, hoặc là một trong các giá trị Q_{kra} , Q_{TK} và $Q_{tiêu năng}$.

+ Cột nước trên tràn, $H = z_{tl} - z_{ng}$

+ Độ sâu mực nước hạ lưu ứng với trường hợp lưu lượng tính toán, $h_h = z_{hl} - z_{dk}$

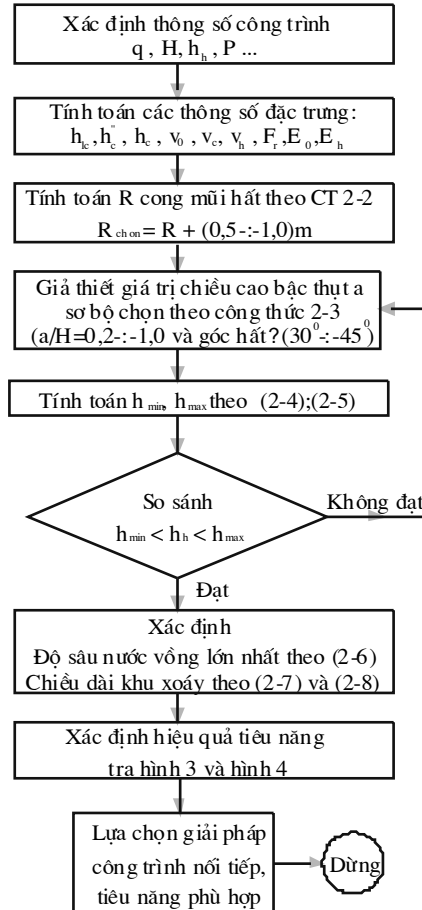
Đối với các công trình đặt trên nền địa chất phong hóa hoàn toàn, làm bề tiêu năng, độ sâu mực nước hạ lưu dùng để tính toán là độ sâu mực nước cuối bể, $h_h = \sigma \cdot h_c$.

2. Xác định bán kính mũi hất

+ Xác định các thông số dòng chảy tại mặt cắt co hẹp gồm: giá trị lưu tốc v_c (m/s), giá trị độ sâu dòng chảy h_c , (Hình 2).

+ Lưu tốc dòng chảy v_c tính theo công thức:

$$v_c = \sqrt{2g(H - h_c)} \quad (0-1)$$



Hình 2. Sơ đồ tính toán tiêu năng dòng chảy

Lấy $\Delta Z = z_{tl} - k \cdot z_{hl}$ [6, 10] (k là hệ số chênh lệch mực nước thượng và hạ lưu, thể hiện mực nước hạ lưu tại vị trí bắt đầu nước nhảy thường thấp hơn mực nước hạ lưu sau nước nhảy, lấy $k=0,95$).

+ Tính toán độ sâu dòng chảy: $h_c = \frac{q_{tt}^2}{g h_c^3}$

$$Fr = \frac{v_c}{\sqrt{g h_c}}$$

+ Tính toán số Froude:

+ Chọn giá trị bán kính mũi hất R là giá trị lớn nhất xác định được tương ứng với các cấp Q tính toán, để đảm bảo an toàn nên lấy: $R_{chon} = R + (0,5 \div 1,0)m$. Bán kính cong mũi hất được xác định bằng công thức:

$$R = 0,16(Fr - 1)h_c \quad (0-2)$$

3. Xác định chiều cao bậc thụt a và góc mũi hất θ

+ Tính chiều cao bậc thụt a_{min} để đảm bảo sinh ra dòng mặt theo công thức của A.A.Kaverin [8]:

$$a_{min} = \frac{(B_1 - \sqrt{B_1^2 - 4\Delta_1 C_1})}{2\Delta_1} \quad (0-3)$$

Trong đó: $\Delta_1 = 0,01087F$;

$$B_1 = 0,8706 + 0,02466F^2 = 0,90724\sqrt{87F^2 + 1}$$

;

$$C_1 = 1,182 + 0,26657F = 0,38686\sqrt{87F^2 + 1}$$

Lấy $a = a_{min} + (0,5 \div 1,0)m$ và để đảm bảo tồn tại dòng phễu chiều cao bậc thụt a , cần thảo mãn $a/P > 0,14$ và $a/h_k > 1/3$.

