

TÍNH TOÁN SỰ PHÂN BỐ CỦA HÀM LƯỢNG KHÔNG KHÍ TRONG DÒNG CHẢY HỒ TRÊN CÁC CÔNG TRÌNH THÁO NƯỚC

PGS.TS. Nguyễn Chiến
ThS. Phạm Nguyên Hùng

Tóm tắt: Tính toán phân bố hàm khí trong dòng chảy hồ là cơ sở để xác định hợp lý chiều cao thành lòng dẫn, kiểm tra khí thực ở đáy và thành bên lòng dẫn, tính toán độ phóng xa của tia dòng sau mũi phun.... Trong bài giới thiệu cơ sở thiết lập công thức phân bố độ hàm khí trong dòng chảy. Một chương trình tính toán tương ứng đã được lập và sử dụng trong ví dụ ở cuối bài. Phương pháp và chương trình đã nêu được đề nghị áp dụng tính toán cho các dòng chảy hồ có lưu tốc lớn.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ.

Hiện nay chúng ta đang xây dựng nhiều công trình thủy lợi, thủy điện với các công trình tháo nước có quy mô lớn, cột nước cao, lưu tốc trên mặt tràn dốc nước đạt tới trên 30 m/s. Với các dòng chảy hồ có lưu tốc lớn sẽ có hiện tượng tự hàm khí, tức là không khí tự động xâm nhập vào dòng chảy qua mặt thoáng. Dòng chảy với mức độ hàm khí cao có thể gây ra những ảnh hưởng khác nhau đối với công trình như làm mực nước dâng cao, tràn ra khỏi lòng dẫn; làm giảm tầm phóng của các tia phóng xa sau mũi phun, do đó kéo hồ xói lại gần chân công trình. Ngoài ra, sự duy trì một hàm lượng không khí nhất định ở lớp dòng chảy sát thành lại có tác dụng giảm khả năng phá hoại thành lòng dẫn do khí thực [1]. Vì vậy trong tính toán thiết kế các công trình tháo nước, việc xác định bức tranh phân bố hàm khí trong dòng chảy để đánh giá đúng đắn các ảnh hưởng của nó đến sự làm việc an toàn của công trình là rất cần thiết.

Trong bài báo này sẽ xem xét các vấn đề liên quan đến điều kiện hàm khí và phân bố hàm lượng không khí trong dòng chảy có lưu tốc cao.

2. GIỚI HẠN BẮT ĐẦU HÀM KHÍ.

Điều kiện bắt buộc để không khí xâm nhập vào dòng nước là khi giới hạn của lớp biên rời chạm đến mặt thoáng. Quá trình hàm khí cũng chịu ảnh hưởng của: mạch động lưu tốc dòng nước, lưu tốc có khả năng phá vỡ các sóng nhỏ

xuất hiện trên mặt thoáng, trọng lực tác dụng lên các bọt khí do dòng nước cuốn vào và lên giọt nước trong không khí, lực căng mặt ngoài ngăn cản sự phá vỡ mặt thoáng, độ thô thủy lực của bọt (tốc độ nổi lên của bọt trong nước tĩnh).

Số lượng lớn các yếu tố ảnh hưởng đến hiện tượng hàm khí nêu trên đã gây khó khăn cho việc đưa ra một tiêu chuẩn xác định sự bắt đầu hàm khí (tiêu chuẩn bắt đầu hàm khí) với yêu cầu phản ánh được ảnh hưởng của các yếu tố một cách đủ tin cậy. Việc tìm ra các quan hệ thực nghiệm đủ tin cậy cũng hết sức khó khăn do tính phức tạp của các nghiên cứu ngoài trời, còn trên mô hình thì không thể đồng thời tuân thủ các tương tự trọng lực, lực căng mặt ngoài và sức cản thủy lực. Do vị trí mà các nhiễu rối thoát ra trên mặt thoáng phụ thuộc vào chiều sâu dòng chảy, còn sự phá vỡ các sóng trên mặt thoáng lại diễn ra do lực tác dụng từ phía môi trường nước nên tiêu chuẩn bắt đầu hàm khí cần phải chứa đại lượng chiều sâu dòng chảy và bình phương lưu tốc của dòng chảy. Số Frút (Fr) là một đại lượng tổ hợp của hai đại lượng này.

