

XÂY DỰNG THUẬT TOÁN VÀ CHƯƠNG TRÌNH TÍNH SỐNG DƯƠNG TRONG KÊNH CỦA TRẠM THỦY ĐIỆN

ThS. Phạm Thành Nam ¹; KS. Nguyễn Đức Hạnh ²

Tóm tắt: Bài báo trình bày tóm tắt kết quả nghiên cứu xây dựng thuật toán và chương trình tính sóng dương (chế độ không ổn định thay đổi gấp) trong kênh của trạm thủy điện. Thuật toán và chương trình tính toán này là công cụ hữu ích trợ giúp các giảng viên, sinh viên và kỹ sư ngành Xây dựng công trình thủy trong đào tạo, nghiên cứu khoa học và thiết kế công trình.

Summary: This paper summarizes results on the algorithm and programme development for calculation of positive surge in channels of hydro power project (the rapidly change unsteady flow in open channel). The algorithm and programme will help engineers, lectures and students of the hydraulic structure department in training works, investigation and the design.

Nhận ngày 10/8/2011; chỉnh sửa ngày 08/9/2011; chấp nhận đăng 30/9/2011

1. Đặt vấn đề

Trong công tác tính toán và thiết kế các trạm thủy điện và nhiệt điện, ngoài tính toán chế độ thủy lực trong trạng thái ổn định, còn phải giải quyết bài toán dòng không ổn định ở các công trình dẫn nước như kênh hở, đường hầm, giếng điều áp, đường ống tước bin và kênh xả. Đây là bài toán phức tạp. Về mặt cơ sở lý luận, đó là hệ phương trình vi phân cơ bản của dòng chảy (phương trình động lượng và phương trình liên tục), nhưng việc giải hệ phương trình này để đạt mức độ chính xác yêu cầu thì còn phải tiếp tục nghiên cứu.

Đối với dòng không ổn định trên kênh hở của trạm thủy điện (đặc biệt là sóng dương), do mang bản chất của sóng gián đoạn (dòng không ổn định biến đổi gấp) nên các phương trình liên tục và phương trình động lượng, mô tả sự dịch chuyển của sóng gián đoạn, không phải là hệ phương trình Saint-Venant, mà được viết cho một đoạn dòng chảy có chứa sóng gián đoạn.

Một số cơ quan tư vấn trong nước đã thực hiện việc tính toán chế độ không ổn định dọc tuyến năng lượng của trạm thủy điện bằng Microsoft Excel hoặc viết chương trình tính toán đơn giản cho từng hạng mục công trình, mà chưa có chương trình phần mềm đồng bộ. Trong khi đó, nhu cầu tính toán, thiết kế, thẩm tra, kiểm định các công trình thủy điện, nhiệt điện trong nước, trong khu vực và trên quốc tế liên quan đến bài toán thủy lực dòng không ổn định thay đổi gấp dọc tuyến năng lượng không ngừng tăng cao.

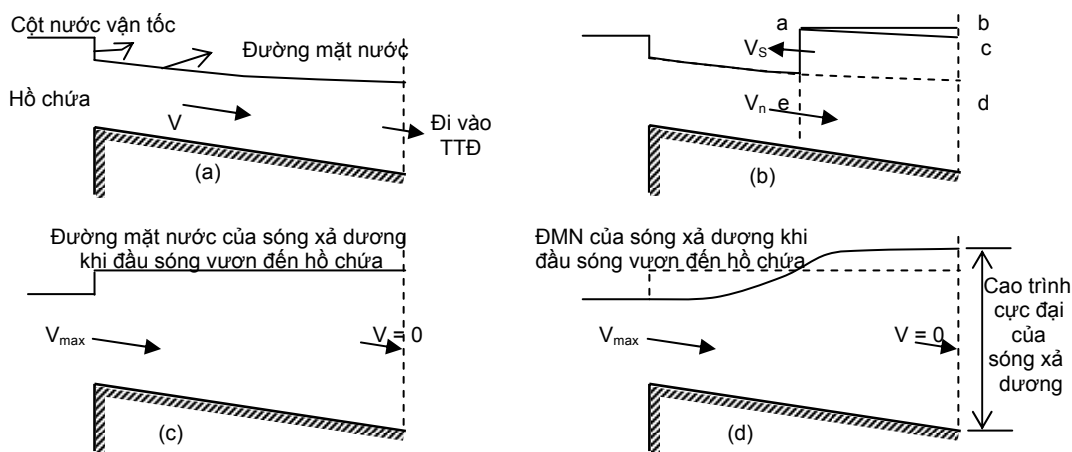
Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu xây dựng thuật toán để viết chương trình phần mềm tính toán sóng dương cao nhất trong kênh dẫn của trạm thủy điện. Thuật toán và chương trình tính toán này là công cụ hữu ích trợ giúp các giảng viên, sinh viên và kỹ sư ngành Xây dựng công trình thủy trong đào tạo, nghiên cứu khoa học và thiết kế công trình.

