

TỐI ƯU PHÂN PHỐI DUNG TÍCH PHÒNG LŨ HẠ DU CHO HỆ THỐNG HỒ THỦY ĐIỆN

PGS.TS Nguyễn Thượng Bằng
ThS. Nguyễn Đình Nguyên
Khoa Xây dựng Công trình thủy
Trường Đại học Xây dựng

Tóm tắt: Bài báo tóm tắt kết quả nghiên cứu mô hình bài toán tối ưu phân phối dung tích phòng lũ hạ du cho các hồ chứa thủy lợi - thủy điện ở thượng lưu. Mô hình đã được áp dụng vào hệ thống hồ chứa Hòa Bình - Sơn La - Lai Châu trên dòng chính sông Đà và cho kết quả đáng tin cậy.

Summary: This paper summarizes the research results on the mathematical model for optimization allocation flood storage to the reservoirs in the up-stream. The model has been applied to Hoabinh - Sonla - Laichau on Da main river with the reliable result.

1. Đặt vấn đề

Đối với hồ chứa thủy lợi - thủy điện, khi đảm nhận nhiệm vụ phòng chống lũ hạ du và để trống dung tích phòng lũ trong các tháng mùa lũ nhằm giảm thiểu tác hại của lũ đối với hạ du thì hiệu ích từ các nhiệm vụ khác, đặc biệt là nhiệm vụ phát điện của các hồ này lại giảm. Do đó, bài toán xác định và phân bổ dung tích phòng lũ hạ du cho hệ thống hồ là một bài toán phức tạp, liên quan đến nhiều biến vật lý và biến kinh tế, cần được đặt ra nghiên cứu một cách tổng quan, khoa học và có tính tự động hóa cao.

Các giải pháp công trình và phi công trình nhằm giảm thiểu tác hại của lũ đối với hạ du bao gồm:

- a/ Xây dựng hệ thống đê điều và tường chắn lũ.
- b/ Xây dựng các hồ chứa điều tiết lũ.
- c/ Chỉnh trị lòng dẫn để tăng khả năng thoát lũ.
- d/ Xây dựng các công trình phân lũ và chuyển lũ.
- e/ Bảo vệ rừng đầu nguồn và rừng phòng hộ.
- g/ Tăng cường hệ thống đo mưa từ xa, đo đạc và cảnh báo lũ.
- h/ Tăng cường các biện pháp quản lý lưu vực.

Nội dung của bài báo này đề cập tới mô hình tối ưu phân phối dung tích phòng lũ hạ du cho các hồ chứa thủy lợi - thủy điện ở thượng lưu, tức là khai thác phương pháp b. Đây là mô hình toán tối ưu khá phức tạp, nhưng nếu giải quyết tốt sẽ góp phần giải quyết vấn đề phát triển bền vững hạ du một cách hiệu quả.

2. Mục tiêu kinh tế và mục tiêu kinh tế tương đương

Để xây dựng mô hình bài toán, vấn đề trước tiên cần lựa chọn được hàm mục tiêu hợp lý. Dưới đây là cách tiếp cận để lựa chọn hàm mục tiêu của mô hình bài toán.

Mục tiêu đối với nhiệm vụ phòng lũ hạ du dưới dạng tổng quát là

$$\text{MINIMUM (Tổng chi phí tính toán của hệ thống)} \quad (1)$$

Trong đó: tổng chi phí tính toán của hệ thống bao gồm tổng chi phí và tổng thu nhập nêu ở phần trên với lưu ý là phần thu nhập từ nhiệm vụ phòng lũ hạ du chính là (- **chi phí**).