Từ một số lớn các tiêu chuẩn thực nghiệm về bắt đầu hàm khí do N.B.Ixatrenco thực hiện khi độ nhám tương đối của lòng dẫn $\Delta_{td} = \Delta/R = 0 \div 0,1$ và độ hạ thấp mực nước bằng 3,5m, ông đã nhận được trị số Frút và lưu tốc phân giới tương ứng với lúc bắt đầu hàm khí như sau [3]:

$$Fr_k = 45 \left(1 - \frac{\Delta}{R}\right)^{14} \quad (1)$$

$$V_K = 6,7\sqrt{gR}\left(1 - \frac{\Delta}{R}\right)^7 \quad (2)$$

Trong đó: R: Bán kính thủy lực của dòng chảy không hàm khí; Δ : độ nhám tuyệt đối. Khi sử dụng công thức (1) và (2) có thể lấy $\Delta = \Delta_{tb}$.

Biểu thức thực nghiệm dựa trên số liệu thí nghiệm trong phòng và ngoài trời do V. C. Boropcop nhận được là [4]:

$$Fr_k / \cos\psi = 0,7 / \lambda \quad (3)$$

Trong đó: ψ là góc nghiêng của đáy lòng dẫn; λ hệ số sức cản dọc đường.

Tác giả Voinhit-Xianogenxki đã nhận được biểu thức tính toán qua con đường lí luận, có sử dụng tài liệu thí nghiệm để hiệu chỉnh. Giới hạn bắt đầu hàm khí thể hiện ở dạng lưu tốc phân giới (V_k).

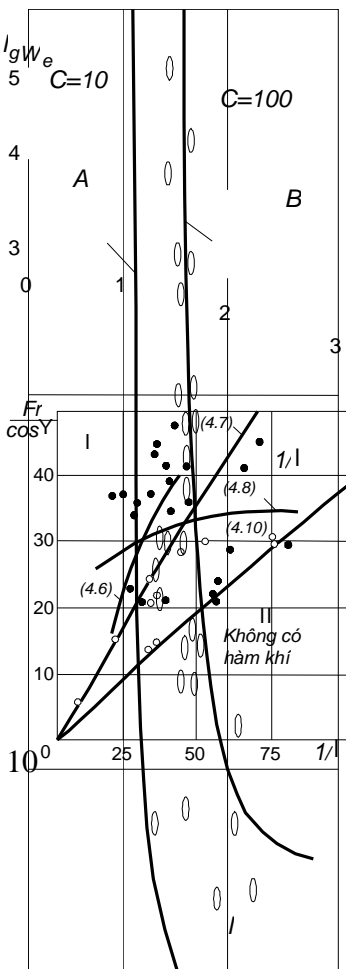
$$V_k = 6,63\left(1 + 8,7\frac{n}{R^{1/6}}\right)^{-1} \sqrt{gR \cos\psi \left(1 + \frac{0,0011}{R^2}\right)} \quad (4)$$

hoặc là số Frút phân giới (Fr_k):

$$\frac{Fr_k}{\cos\psi} = \frac{44}{\left(1 + \frac{8,7}{C}\right)^2 - \frac{1330}{We}} \quad (5)$$

trong đó C là hệ số Sêdi.

Biểu thức này cho phép chỉ ra ảnh hưởng của sức căng bề mặt đến sự phát sinh hàm khí thông qua số Vêbe: $We = \rho R V^2 / \sigma$, ở đây σ là hệ số sức căng mặt ngoài trên hình 1.



Hình 1: Ảnh hưởng của sức căng bề mặt (số We) đến trị số Fr tương ứng khi bắt đầu hàm khí.

Hình 2: Tổng hợp các tài liệu thí nghiệm về sự bắt đầu hàm khí. Số liệu của các tác giả khác nhau.

Biểu thức (5) được thể hiện ở dạng biểu đồ. Trên hình 1, ở vùng A, khi $C=10$ và $Fr/\cos\psi \leq 10$, với mọi trị số của $lgWe$ sẽ không phát sinh hàm khí. Ở vùng B hàm khí phát sinh khi $C \geq 100$. Miền tự động mô hình về ảnh hưởng của sức căng mặt ngoài đến quá trình hàm khí tương ứng với trị số $We \approx 10^4$. Trên hình 2 cho thấy so sánh các số liệu thí nghiệm và đo đạc hiện trường về sự bắt đầu hàm khí với các đường cong $Fr/\cos\psi = f(1/\lambda)$.