+ Giả thiết góc mũi hất sơ bộ $\theta = 30^\circ \div 51^\circ$.

+ Tính toán xác định các giá trị độ sâu mực nước hạ lưu giới hạn h_{min} và h_{max} theo công thức (0-4), (0-5) [5, 6].

Mực nước giới hạn dưới (h_{min}) và giới hạn trên (h_{max}) được tính theo công thức:

$$h_{min} = 1,02 \cdot P^{0,15} \cdot h_k^{0,75} \cdot D^{-0,15} \quad (0-4)$$

$$h_{max} = 1,02 \cdot P^{0,15} \cdot h_k^{0,75} \cdot D^{-0,15} \quad (0-5)$$

+ So sánh giá trị độ sâu mực nước hạ lưu h_h của công trình với cặp giá trị độ sâu mực nước hạ lưu giới hạn (h_{min}, h_{max}).

Nếu $h_{min} < h_h < h_{max}$, giá trị a và θ giả thiết là phù hợp.

Nếu giá trị h_h nằm ngoài phạm vi (h_{min}, h_{max}) cần giả thiết lại giá trị a và θ , tính toán lại theo các bước nêu trên.

Nên chọn giá trị a để giá trị độ sâu mực nước hạ lưu (h_h) của công trình ứng với các lưu lượng xả tính toán nằm khoảng giữa phạm vi giá trị (h_{min}, h_{max}) và thiên về gần mực nước giới hạn dưới (h_{min}) hơn.

4. Xác định chiều cao nước vòng và chiều dài khu xoáy dòng chảy phễu

+ Tính toán chiều cao nước vòng lớn nhất theo công thức (0-6).

+ Tính toán chiều dài khu xoáy dòng chảy

phễu theo công thức (0-7), (0-8).

$$h_v = 1,34 \cdot a^0,2 \cdot h_k^0,14 \cdot D^0,02 \cdot E^0,04 \quad (0-6)$$

Trong đó: $D = (1 - \cos\theta) \cdot R$; $E = H/P$

Chiều dài dòng các xoáy cuộn của dòng chảy phễu là cơ sở để xác định chiều dài gia cố, được tính bằng công thức:

$$L_x = (1,2 + 2,0)h_v \quad (0-7)$$

$$L_y = (2,4 + 1,4)h_v \quad (0-8)$$

Lấy trị số nhỏ khi tỷ lưu tính toán nhỏ hoặc góc mũi hất lớn và ngược lại.

5. Lưu tốc dòng quần sau bậc thụt

Kiểm tra lưu tốc đáy nhằm đảm bảo lựa chọn loại vật liệu và chiều dài gia cố (nếu có) sau công trình bậc thụt đảm bảo an toàn cho công trình khi đi vào vận hành. 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: $V_{đáyHLmax} \approx 2 \cdot V_h$ ($V_h = q/h_h$) [5]. Vị trí dòng quần lớn nhất cách công trình khoảng: $L = (2 \div 10)a$ tùy theo giá trị góc hất của mũi, lấy hệ số nhỏ khi mũi có góc hất lớn và ngược lại.

6. Xác định hiệu quả tiêu năng

Nghiên cứu tiêu năng nhằm xác định tác động năng lượng dư thừa của dòng chảy vào lòng dẫn, sự suy giảm tiêu hao năng lượng của dòng chảy phễu sau bậc thụt. Để xác định hiệu quả tiêu năng qua công trình: tính năng lượng tại hai mặt cắt thượng lưu và hạ lưu công trình, mặt chuẩn so sánh là đáy kênh hạ lưu... Năng lượng được tiêu hao ΔE qua toàn công trình là: $\Delta E = E_0 - E_h$ và hiệu quả tiêu năng $\Delta E\% = \Delta E/E_0$ với