¹ Khoa Công trình thủy, Trường Đại học Xây dựng.
E-mail: giangnguyen9@yahoo.com

2. Sóng trong kênh dẫn của trạm thủy điện - Các phương trình cơ bản

Thực tế kỹ thuật quan tâm đến việc xác định cao trình lớn nhất có thể hình thành, do kết quả của việc cắt tải đột ngột trên kênh dẫn, từ đó xác định được chiều cao của tường bên của kênh dẫn, để tránh nước tràn khỏi bờ kênh.

Hình 1 dưới đây mô tả sự hình thành và phát triển sóng dương trong kênh có ma sát, do cắt phụ tải đột ngột và toàn bộ. Hình 1-a thể hiện trạng thái của dòng ổn định ban đầu trên kênh dẫn. Đường mặt nước và tổn thất do ma sát đã được tính toán. Khi cắt phụ tải đột ngột, sóng xả dương làm nâng cao mực nước về phía thượng lưu được hình thành, như Hình 1-b. Theo những quan sát thông thường, mặt nước ab ở phía hạ lưu của đầu sóng gần như nằm ngang. Như vậy, khi đầu sóng vượt đến hồ chứa, đường mặt nước trên toàn bộ chiều dài kênh sẽ nằm ngang (Hình 1-c). Tuy nhiên, thể tích nước bị tích lại trên kênh dẫn vẫn tăng lên dần dần sẽ phải đi qua đầu sóng để lấp đầy vào khoảng tương ứng với abc. Do tác động này và ảnh hưởng của ma sát, chiều cao sóng và vận tốc sóng sẽ giảm rất nhanh trên đường đi đến hồ chứa. Hơn thế nữa, khi sóng vượt đến hồ chứa, vận tốc của dòng chảy trong kênh phải thể hiện sự giảm dần từ giá trị cực đại tại hồ chứa đến giá trị không tại cuối kênh dẫn, ở đó không còn tháo lưu lượng ra nữa. Kết quả là, nước sẽ tích lại đến cao trình lớn nhất tại cuối kênh dẫn (Hình 1-d), đôi khi ngay sau lúc đầu sóng đến hồ chứa [13].



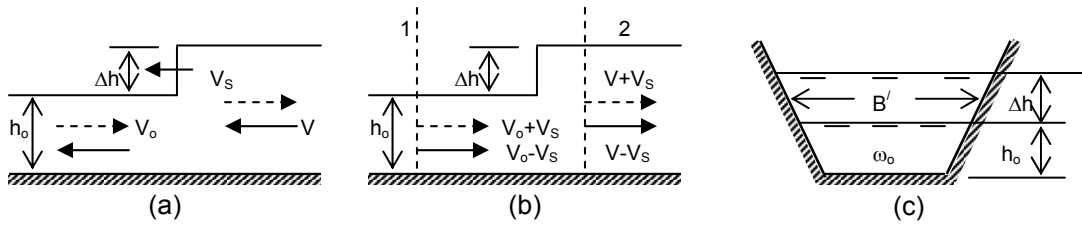
Hình 1. Sự hình thành và phát triển sóng xả dương trên kênh có ma sát

Trong thiết kế kênh dẫn của trạm thủy điện cần thiết phải xác định các trị số lớn nhất và nhỏ nhất của mực nước trong bể áp lực, cũng như tại các mặt cắt khác của đường dẫn, để trên cơ sở đó, xác định cao trình đỉnh các công trình dẫn nước không áp và bố trí cửa lấy nước của trạm thủy điện. Với một mức độ chính xác tương đối, có thể giải quyết theo phương pháp gần đúng của M.D Tre-tu-xốp [6, 7].