Sự phân tán của các điểm cho thấy việc đánh giá sự bắt đầu hàm khí bằng con đường thí nghiệm là chưa đủ hoàn thiện, và khó mà chọn được một biểu thức tính toán tin cậy nhất. Vì vậy đã đề nghị phương trình đường thẳng phân chia miền các điểm thí nghiệm thành vùng hàm khí (I) và vùng không hàm khí (II).

$$Fr_k = 0,38 \cos\psi / \lambda \quad (6)$$

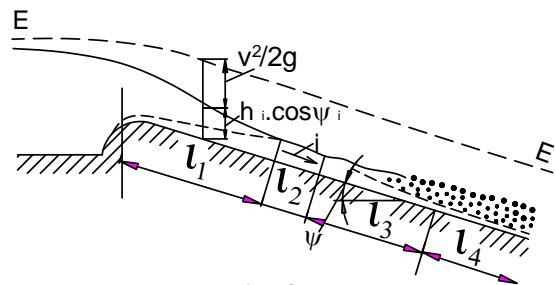
$$V_k = \sqrt{0,38 g R \cos\psi / \lambda} \quad (7)$$

Khi $Fr = V^2/gR \leq Fr_k$ và $V \leq V_k$ thì hàm khí sẽ không xảy ra. Vị trí bắt đầu hàm khí xác định bởi giao của đường cong biểu thị quan hệ lưu tốc và chiều sâu xây dựng theo (7) với đường cong lưu tốc tính toán $V \sim L$. Sau khi vẽ đường mặt nước trên mặt dốc nước hoặc tràn, với lưu tốc V đã xác định, sẽ tìm được vị trí bắt đầu hàm khí.

3. PHÂN BỐ ĐỘ TẬP TRUNG KHÍ THEO CHIỀU SÂU DÒNG CHẢY.

3.1. Kết cấu của dòng chảy có hàm khí.

Quan sát quá trình hàm khí trên mặt tràn hay dốc nước, có thể phân thành các đoạn như sau:



Hình 3: Sự thay đổi cấu trúc dòng chảy theo chiều dài dòng nước

- Đoạn đầu dài l_1 : lõi của dòng không nhiễu và mặt thoáng không nhiễu. Trên mặt phẳng

thẳng đứng, chiều rộng của lõi theo hướng chảy giảm dần do sự phát chuyển của lớp biên rối phát sinh ở đáy dốc nước hay mặt tràn. Chiều sâu dòng chảy càng lớn thì đoạn đầu càng dài.

- Đoạn đầu tạo sóng l_2 : mà trong giới hạn của nó, trên mặt thoáng phát sinh và mở rộng các sóng dạng vảy, tốc độ lan truyền các sóng này không phụ thuộc vào trọng lực.

- Đoạn chuyển động không đều của dòng hàm khí dài l_3 : mà ở đầu của nó bắt đầu có không khí xâm nhập vào dòng chảy. Sự trộn khí vào dòng chảy được gia tăng theo chiều dài của đoạn đến một giới hạn nhất định.

- Đoạn chuyển động đều của dòng hàm khí dài l_4 : trên đó mức độ hàm khí và cấu trúc nước-không khí được ổn định. Dòng chảy trong đoạn này là đều.

Hệ số chứa khí S (độ tập trung khí) là tỉ số giữa thể tích không khí d_w so với thể tích của hỗn hợp nước-khí d_{wCM} trong một thể tích phân tử. Hệ số chứa nước S_N (độ tập trung nước) là tỉ số giữa thể tích nước d_{wN} và thể tích hỗn hợp nước khí d_{wCM} trong thể tích phân tử đang xét. Khi $S=0$, $S_N=1$, trong thể tích phân tử chỉ có nước. Ngược lại, khi $S=1$, $S_N=0$ thì chỉ có không khí. Tỷ lệ hàm khí β là tỉ lệ thể tích không khí d_w đối với thể tích nước d_{wN} trong một thể tích phân tử. Các đại lượng S , S_N , β đặc trưng cho dòng chảy tại một thời điểm nào đó, chúng là những đặc trưng cục bộ.