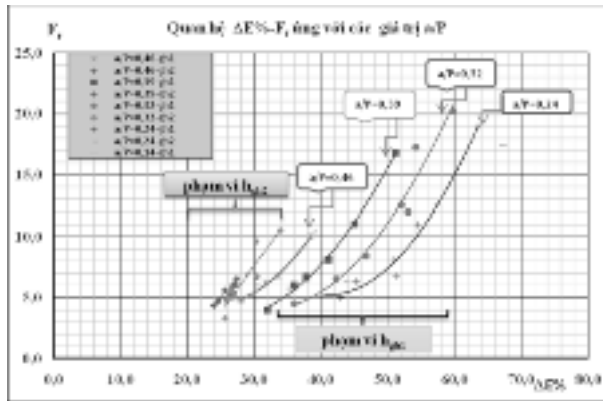
Năng lượng ở mặt cắt thượng và hạ lưu công trình lần lượt là;

$$E_0 = h_0 + \frac{q^2}{2g h_0^3} \quad (0-9)$$

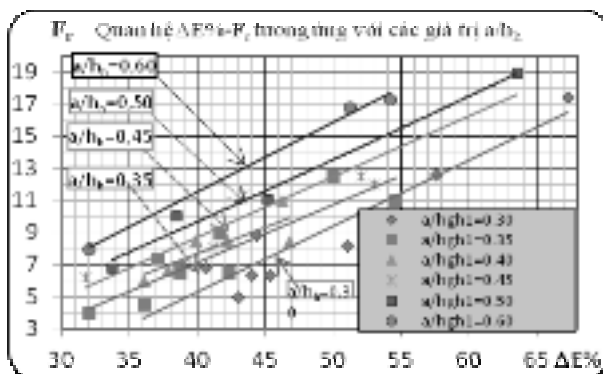
$$E_h = h_h + \frac{q^2}{2g h_h^3} \quad (0-10)$$

Hiệu quả tiêu năng công trình nối tiếp tiêu năng dòng chảy phễu ổn định được xác định theo tham số Froude và đại lượng không thứ nguyên a/P , a/h_h .

$\Delta E\% = f(F_r, a/P, a/h_h)$ tra theo đồ thị Hình 3 và Hình 4 [5].



Hình 3. Quan hệ xác định hiệu quả tiêu hao năng lượng $\Delta E\% \sim F_r$, theo a/P



Hình 4. Quan hệ hiệu quả tiêu hao năng lượng $\Delta E\% \sim F_r$, theo a/h_h

3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

C. Giới thiệu về công trình và các thông số tính toán

Tính toán nối tiếp tiêu năng dòng chảy phễu áp dụng tính toán cho công trình Tràn xả lũ Hồ chứa Bản Mòng- tỉnh Nghệ An.

Công trình đầu mối Hồ chứa nước Bản Mòng thuộc xã Yên Hợp, huyện Quỳnh Hợp, tỉnh Nghệ An gồm các hạng mục: Đập chính và đập phụ tạo hồ, tràn xả lũ, cống xả sâu, cống lấy nước tưới và cấp nước, cửa lấy nước tuyến

năng lượng và nhà máy thủy điện. Tràn xả lũ vận hành có các thông số kỹ thuật như sau: Lưu lượng xả lũ thiết kế ($P = 0.5\%$), $Q_{TK}=5000,0 \text{ m}^3/\text{s}$; Lưu lượng xả lũ kiểm tra ($P = 0.1\%$) $Q_{KT}=6215,0 \text{ m}^3/\text{s}$; Tràn gồm 05 khoang có tổng chiều rộng tràn nước: $B=5*15=75\text{m}$; Cao trình ngưỡng tràn: $Z_{ng}=64,9 \text{ m}$;

Lưu lượng tính toán tiêu năng được xác định là cấp lưu lượng $Q=5000\text{m}^3/\text{s}$, mực nước thượng lưu $z_{tt}=75,03\text{m}$, mực nước hạ lưu $z_{hl}=57,86\text{m}$.