Nếu lược bớt tính toán chi tiết về chi phí và lợi ích trên, chỉ giữ lại chi phí bù điện năng tổn thất thời kỳ phòng lũ của hồ chứa thì hàm mục tiêu tương đương là

$$\text{MINIMUM (Chi phí bù điện năng tổn thất)} \quad (2)$$

Mục tiêu tương đương với (2) là

$$\text{MAXIMUM (Thu nhập từ điện năng thời kỳ phòng lũ)} \quad (3)$$

Nếu coi rằng toàn bộ điện năng thời kỳ phòng lũ của các hồ thủy điện được tiêu thụ hết thì mục tiêu (3) trở thành

$$\text{MAXIMUM (Điện năng thời kỳ phòng lũ)} \quad (4)$$

Tùy thuộc mức độ chính xác, tùy thuộc quy mô nghiên cứu mà chọn mục tiêu tổng quát hay các mục tiêu tương đương trên để xây dựng mô hình toán.

3. Lập mô hình bài toán tối ưu phân phối dung tích phòng lũ hạ du cho hệ thống hồ

3.1. Lựa chọn mô hình bài toán

Hệ thống nghiên cứu thuộc phạm vi lưu vực một hệ thống sông, bao gồm sông chính và các sông nhánh có khả năng xây dựng các hồ chứa thủy lợi khai thác tổng hợp. Hệ thống được giả thiết là độc lập, tức là không bị ảnh hưởng và cũng không làm ảnh hưởng tới lưu vực hệ thống sông lân cận.

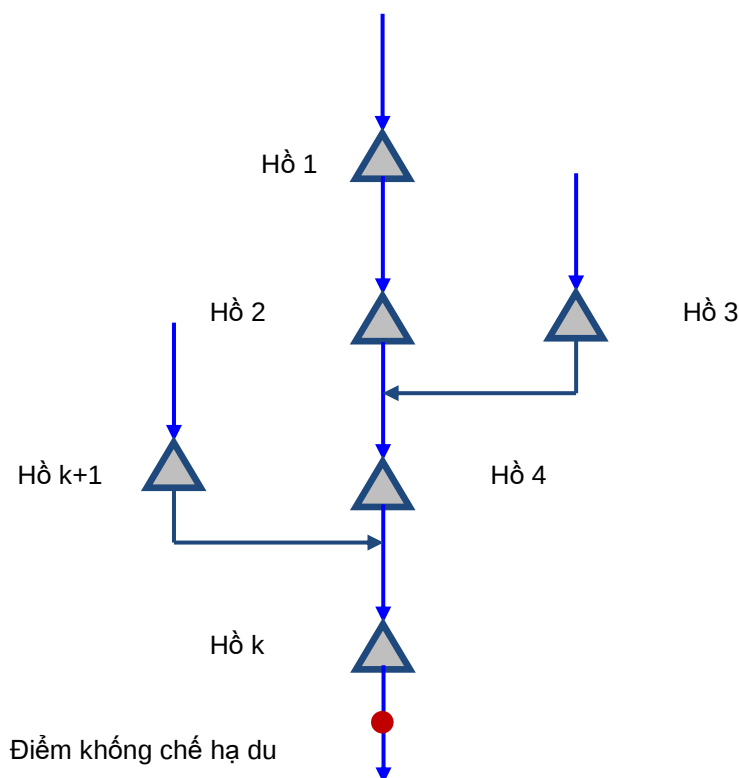
Mỗi phần tử trong hệ thống là một đầu mối thủy lợi-thủy điện mà đại diện là hồ chứa nước tại vị trí của phần tử đó. Số lượng phần tử trong hệ thống là P , được đánh số từ 1 đến P . Trong P phần tử, có thể có một số phần tử đã xác định (là công trình đầu mối đang xây dựng, đã có quyết định xây dựng hoặc đang được khai thác). Việc giả thiết phần tử nào là đã xác định không làm ảnh hưởng đến việc nghiên cứu bài toán đặt ra. Trong hình 1, hồ chứa 1, hồ chứa 2 và hồ chứa 4 (ba hồ bậc thang) là đối tượng nghiên cứu chính, hồ chứa 4 và hồ chứa 3 (hai hồ song song) là đối tượng nghiên cứu thứ 2. Với những quy định trên về hệ thống và phần tử, sơ đồ nghiên cứu đáp ứng được phần lớn các trường hợp xảy ra trong thực tế.