Xét trường hợp sóng dương trên hình 2-a, với chiều cao sóng Δh , di chuyển với vận tốc sóng V_s , theo chiều dòng chảy với vận tốc ban đầu V_0 và chiều sâu ban đầu là h_0 . Vận tốc sau khi sóng đi qua (trong phạm vi sóng) là V (Mũi tên liền nét tương ứng với sóng thuận khi chiều của vận tốc sóng trùng với chiều của vận tốc dòng chảy ban đầu; không liền nét ứng với trường hợp sóng nghịch khi vận tốc sóng và vận tốc dòng chảy ngược chiều nhau). Sử dụng phương pháp “sóng dừng” khi xét chuyển động của sóng thuận dương, mối liên hệ giữa vận tốc sóng V_s , vận tốc và diện tích mặt cắt ướt của dòng chảy trước khi sóng đi qua (V_1 và ω_1) và sau khi sóng đi qua (V_2 và ω_2) được thể hiện trong phương trình liên tục:

$$Q_t = (V_s - V_1) \cdot \omega_1 = (V_s - V_2) \cdot \omega_2 \quad (1)$$

Áp dụng phương trình này cho sơ đồ Hình 2-a, khi đó có thể coi như sóng đứng yên và vận tốc dòng chảy ban đầu sẽ là $(V_o \pm V_s)$, còn vận tốc trong vùng sóng là $(V \pm V_s)$, (Hình 2-b).



Hình 2. Sơ đồ chuyển động của mặt sóng

Viết phương trình liên tục cho hai mặt cắt 1 và 2, ta có:

$$(V_o \pm V_s) \cdot \omega_o = (V \pm V_s) \cdot (\omega_o + \Delta h \cdot B') \quad (2)$$

trong đó, B' là chiều rộng trung bình của lòng dẫn ở trong vùng sóng dâng Δh (Hình 2-c).

Thay vào phương trình (2) các giá trị lưu lượng của dòng chảy ban đầu $Q_o = V_o \cdot \omega_o$ và giá trị lưu lượng của dòng chảy sau khi sóng đi qua (trong vùng sóng) $Q = V \cdot (\omega_o + \Delta h \cdot B')$, ta có phương trình xác định lưu lượng sóng:

$$\Delta Q = Q_o - Q = \pm V_s \cdot \Delta h \cdot B' \quad (3)$$

Lưu ý rằng, trong phương pháp này, dấu (+) ứng với sóng nghịch, còn dấu (-) ứng với sóng thuận.

Viết phương trình biến đổi động lượng của dòng chảy trước sóng tại mặt cắt 1 và trong vùng sóng tại mặt cắt 2, ta có:

$$\rho \cdot \omega_o \cdot (V_o \pm V_s)^2 - \rho \cdot (\omega_o + \Delta h \cdot B') \cdot (V \pm V_s)^2 = \rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot \omega_o + \rho \cdot g \cdot \frac{\Delta h^2}{2} B' \quad (4)$$

Từ phương trình (2), rút ra:

$$(V \pm V_s) = \frac{(V_o \pm V_s) \cdot \omega_o}{(\omega_o + \Delta h \cdot B')}$$

Thay vào phương trình (4), suy ra:

$$V_s = \sqrt{g \cdot \frac{\omega_o}{B'} \cdot \left[1 + \frac{3}{2} \cdot \Delta h \cdot \frac{B'}{\omega_o} + \frac{1}{2} \cdot \Delta h^2 \cdot \left(\frac{B'}{\omega_o} \right)^2 \right]} \pm V_o \quad (5)$$

Nếu bỏ qua thành phần vô cùng bé bậc hai Δh^2 của biểu thức trong căn, ta có:

$$V_s = \sqrt{g \cdot \frac{\omega_o}{B'} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \Delta h \cdot \frac{B'}{\omega_o} \right)} \pm V_o \quad (6)$$