Theo chiều sâu của dòng chảy hàm khí, người ta phân biệt các vùng như sau (hình 4a):

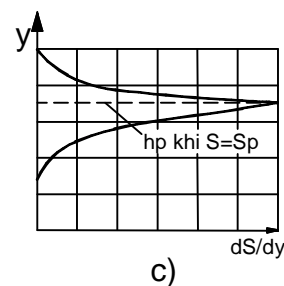
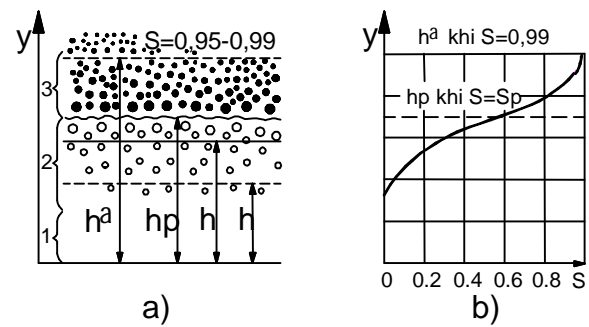
- Vùng nước (gần đáy)-vùng 1: tại đây không có không khí. Khi không khí xâm nhập đến tận đáy thì vùng này không còn.

- Vùng nước-khí-vùng 2: nước chứa các bọt khí.

- Vùng khí-nước-vùng 3: không khí có chứa các hạt nước.

Dòng chảy hàm khí được xét như là một môi trường 2 lớp. Vị trí của các mặt phân chia các miền nước-khí và khí-nước được xác định bởi khoảng cách tính từ đáy $y=h_p$. Trên mặt phân chia, hệ số chứa khí ở miền nước-khí

$S=0,5 \div 0,85$ và gradien của nó đạt chỉ số cực đại (hình 4b và 4c).



Hình 4: Sơ đồ dòng hàm khí không áp (a), và đặc trưng phân bố độ tập trung không khí (b, c).

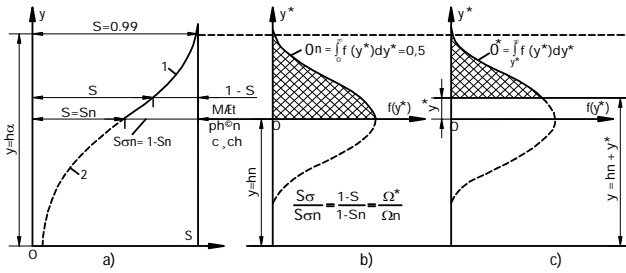
Sự phân bố liên tục của không khí trong nước cũng như của bụi nước trong không khí không cho phép xác định rõ ràng chiều sâu của dòng chảy hàm khí. Biên trên của nó giới hạn phân chia môi trường khí-nước và dòng không khí 1 pha là một mặt có vị trí tương đối, phụ thuộc vào quan niệm về giới hạn trên của miền này, ví dụ tương ứng với $S=0,9$; $0,95$; $0,99...$ (hình 4b).

3.2. Độ tập trung khí trong vùng khí-nước.

S phụ thuộc vào tần số và chiều cao bắn các hạt nước vào không khí từ một đơn vị diện tích mặt này lên cao độ đang xét. Chiều cao bắn các hạt nước được tính từ mặt phân cách và thay đổi từ $y^*=0$ đến $y^*=Y^*_{max}$. Bằng thí nghiệm xác định được rằng tần số mà các hạt nước xuyên qua các mặt đẳng cao y^* khác nhau tuân theo luật phân bố mật độ tần suất chuẩn và có thể biểu diễn bằng nửa đường cong phân bố mật độ tần suất.

$$f(y^*) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\Pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y^*}{\sigma}\right)^2} \quad (8)$$

Trong đó: $y^*=y-hp$; σ trị số quân phương của khoảng cách mà các hạt nước bắn ra tính từ mặt phân cách.



Hình 5: Để lập công thức phân bố tập trung khí trong dòng hàm khí.

1. $S = f(y)$ trong miền khí-nước
2. $S = f(y)$ trong miền nước-khí

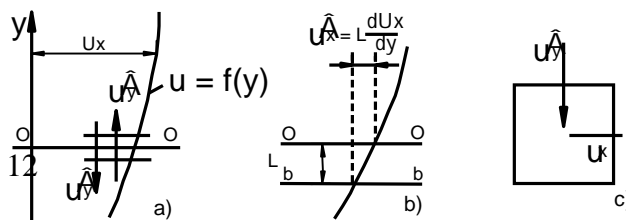
Trên hình 5a biểu thị đường cong tập trung khí theo chiều sâu dòng hàm khí phù hợp với độ tập trung khí trên bề mặt của nó $S=99\%$. Trên hình 5b đường cong phân bố nước trong giới hạn của miền khí- nước. Độ tập trung nước S_N ở độ cao y^* bất kì tỷ lệ với diện tích giới hạn bởi đường cong phân bố nằm phía trên cao độ đã cho: $\Omega^* = \int_{y^*}^{\infty} f(y^*) dy^*$ (hình 5b, c). Từ đó xác định được độ tập trung khí S trong vùng khí -nước như sau:

$$\frac{1-S}{2(1-S_p)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{y^*}^{\infty} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^*}{\sigma}\right)^2\right] dy^* \quad (9)$$

Phương trình nhận được cho phép xác định độ tập trung khí S ở miền khí-nước tại khoảng cách y^* bất kỳ tính từ mặt phân cách, khi đã biết độ tập trung khí S_p ở cao độ mặt phân cách và σ .