Từ các thông số của công trình xác định được các thông số tính toán như sau: + Chiều cao ngưỡng tràn $P=24,5\text{m}$; + Tỷ lưu qua tràn: $q_{tt}=66,67\text{m}^3/\text{s.m}$; + Cột nước tràn: $H=10,13\text{m}$; + Độ sâu mực nước hạ lưu: $h_h=17,46\text{m}$; + Độ

sâu mực nước phân giới: $h_k = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 7,68 \text{ m}$; +

Giá trị lưu tốc dòng chảy tại vị trí co hẹp $v_c = \sqrt{2g* \Delta z} = 19,84\text{m/s}$; + Độ sâu dòng chảy tại vị trí co hẹp: $h_c = 3,36\text{m}$; + Hệ số Froude:

$$Fr = \frac{v_c^2}{gh_c} = 11,94$$

D. Xác định các thông số công trình nối tiếp tiêu năng dòng chảy phễu

Với các thông số tính toán áp dụng các công thức đã trình bày ở trên tính sơ bộ được các giá trị:

+ Tính được bán kính cong mũi hắt **$R = 12,81 \text{ m}$** , Chọn bán kính cong mũi hắt: $R_{chọn}=13,5\text{m}$

+ Lấy góc mũi hắt $\theta=45^\circ$;

+ Tính chiều cao bậc thụt nhỏ nhất $a_{min}=4,49\text{m}$, lấy $a/P=0,2$ ta chọn $a=5,0\text{m}$, phù hợp với $a/P=0,2 > 0,14$ và $a/h_k=0,75 > 0,33$

+ Tính mực nước giới hạn và kiểm tra điều kiện dòng phễu

Với góc 45° , $R=13,5\text{m}$, $a=5\text{m}$, ta tính được độ sâu giới hạn: $h_{min}=15,80\text{m}$, và $h_{max}=23,80\text{m}$. So sánh giá trị h_h với các giá trị độ sâu giới

hạn đã được xác định cho thấy $h_{\min}=15,80\text{m}$
 $<h_h=17,46\text{m}<h_{gh2}=23,80\text{m}$. Vậy các thông số
 về mũi hút được lựa chọn đạt yêu cầu.

E. Tính các thông số thủy lực của dòng chảy phễu

+ Chiều cao nước vòng:

Theo công thức (0-6) với $D = 3,98\text{m}$;

$$E = 31,98 \text{ m}$$

Thay số ta có chiều cao nước vòng lớn nhất
 của dòng chảy phễu: $h_v=24,44\text{m}$

+ Chiều dài khu xoáy:

Theo công thức (0-7), thay số ta có:

$$L_2 = 2,0 \cdot h_v = 2 \cdot 24,44 = 48,88\text{m}$$

Theo công thức (0-8): thay số ta có:

$$L_3 = 4,0 \cdot h_v = 97,76\text{m}$$

+ Giá trị lưu tốc dòng quần đáy lớn nhất đạt:
 $v_{\text{đáymax}}=2 \cdot v_h=8,0\text{m/s}$

+ Hiệu quả tiêu năng dòng chảy phễu

Tra đồ thị Hình 3, với $F_r=11,94$ và $a/P=0,2$,
 được $\Delta E = 55\%$.

Tra đồ thị Hình 4 với $F_r=11,94$ và $a/h_h=0,29$,
 được $\Delta E = 58\%$.

Vậy hiệu quả tiêu năng của hình thức nối tiếp
 tiêu năng dòng phễu áp dụng cho tràn xả lũ hồ
 chứa nước Bản Mòng đạt khoảng $(55\div 58)\%$.

Với cách tính toán tương tự như trên cho các
 trường hợp tần suất thiết kế và tần suất kiểm
 tra và trường hợp góc hút 40° , kết quả thể hiện
 trong (Bảng 1), Như vậy với các thông số đầu
 vào của đập tràn Bản Mòng, tỉnh Nghệ An
 chúng ta hoàn toàn có thể áp dụng tiêu năng
 dòng phễu cho trường hợp này.