Mỗi phần tử trong hệ thống cũng như toàn bộ hệ thống phải đảm nhận nhiều nhiệm vụ một lúc (hệ thống thủy lợi khai thác tổng hợp), trong đó đặc biệt lưu ý đến các nhiệm vụ sau:

Nhiệm vụ 1: *Phòng lũ cho hạ du*. Bố trí đủ tổng dung tích phòng lũ cho hạ du của toàn hệ thống.

Nhiệm vụ 2: *Phát điện*. Khai thác tối đa năng lượng của dòng chảy, đồng thời thỏa mãn yêu cầu điện năng đối với toàn HTTL nghiên cứu.

Nhiệm vụ 3: *Cấp nước hạ du*. Đảm bảo được yêu cầu về lưu lượng nước cấp ở hạ lưu mỗi phần tử.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống thủy lợi nghiên cứu

Các nhiệm vụ trên đây được giao cho toàn bộ hệ thống. Việc phân bổ các nhiệm vụ trên cho mỗi phần tử như thế nào để đạt được những mục tiêu tối ưu đặt ra, là nhiệm vụ cần tìm của bài toán.

3.2. Lựa chọn hàm mục tiêu

Như trên đã phân tích, có thể rút ra hệ quả là mục tiêu sẽ đạt được khi tổng điện năng thời kỳ phòng lũ của các hồ chứa trong HTTL là lớn nhất và chúng ta có được mục tiêu tương đương là (4)

MAXIMUM (Điện năng thời kỳ phòng lũ)

Trong đó "Điện năng thời kỳ phòng lũ" của các hồ thủy điện trong hệ thống được tính theo công thức sau

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^k A_i * \min(Q_{ij}, Q_{i\max}) * H_{ij} * \Delta t_j = \\
 \text{Max} & \left\{ \begin{aligned} & \left(A_1 \sum_{i=t}^T [\min(Q_1 \text{ and } Q_{1\max}) * ((A_{11} + B_{11}(V_1 - X_1) + C_{11}(V_1 - X_1^2) + D_{11}(V_1 - X_1^3))) \right. \\ & \left. - (A_{21} + B_{21}Q_1 + C_{21}Q_1^2 + D_{21}Q_1^3)) * \Delta t_i \right] \end{aligned} \right\} \\
 & + \left(A_2 \sum_{i=t}^T [\min(Q_2 \text{ and } Q_{2\max}) * ((A_{12} + B_{12}(V_2 - X_2) + C_{12}(V_2 - X_2^2) + D_{12}(V_2 - X_2^3))) \right. \\
 & \left. - (A_{22} + B_{22}Q_2 + C_{22}Q_2^2 + D_{22}Q_2^3)) * \Delta t_i \right] \\
 & + \left(A_n \sum_{i=t}^T [\min(Q_n \text{ and } Q_{n\max}) * ((A_{1n} + B_{1n}(V_n - X_n) + C_{1n}(V_n - X_n^2) + D_{1n}(V_n - X_n^3))) \right. \\
 & \left. - (A_{2n} + B_{2n}Q_n + C_{2n}Q_n^2 + D_{2n}Q_n^3)) * \Delta t_i \right] \end{aligned} \right\} \quad (5)
 \end{aligned}$$

3.3. Các ràng buộc của bài toán

Hàm mục tiêu (5) cần thỏa mãn các điều kiện ràng buộc dưới đây:

Ràng buộc 1:

Ràng buộc về nhiệm vụ phòng lũ:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= \text{VPL1}; (\text{VPL1} = \text{VPL1min} \div \text{VPL1max}) \\ X_2 &= \text{VPL2min} \div \text{VPL2max} \\ X_n &= \text{VPLnmin} \div \text{VPLnmax} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Ràng buộc 2:

Ràng buộc về cấp nước hạ du mỗi hồ chứa. Lưu lượng nước cấp xuống hạ du trong mùa cấp phải không nhỏ hơn lưu lượng yêu cầu cho trước tại hạ lưu mỗi hồ chứa.