3.3. Độ tập trung khí trong vùng nước-khí.

Dựa vào lý thuyết khuếch tán của vật chất do dòng rối, nếu độ thô thủy lực của các bọt khí bằng không, còn mạch động lưu tốc theo chiều sâu dòng chảy như nhau thì độ tập trung khí sẽ phân bố đều theo chiều sâu, do chuyển dời của không khí hay một chất tan khác khi chuyển vị rối diễn ra từ miền có độ tập trung cao đến miền có độ tập trung thấp. Còn trong trường hợp chung thì do các bọt khí nổi lên và mạch động lưu tốc phân bố không đều theo chiều sâu nên độ tập trung khí cũng thay đổi theo chiều sâu.



Hình 6: Để rút ra phương trình trao đổi rối.

Phương trình phân bố độ tập trung khí S theo chiều sâu đối với miền nước-khí:

$$S = S_{hp/2} \left(\frac{y}{hp-y}\right)^K \quad (10)$$

Trong đó: $K = \omega/(\beta\chi U_*)$

Các công thức (9) và (10) khá phù hợp bức tranh phân bố độ tập trung khí theo chiều sâu dòng hàm khí đều, nhưng không thể sử dụng chúng để xác định giá trị của S vì chúng còn chứa các ẩn số- trị số của S ở cao độ mặt phân chia S_p và chuẩn phân tán các hạt nước trên mặt tự do.

4. TÍNH TOÁN ĐỘ TẬP TRUNG KHÍ TRONG DÒNG TỰ HÀM KHÍ.

V.P.Troixki đề nghị công thức kinh nghiệm để tính phân bố độ tập trung khí theo chiều sâu trong miền nước-khí như sau:

$$S = S_p \exp\left[-K\left(1-\frac{y}{hp}\right)\right] \quad (11)$$

Còn trong miền khí- nước thì phân bố độ tập trung khí tính theo (9) với việc xác định trước các tham số chưa biết S_p , hp , K và σ theo các công thức trong bảng 1 dựa vào một trong các tổ hợp sau:

$$P = \left(\frac{R}{h}\right)^{1,2} \left(\frac{\delta}{R}\right)^{0,25} Fr \quad (12)$$

$$\bar{P} = \left(\frac{R}{h}\right)^{1,2} \left(\frac{\delta}{R}\right)^{0,25} \bar{Fr} \quad (13)$$

Trong đó: $Fr = \frac{V^2}{gR \cos \psi}$ (ψ : góc nghiêng của đáy lòng dẫn); $\delta = \frac{3,3\nu}{U_*} + \Delta td$: Đặc trưng độ nhám của đáy và thành lòng dẫn; Δtd : Độ nhám tương đương; $U_* = \sqrt{gRi}$: Lưu tốc động lực; R : Bán kính thủy lực;

Các trị số $\bar{P}, \bar{R}, \bar{\delta}, \bar{Fr}$ là các đại lượng P, R, δ , Fr nói trên của dòng chảy có chiều sâu ảo nào đó (sau đây gọi là chiều sâu dẫn xuất) $\bar{h} = \xi h_k$ của miền nước-khí. Trị số h_k là chiều sâu phân giới của dòng không hàm khí. Hệ số ξ ban đầu xác định theo phương trình:

$$6,45 \left(1 + \frac{2h}{b}\right)^{-1} \frac{h^3}{\delta^{0,125} h_k^{2,875}} = \xi^{1,375} \left(1 + \frac{2h_k \xi}{b}\right)^{-0,975} \quad (14)$$

Trong đó: h- Chiều sâu dòng chảy không xét hàm khí; b: Chiều rộng lòng dẫn; δ : Tính theo R và U_* của dòng không hàm khí;