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

Bằng cách lập luận tương tự, ta có thể xây dựng các biểu thức tính cho sóng âm:

$$\Delta Q = Q - Q_0 = \pm V_s \cdot \Delta h \cdot B' \quad (7)$$

$$V_s = \sqrt{g \cdot \frac{\omega_o}{B'}} \cdot \left(1 - \frac{3}{2} \cdot \Delta h \cdot \frac{B'}{\omega_o} \right) \pm V_o \quad (8)$$

Dựa vào các phương trình (3), (6), (7), (8), ta có thể xác định chiều cao sóng tăng và giảm áp trong các đường dẫn hồ. Bài báo này sẽ dựa vào các phương trình đó để nghiên cứu xây dựng thuật toán giải bài toán xác định cao trình lớn nhất và nhỏ nhất tại bề áp lực khi thay đổi phụ tải đột ngột.

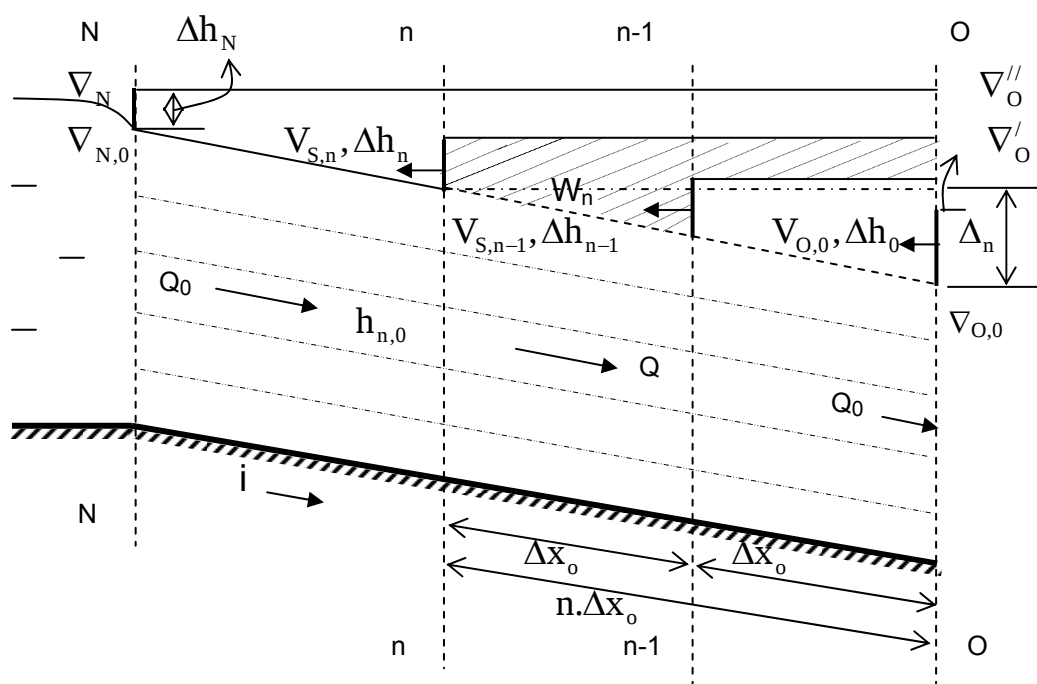
3. Xây dựng thuật toán tính sóng dương cao nhất (Hình 3)

Trình tự áp dụng thuật toán:

a. Chia toàn bộ chiều dài kênh dẫn thành N tùy ý đoạn có chiều dài Δx_0 bằng nhau:

$$\Delta x_o = \frac{L}{N} \quad (9)$$

b. Dựa vào các phương trình cơ bản trong mục 2, có thể giải bài toán theo các môđun như sau:



Hình 3. Mô phỏng tính toán sự dịch chuyển của sóng nghịch dương

- Môđun 1: Tính Δh_0 và $V_{S,0}$, tại tuyến 0 của bề áp lực.