$$\left. \begin{aligned} Q_{hl\min 1} &\leq Q_1 \leq \text{Min}(Q_{\max TD1}, Q_{hl\max 1}) \\ Q_{hl\min 2} &\leq Q_2 \leq \text{Min}(Q_{\max TD2}, Q_{hl\max 2}) \\ Q_{hl\min n} &\leq Q_n \leq \text{Min}(Q_{\max TDn}, Q_{hl\max n}) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Ràng buộc 3:

Ràng buộc về công suất lắp máy thủy điện, ràng buộc này được tính toán thông qua điện năng lớn nhất ứng với công suất lắp máy (E_{lm}).

$$E_{\text{tính}} \leq E_{lm} \quad (8)$$

Trong đó $E_{\text{tính}}$ là điện năng tính toán cho các hồ trong thời đoạn tính toán Δt .

$$E_{lm} = \Delta t \sum N_{lmi}$$

Ràng buộc 4: Ràng buộc về dấu của biến chính.

$$X_1, X_2, X_n \geq 0 \quad (9)$$

4. Xây dựng thuật toán và viết chương trình

4.1. Xây dựng thuật toán

Từ mô hình toán, hàm mục tiêu, các điều kiện ràng buộc và từ thuật toán đã xử lý ở trên, sơ đồ khối phân phối tối ưu dung tích phòng lũ hạ du cho các hồ thủy điện được lập và triển khai.

Xử lý về thuật toán theo những vấn đề cơ bản sau:

Loại mô hình toán

Mô hình bài toán thuộc loại tối ưu phi tuyến có ràng buộc bị chặn cả hai phía.

Kỹ thuật giải mô hình

Sử dụng phương pháp Gradient tổng quát giảm dần.

Điều kiện dừng của thuật toán tìm nghiệm là một trong 4 điều kiện sau:

$$\|x^k - x^{k+1}\| < \varepsilon_1 \quad (10)$$

$$\frac{\|x^k - x^{k+1}\|}{\|x^k\|} < \varepsilon_2 \quad (11)$$

$$|f(x^k) - f(x^{k+1})| < \varepsilon_3 \quad (12)$$

$$\left| \frac{f(x^k) - f(x^{k+1})}{f(x^k)} \right| < \varepsilon_4 \quad (13)$$

trong đó k là chỉ số lặp; ε là độ chính xác cần đạt được; $\|x\|$ là độ dài của véc tơ x và $|\dots|$ là giá trị tuyệt đối.

Biến chính

X_1 , X_2 đến X_n tương ứng là dung tích phòng lũ của các hồ trên hệ thống bậc thang hoặc các hồ song song.

Tổng dung tích phòng lũ của hệ thống là V_{PLHT}

Tài liệu của hồ thứ n gồm:

- + Chuỗi lưu lượng đến hồ trong thời kỳ phòng lũ: $Q_n = f(t)$
- + Dung tích ứng với mực nước gia cường: V_n .
- + Miền của biến X_n từ $V_{PLnmin} \div V_{PLnmax}$
- + Đặc trưng thượng lưu sau khi hàm hóa:

$$Z_{tln} = A_{1n} + B_{1n} (V_n - X_n) + C_{n1} (V_n - X_n)^2 + D_{n1} (V_n - X_n)^3$$

- + Đặc trưng hạ lưu sau khi hàm hóa:

$$Z_{hln} = A_{2n} + B_{2n} Q_n + C_{2n} Q_n^2 + D_{2n} Q_n^3$$

- + Lưu lượng lớn nhất cho phép chảy qua NMTĐ của hồ n: Q_{nmax}
- + Lưu lượng cho phép xả xuống hạ lưu: $Q_{hlmin} \leq Q_n \leq Q_{hlmax}$
- + Các tháng thời kỳ phòng lũ: thí dụ tháng 7, 8 và 9 dương lịch.
- + Thời gian của các tháng thời kỳ phòng lũ (giờ): Δt_i .
- + Hệ số tính toán A_n .
- + Trong đó đặc trưng lòng hồ và quan hệ hạ lưu nhà máy thủy điện sẽ được hàm số hóa theo tiêu chuẩn sai số bình phương nhỏ nhất.