Sau khi xác định ξ và tính $\bar{h} = \xi h_k$, nếu $\bar{h} \geq h$ thì tính P theo (12) cho dòng không hàm khí. Nếu $\bar{h} < h$ thì tính \bar{P} theo (13). Nếu kết quả $\bar{P} \geq 280$ thì chiều sâu dẫn suất tính lại theo công thức:

$$4,03 \left(1 + \frac{2h}{b}\right)^{-1,5} \frac{h^{4,5}}{\delta^{0,125} h_k^{4,375}} = \xi^{2,875} \left(1 + \frac{2h_k \xi}{b}\right)^{-1,475} \quad (15)$$

Theo trị số P hay \bar{P} tìm được, xác định các đại lượng: $\bar{S}_p, \bar{S}, R/\bar{R}_p, Sp, K, \sigma/h$ theo các công thức bảng 1.

- Từ $R/\bar{R}_p, \sigma/h$ tính được ở trên xác định được các trị số \bar{R}_p, σ .

- Xác định \bar{h}_p theo công thức:

$$\bar{h}_p = \frac{b \bar{R}_p}{b - 2 \bar{R}_p} \quad (\text{mặt cắt chữ nhật}).$$

- Xác định chiều sâu phân cách:

$$h_p = \frac{\bar{h}_p}{1 - Sp}.$$

Bảng 1: Các công thức xác định tham số trong (9) và (11) để tính dòng chảy hàm khí.

Đại lượng	$\bar{P} = P \leq 40; \bar{h} = h$	$40 < \bar{P} < 71$	$71 \leq \bar{P} < 280$	$\bar{P} \geq 280$
\bar{S}_p	$0,00219P^{1,2}$	$0,00219\bar{P}^{1,2}$	$0,0922\bar{P}^{-0,333}$	$0,3470\bar{P}^{-0,1}$
\bar{S}	$S_p^{0,5}$	$\bar{S}_p^{0,5}$	$0,295\bar{P}^{-0,167}$	$0,562P^{0,05}$
R/\bar{R}_p	≈ 1	$0,507\bar{P}^{-0,2}$	$0,507\bar{P}^{-0,2}$	$0,891\bar{P}^{-0,1}$
Sp	0,5	$1 - 1,62\bar{P}^{-0,333}$	$1 - 1,62\bar{P}^{-0,333}$	$1 - 1,01\bar{P}^{-0,25}$
K	$390P^{-1,333}$	$390\bar{P}^{-1,333}$	$10,35\bar{P}^{-0,5}$	$4,03\bar{P}^{-0,333}$
σ/h	$0,00875P$	$0,0631\bar{P}^{-0,45}$	$0,0631\bar{P}^{-0,45}$	$0,147\bar{P}^{-0,30}$

5. THUẬT TOÁN VÀ CHƯƠNG TRÌNH TÍNH.

5.1. Sơ đồ thuật toán (hình 8)

5.2. Chương trình tính

Chương trình được viết bằng ngôn ngữ Pascal.

6. VÍ DỤ ÁP DỤNG CHO ĐỐC NƯỚC ĐƯỜNG TRẦN CỬA ĐẠT

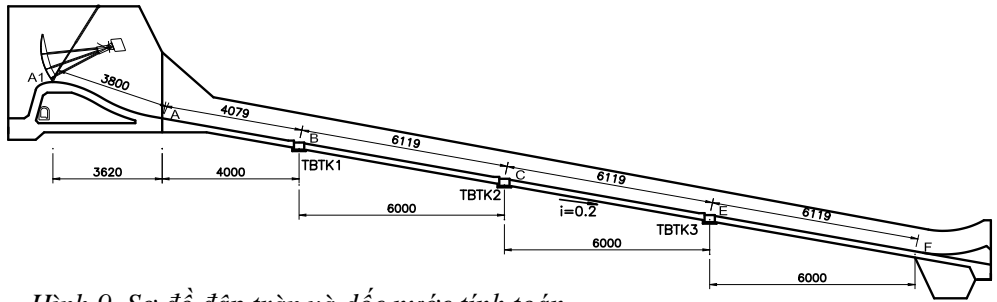
6.1. Số liệu tính toán

Sơ đồ đập tràn và đốc nước như trên hình 9.