Bảng 1. Kết quả tính toán, kiểm tra cho đập tràn Bản Mòng, tỉnh Nghệ An

Tham số	Đơn vị	Q_{KT}	Q_{TK}	Q_{TX1}	Q_{TX2}	Q_{TX2}
Q	m^3/s	6215	5000	4037	2581	1461
q	m^2/s	82,87	66,67	53,82	34,41	19,48
Z_{TL}	m	76,75	75,05	73,82	71,54	69,47
Z_{HL}	m	60,64	59,04	57,86	55,70	53,58
H	m	11,85	10,15	8,92	6,64	4,57
h_k	m	8,88	7,68	6,66	4,94	3,38
v_c	m/s	19,38	19,29	19,23	19,12	19,09
h_c	m	4,28	3,46	2,80	1,80	1,02
Fr		8,95	10,97	13,47	20,69	36,39
E_0	m	36,35	34,65	33,42	31,14	29,07
h_{\min}	m	17,45	15,88	14,47	11,92	9,32
h_h	m	20,24	18,64	17,46	15,30	13,18
h_{\max}	m	24,88	23,82	22,82	20,87	18,63
h_v	m	25,70	24,42	23,39	21,45	19,46
L_2	m	51,40	48,85	46,79	42,89	38,92
L_3	m	102,81	97,70	93,58	85,78	77,84
a/h_h		0,25	0,27	0,29	0,33	0,38
Δh_{gh}	m	7,44	7,95	8,35	8,95	9,31

4. KẾT LUẬN

Quy trình tính toán được đề xuất và xây dựng
 đã đạt được các yêu cầu:

1. Tính toán đạt độ chính xác với sai số thực tế
 chấp nhận được.

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 những tình huống giả định khi tính toán, góp

phần cho công tác thiết kế, quản lý, vận hành công trình đạt hiệu quả cao.

3. Sử dụng kết cấu tiêu năng dòng phễu sẽ giúp giảm khối lượng gia cố hạ lưu nhưng vẫn đảm bảo công trình làm việc ổn định.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Cảnh Cầm, Nguyễn Văn Cung, n.k.2006. Giáo trình thủy lực tập 1,2,3 Nhà xuất bản Nông nghiệp;
- [2]. Nguyễn Văn Cung, Nguyễn Xuân Đăng, Ngô Trí Viễn. 2005. Công trình tháo lũ trong đầu mối hệ thống thủy lợi. NXB KH & KT 1977;
- [3]. Nguyễn Quốc Huy, Lê Văn Nghi, Đặc trưng hình dạng của dòng chảy phễu sau bậc thụt có góc hắt lớn, Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi, tháng 8/2016 và Môi trường số tháng 8/2016.
- [4]. Lê Văn Nghi, Nguyễn Quốc Huy, Đoàn Thị Minh Yên, Điều kiện hình thành, chuyên 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, tháng 2/2015;
- [5]. Lê Văn Nghi, Nguyễn Quốc Huy, Đoàn Thị Minh Yên, và n.k. “Báo cáo “Kết quả thí nghiệm mô hình vật lý giải pháp công trình tiêu năng nhằm bảo vệ và chống sạt lở”, thuộc đề tài cấp bộ nghiên cứu chế độ thủy động lực và đề xuất giải pháp ổn định lòng dẫn khu vực quảng huế sông vu gia - thu bồn, Hà Nội, 20115;
- [6]. A.J.Peterka (1958), Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators. US Department Interior, Bureau of Reclamation, Engineering Monograph, 25: Denver, Col. (Appeared also as 7th Printing in 1983);
- [7]. P.G. Kixelep, A.D Altsul, n.k. 2008. Sổ tay tính toán thủy lực. NXB xây dựng
- [8]. A.A.Каверин (2013), Результаты экспериментальных исследований границ смены режимов течения за уступом, Инженерно-строительный журнал, № 2. С. 62-66.