+ Bước 1: bỏ qua ảnh hưởng của chiều cao sóng, với $V_{O,0} = 0$, tính $V_{S,O(l)}$ lần thứ nhất theo công thức:

$$V_{S,O(I)} = \sqrt{\frac{g_{\omega_{O,0}}}{B_{O,0}}} \quad (10)$$

trong đó: $\omega_{O,0}$ và $B_{O,0}$ được xác định theo công thức:

$$\omega_{O,0} = (b + m.h_{O,0}).h_{O,0} \quad (11)$$

$$B_{O,0} = (b + 2.m.h_{O,0}) \quad (12)$$

Thay giá trị $V_{S,O(I)}$ để tính $\Delta h_{O(I)}$ lần thứ nhất theo công thức:

$$\Delta h_{O(I)} = \frac{-V_{S,O(I)}.B_{O,0} + \sqrt{V_{S,O(I)}^2.B_{O,0}^2 + 4.m.\Delta Q_0}}{2m} \quad (13)$$

Tính giá trị $B'_{O(I)}$, từ các phương trình trên ta có:

$$B'_{O(I)} = b + m.(h_{O,0} + \Delta h_{O(I)}) \quad (14)$$

+ **Bước 2:** Tính $V_{S,O(II)}$ lần thứ hai theo công thức:

$$V_{S,O(II)} = \sqrt{\frac{g\omega_{O,0}}{B'_{O(I)}} \left(1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{B'_{O(I)}.\Delta h_{O(I)}}{\omega_{O,0}} \right)} \quad (15)$$

Thay giá trị $V_{S,O(II)}$ vào phương trình để tính $\Delta h_{O(II)}$ lần thứ hai theo công thức:

$$\Delta h_{O(II)} = \frac{-V_{S,O(II)}.B_{O,0} + \sqrt{V_{S,O(II)}^2.B_{O,0}^2 + 4.m.\Delta Q_0}}{2m} \quad (16)$$

Tính giá trị $B'_{O(II)}$ theo công thức:

$$B'_{O(II)} = B_{O,0} + m.\Delta h_{O(II)} \quad (17)$$

Tiếp tục lặp lại trình tự tính toán như trong bước 2 cho đến khi các giá trị đã tính được Δh_O và $V_{S,O}$ ở hai bước kế nhau xấp xỉ bằng nhau (với sai số cho phép) thì dừng quá trình lặp. Đó chính là hai giá trị chính xác cần tìm của chiều cao sóng Δh_O và vận tốc sóng $V_{S,O}$ ở thời điểm ban đầu, ngay sau khi cắt phụ tải đột ngột và hoàn toàn, tại tuyến O của bể áp lực.

Cao trình đỉnh sóng nghịch dương ngay sau khi cắt phụ tải đột ngột và hoàn toàn, tại tuyến O của bể áp lực:

$$\nabla'_O = \nabla_{O,0} + \Delta h_O \quad (18)$$

- **Môđun 2:** Xác định Δh_1 và $V_{S,1}$ ở tuyến 1 kế tiếp với tuyến O của bể áp lực.

Loại bỏ vận tốc sóng $V_{S,n}$ từ các phương trình trên, thay $\omega_{n,0} = (b + m.h_{n,0}).h_{n,0}$, với $n = 1$, ta có phương trình hệ quả sau:

$$\Delta h_1 = \frac{2}{3} \frac{\omega_{1,0}}{(B_{1,0} + m.\Delta h_1)} \left[\frac{(B_{1,0} + m.\Delta h_1) \left(\frac{2\Delta x_o.\Delta Q_o}{W_1} + V_{1,0} - V_{S,O} \right)^2}{g.\omega_{1,0}} - 1 \right] \quad (19)$$

+ **Bước 1:** Gán Δh_1 ở vế phải của phương trình (19), lần thứ nhất, bằng Δh_O đã tính được ở môđun 1, tức là: $\Delta h_{1\text{ VP (I)}} = \Delta h_O$, sẽ tính được $\Delta h_{1\text{ VT (I)}}$ ở vế trái của (19), lần thứ nhất; Giá trị W_1 đã được tính; $B_{1,0}$ được tính theo công thức $B_{1,0} = (b + 2.m.h_{1,0})$.

+ **Bước 2:** Tiếp tục gán lần thứ hai $\Delta h_{1\text{ VP (II)}} = \Delta h_{1\text{ VT (I)}}$, sẽ tính được $\Delta h_{1\text{ VT (II)}}$ ở vế trái của (19), lần thứ hai.