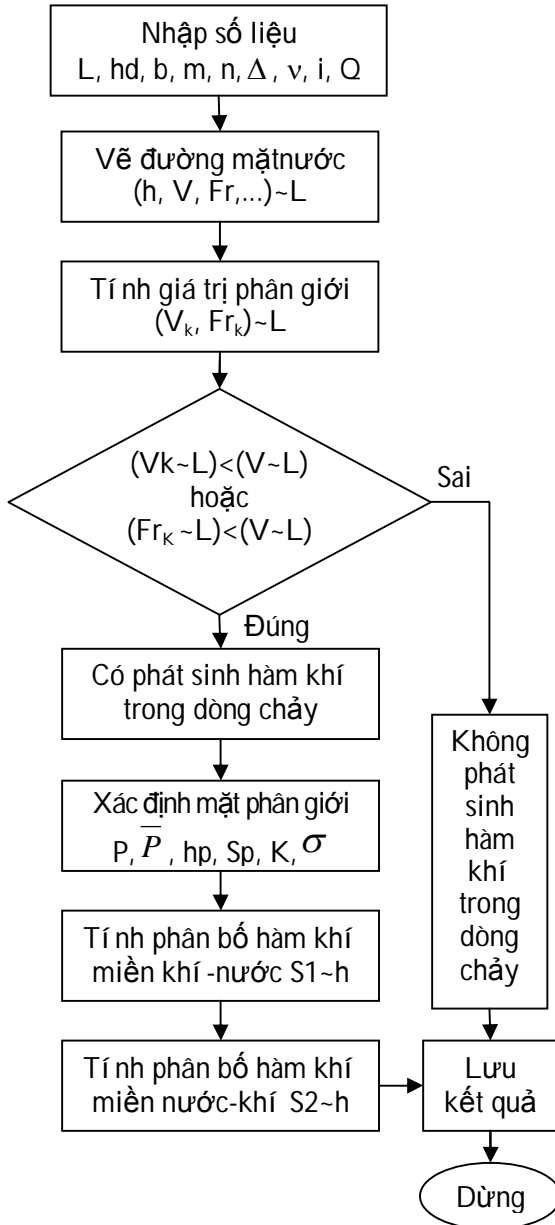
Chiều dài dốc nước $L_d = 220m$ (trên mặt bằng); độ dốc $i=0,2$; Độ nhám về mặt $n=0,017$ ($\Delta_{tb} = 0,5mm$). Mặt cắt ngang dốc hình chữ nhật $B = 67,0m$. Cao độ ngưỡng tràn: $97,0m$; cao độ đầu dốc: $85,0m$. Lưu lượng xả và các mực nước tương ứng như trên bảng 2. Yêu cầu tính toán xác định phân bố hàm khí theo chiều sâu dòng chảy ở các mặt cắt khác nhau.

Bảng 2. Mực nước và lưu lượng xả đặc trưng qua tràn

TT	Trường hợp	Tần suất (%)	MNTL (m)	MNHL (m)	Qxả max (m ³ /s)
1	Xả lũ thiết kế	0,1	119,05	40,49	8.200,0
2	Xả lũ kiểm tra	0,01	121,33	43,05	11.487,0



Hình 9. Sơ đồ đập tràn và dốc nước tính toán

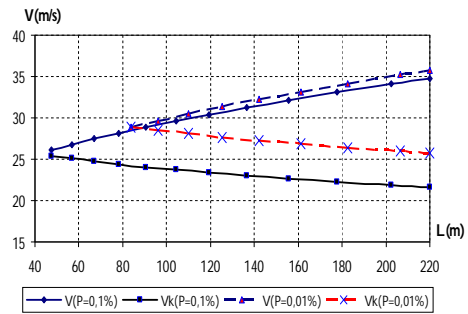


Hình 8. Sơ đồ thuật toán tính hàm khí trong lòng dẫn hở

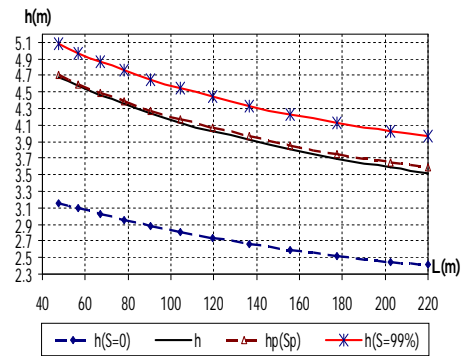
6.2. Kết quả tính toán

Bảng 3. So sánh độ sâu dòng chảy hàm khí theo các công thức tính toán

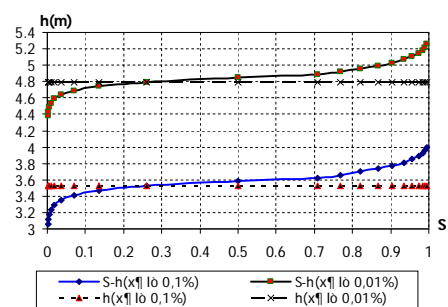
TT	$Q=1500 \text{ m}^3/\text{s}$ $h_0=0,74\text{m}$	$Q=5000 \text{ m}^3/\text{s}$ $h_0=1,55\text{m}$	$Q=10000 \text{ m}^3/\text{s}$ $h_0=2,37\text{m}$