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

Tiếp tục lặp lại trình tự tính toán cho các bước tiếp theo, tương tự như trong bước 2, cho đến khi giá trị của Δh_1 ở hai vế của phương trình (19) xấp xỉ bằng nhau (với sai số cho phép) thì dừng quá trình lặp. Đó chính là giá trị chính xác cần tìm của chiều cao sóng Δh_1 . Thay giá trị Δh_1 vào các phương trình có dạng (14) và dạng (6), sẽ tính được $V_{s,1}$.

+ **Bước 3:** Tính thời gian truyền sóng nghịch dương từ tuyến O đến tuyến 1 (Δt_1) theo các phương trình đã nêu

Lặp lại cách tính ở môđun 2 để tính chiều cao sóng Δh_2 , vận tốc sóng $V_{s,2}$ tại tuyến 2 nằm kế tiếp với tuyến 1 và thời gian truyền sóng từ tuyến 1 đến tuyến 2 Δt_2 . Làm tiếp tục như vậy cho các tuyến sau đến tuyến N ở đầu kênh nối với hồ chứa. Tại tuyến N, tính được chiều cao sóng Δh_N . Chú ý rằng, mặc dù theo giả thiết 3 là sóng không có sức cản, các kết quả tính toán cần phải thoả mãn điều kiện sau:

$$\Delta h_n < \Delta h_{n-1}; \Delta Q_n > \Delta Q_{n-1}; V_{s,n} < V_{s,n-1}; \Delta t_n > \Delta t_{n-1} \quad (20)$$

Thời gian truyền sóng nghịch dương từ tuyến O tại bề áp lực đến tuyến N tại đầu kênh nối với hồ chứa:

$$T = \sum_{n=1}^N \Delta t_i; i = 1, \dots, N \quad (21)$$

Cao trình mực nước tại tuyến N:

$$\nabla_N = \nabla_{N,0} + \Delta h_N \quad (22)$$

trong đó: $\nabla_{N,0}$ là cao trình mực nước ban đầu của dòng ổn định tại tuyến N ở đầu kênh nối với hồ chứa.

Cao trình mực nước tại tuyến N (∇_N) cũng là cao trình mực nước tại tuyến O (∇''_O), ứng với lúc $t = T$, tức là $\nabla_N = \nabla''_O$.

Khi sóng nghịch dương truyền đến tuyến N ở đầu kênh nối với hồ chứa, nó sẽ bị phản xạ, tạo thành sóng thuận âm, truyền xuống phía dưới, về bề áp lực làm hạ thấp mực nước. Tuy nhiên trên thực tế, sóng thuận âm làm giảm mực nước chỉ tồn tại (xuất hiện) trên đoạn đầu kênh dẫn. Sau đó, sóng thuận âm suy thoái làm dâng mức nước lên cao hơn cả cao trình ∇''_O , trên đoạn cuối của kênh dẫn. Vì vậy, khi tính toán cao trình mực nước bị dâng lên, do ảnh hưởng (tác động) của sóng thuận âm bị suy thoái, sẽ gặp nhiều khó khăn.

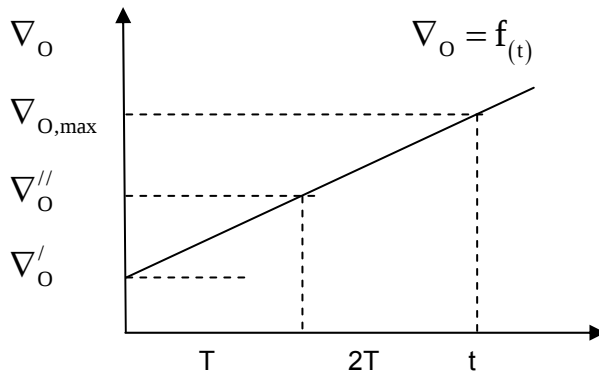
Để tính gần đúng, coi thời gian truyền sóng thuận âm T' bằng thời gian truyền sóng nghịch dương T , ($T' = T$) và cao trình mực nước tại bề áp lực có quan hệ tuyến tính với thời gian (Hình 4).

Từ đó, ta có:

$$\nabla_{O,max} = \nabla''_O + (\nabla''_O - \nabla'_O) \quad (23)$$

Theo (18): $\nabla'_O = \nabla_{O,0} + \Delta h_O$, nên phương trình (23) trở thành:

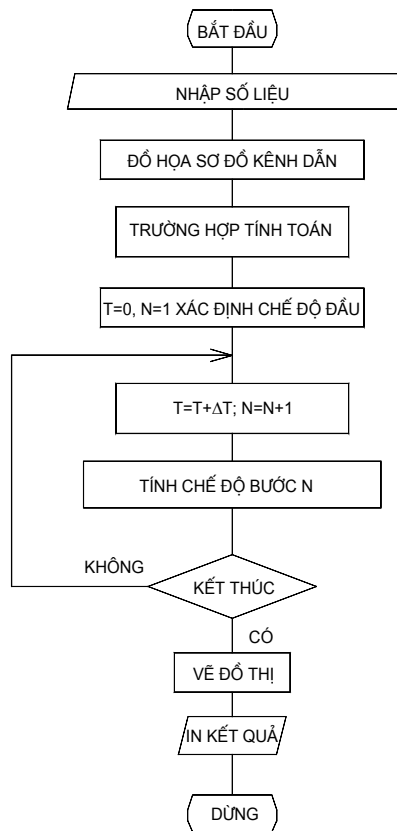
$$\nabla_{O,max} = 2\nabla''_O - \nabla_{O,0} - \Delta h_O \quad (24)$$



Hình 4. Quan hệ mực nước - thời gian sóng dương

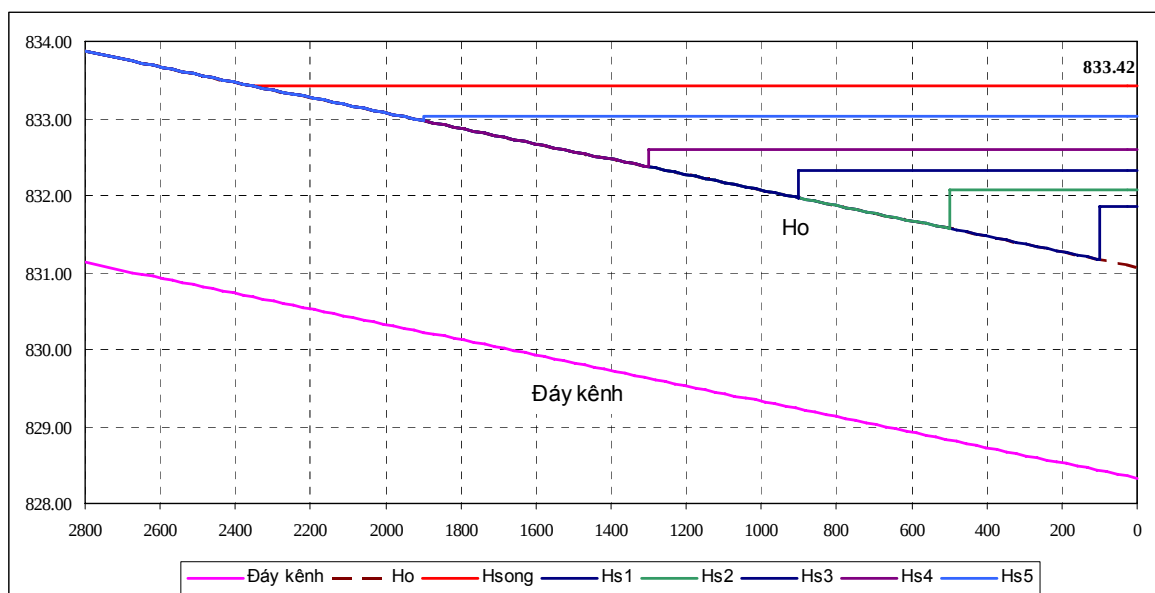
4. Sơ đồ khối chương trình và kiểm tra chương trình

4.1 Sơ đồ khối chương trình tính sóng



4.2 Kiểm tra chương trình

Để kiểm tra chương trình “*Unsteady Channel 2011*”, trong bài báo này chỉ trình bày một kết quả tính toán sóng nghịch dương trên kênh của TTĐ Tà Lơi 2 trong trường hợp cắt tải đột ngột 100% toàn trạm thủy điện do sét đánh hoặc sự cố, mực nước thượng lưu cao nhất (MNDBT), $Q_0 = Q^{TD} \max$ giảm xuống $Q_c = 0$, độ nhám trong kênh nhỏ nhất (Hình 5). Theo chúng tôi, các kết quả tính toán trên chấp nhận được trong tính toán thiết kế công trình.