Hình 10.a. Phân bố vận tốc dọc theo dốc nước



Hình 10.b. Quan hệ các chiều sâu đặc trưng với chiều dài dốc nước với $Q(P=0,1\%)$



Hình 10.c. Phân bố hàm khí theo chiều sâu dòng chảy tại mặt cắt cuối dốc nước

	V (m/s)	h (m)	h _s (m)	h _{hk} (m)	V (m/s)	h (m)	h _s (m)	h _{hk} (m)	V (m/s)	h (m)	h _s (m)	h _{hk} (m)
1	27.6	0.81	1.32	1.03	41.5	1.8	2.75	2.55	50.3	2.97	4.18	4.46
2	28.3	0.79	1.31	1.02	42.4	1.76	2.72	2.51	51.4	2.90	4.13	4.4
3	28.9	0.77	1.3	1.00	43.4	1.72	2.69	2.47	52.6	2.84	4.08	4.33
4	29.6	0.76	1.29	0.98	44.4	1.68	2.67	2.43	53.8	2.77	4.03	4.26
5	29.7	0.75	1.29	0.98	45	1.66	2.65	2.41	54.3	2.75	4.01	4.24

7. KẾT LUẬN.

1. Khi thiết kế các đường tràn, dốc nước với dòng chảy có lưu tốc lớn, cần phải tính toán khả năng tự hàm khí và ảnh hưởng của nó đến sự tăng độ sâu dòng chảy và giảm tầm phóng của các tia dòng sau mũi phun để có biện pháp xử lý thích hợp.

2. Phương pháp tính toán phân bố độ hàm khí nêu trong bài này là sự kết hợp giữa phân tích lý luận và quan trắc, đo đạc thực nghiệm đã được tiến hành ở các nước tiên tiến. Phần mềm tính toán được giới thiệu ở đây cho phép đạt được

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Chiến (2003). Tính toán khí thực các công trình thủy lợi. NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [2]. Tính toán thủy lực các công trình tháo nước (1988)- Sổ tay chuyên ngành (bản tiếng Nga). NXB Năng lượng nguyên tử, Matxcova.
- [3]. X.M.Xlixki (1986). Tính toán thủy lực các công trình xả cột nước cao (bản tiếng Nga). NXB Năng lượng nguyên tử, Matxcova.
- [4]. A.I. Bôgômôlôp, V.S.Bôrôcôp, F.G. Mairanôpxki (1979). Dòng chảy hở cao tốc (bản tiếng Nga). NXB Xây dựng, Matxcova.
- [5]. Bộ Nông nghiệp và PTNT (2006). Công trình thủy lợi-Các công trình tháo nước-Hướng dẫn tính khí thực-14TCN 198-2006.

kết quả nhanh với độ chính xác cần thiết của bài toán kỹ thuật.

3. Với các dòng chảy có độ xiết cao thì cần tính toán độ sâu dòng hàm khí theo phương pháp được nêu trong bài.

4. Với các lòng dẫn có $i < 40\%$ thì không khí xâm nhập từ mặt thoáng (tự hàm khí) rất khó khuếch tán đến đáy, do đó không có tác dụng tăng khả năng chống khí thực. Vì vậy cần phải xét đến các biện pháp công trình để dẫn không khí vào đáy lòng dẫn (xem [5]).

Abstract

THE CALCULATION OF AIR-ENTRAINMENT DISTRIBUTION IN OPEN-CHANNEL FLOW

The calculation of air entrainment distribution within an exposed flow will make it a background to determine properly height of channel wall, to check cavitation conditions in its bottom and lateral walls of the flowing channel, to calculate the length of the jet trajectory, etc ... In this article, background and basis on which the equation to calculate the air entrainment distribution within an exposed flow was established are described and explained. A corresponding programme has been also established and applied, see example shown at the end of this article. The said methodology and programme have been recommended for application in calculating exposed flow having high velocity.

Người phản biện: **GS. Phạm Ngọc Quý**