Hình 5. Kết quả tính sóng dương ở TTĐ Tà Lôi 2

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày các kết quả nghiên cứu xây dựng thuật toán và đã viết chương trình phần mềm tính toán sóng dương cao nhất trong kênh dẫn của trạm thủy điện. Đây chỉ là một phần kết quả của đề tài cấp Bộ B2010-03-70 "Nghiên cứu xây dựng thuật toán và phần mềm tính toán thủy lực trạng thái không ổn định dọc tuyến năng lượng các công trình thủy điện ở Việt Nam". Thuật toán và chương trình tính toán này là công cụ hữu ích trợ giúp các giảng viên, sinh viên và kỹ sư ngành Xây dựng công trình thủy trong hoạt động giảng dạy, nghiên cứu và thiết kế.

Chương trình phần mềm tính sóng trong kênh khi kết nối với chương trình phần mềm tính toán của hạng mục công trình khác trên tuyến năng lượng, mà đề tài cấp Bộ B2010-03-70 đã thực hiện, sẽ góp phần nâng cao mức độ tự động hóa trong tính toán và thiết kế các công trình thủy điện ở nước ta.

Tuy nhiên, các tác giả cũng thấy rằng, các chương trình phần mềm tính toán này cần được tiếp tục nghiên cứu cải tiến về mặt thuật toán để nâng cao độ chính xác của kết quả và tính tiện ích của chương trình, nhằm đáp ứng tốt hơn nữa yêu cầu của thực tế. Để tăng độ tin cậy của phần mềm tính toán, các kết quả tính toán của chương trình cần phải được kiểm định bằng các công trình thực tế.

Tài liệu tham khảo

1. Hoàng Văn Quý, Vũ Văn Tảo (2006), *Thủy lực - Tập 1*, Nxb Nông nghiệp.
2. Nguyễn Cảnh Cầm, Nguyễn Văn Cung, Lưu Công Đào, Nguyễn Như Khuê, Võ Xuân Minh, Hoàng Văn Quý, Vũ Văn Tảo (2006), *Thủy lực - Tập 2*, Nxb Nông nghiệp.
3. Nguyễn Cảnh Cầm (2005), *Thủy lực cơ sở. Sổ tay kỹ thuật Thủy lợi - tập 1*, quyển IV, phần D, Nxb Nông Nghiệp.
4. Nguyễn Văn Cung, Nguyễn Như Khuê (1974), *Dòng không ổn định trong kênh hở*, Nxb Nông thôn.
5. Lê Phu (1971), *Tuốc bin nước*, Tủ sách Đại học Xây dựng Hà Nội.

6. Hoàng Đình Dũng, Phạm Hồng Nhật, Vũ Hữu Hải, Nguyễn Thượng Bằng (1991), *Trạm thủy điện - Các công trình trên tuyến năng lượng*, Nxb Giao thông vận tải Hà Nội.
7. Hồ Sỹ Dự, Nguyễn Duy Hạnh, Huỳnh Tấn Lượng, Phan Kỳ Nam (2003), *Công trình trạm thủy điện*, Nxb Xây dựng, Hà Nội.
8. P.G. Kixelep (1984), *Sổ tay tính toán thủy lực* (Lưu Công Đào, Nguyễn Tài dịch từ tiếng Nga), Nxb Nông nghiệp, Hà Nội.
9. Lưu Di Trự, Nhữ Hiệu Vũ (1978), *Những hư hỏng của công trình thủy công* - Phan Đình Hòa dịch, Nxb Nông nghiệp.
10. Viện Khoa học và Công nghệ Công trình thủy (2010), Hồ sơ Bản vẽ thi công công trình thủy điện Tà Lơi 2 tỉnh Lào Cai.
11. M. Hanif Chaudhry, *Open - Channel flow*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632
12. Ven Te Chow, Ph.D, *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Companies, USA
13. Philip M. Gerhart, Richard J. Gross, *Fundamentals of Fluid Mechanics*.
14. Emil Mosonyi (1987), *Low-Head power plants*, Akademiai Kiadó Budapest.