Các bước giải

Quá trình tìm nghiệm cần qua 10 bước cơ bản sau:

Bước 1: Gán số thứ tự cho các hồ.

- + Dung tích phòng lũ ban đầu của hồ thứ k được tính theo công thức:

$$V_{PLk}^0 = \frac{V_{hik}}{\sum_{k=1}^n V_{hik}} \frac{V_{PL}^{HT}}{\sum_{k=1}^n V_{hik}}$$

Trong đó: V_{hik} - Dung tích hữu ích của hồ thứ k trong n hồ của hệ thống
 V_{PL}^{HT} - tổng dung tích phòng lũ hạ du của các hồ trong hệ thống.

+ Gán số thứ tự cho các hồ theo chiều tăng dần cùng giá trị V_{PL} ban đầu. Nghiệm ban đầu X_1^0 là nghiệm ban đầu của hồ chứa có V_{PLk}^0 nhỏ nhất và X_n^0 là nghiệm ban đầu của hồ chứa có V_{PLk}^0 lớn nhất.

Bước 2: Chọn nghiệm ban đầu: Gán giá trị V_{01} từ 0 đến V_{1max} , tương ứng V_{02} đến V_{0n} nhận các giá trị từ $[V_{PL}^{HT}$ đến $(V_{PL}^{HT} - V_{1max})$ theo nguyên tắc trên.

Bước 3: Chạy chương trình với vòng **loop** trong cùng với hồ thứ n và n-1 với V_{0n} tăng từ giá trị 0 đến V_{nmax} .

Bước 4: Xác định phương tìm kiếm d^k lấy theo hướng tăng dần của biến x_n .

Bước 5: Tìm điểm nghiệm mới $x^{k+1} = x^k + \beta^k d^k$ trong đó β^k là bước chuyển (vô hướng). Để việc giải gọn gàng và đạt độ chính xác cao, chọn bước chuyển vô hướng là hằng số và bằng 1/10 hoặc 1/20 ... đến 1/100 của V_{01} tùy theo yêu cầu về mức độ chính xác.

Bước 6: Kiểm tra qui tắc dừng theo tiêu chuẩn $\left| \frac{f(x^k) - f(x^{k+1})}{f(x^k)} \right| < \varepsilon_4$.

Bước 7: Cho $X_{n^{0+1}} = X_n^0 + \Delta X_n^0$ lặp lại bước 6

Bước 8: Thực hiện lại bước 3 đến bước 7 cho vòng **loop** ngoài tiếp theo.

Bước 9: Tính nghiệm ở các giá trị cực biên.

Bước 10: So sánh nghiệm của mô hình với nghiệm tại các điểm cực biên. Nghiệm có giá trị lớn nhất chính là nghiệm của bài toán.

Sự tồn tại nghiệm của mô hình

Do hàm mục tiêu là hàm phi tuyến (bậc 3) liên tục và bị chặn cả hai phía, nên chắc chắn sẽ tồn tại nghiệm (cực đại) trong khoảng biến thiên của biến hoặc tại một trong hai điểm cực biên.

4.2. Chương trình tính toán

Chương trình được viết bằng ngôn ngữ Visual Basic với các mô đun sau:

- Mô đun nhập số liệu đầu vào.
- Mô đun xử lý số liệu.
- Mô đun nhập mô hình bài toán.
- Mô đun tìm nghiệm bài toán.
- Mô đun kiểm tra nghiệm.
- Mô đun xuất và in kết quả.

5. Kết quả tối ưu phân phối dung tích phòng lũ cho các hồ trên sông Đà

Để minh họa tác giả đã áp dụng chương trình lập ra để phân phối 7 tỷ m³ dung tích phòng lũ cho các hồ chứa trên dòng chính sông Đà.

Giá trị điện năng lớn nhất của hệ thống 3 hồ chứa thuộc bước tính toán thứ 36 trên 367 bước tính toán (với ΔV_{PL} là 10 10⁶ m³), giá trị điện năng mùa phòng lũ lớn nhất là **1040,008 10⁹ kWh/năm**. Nghiệm tối ưu về dung tích phòng lũ hạ du cho các hồ như sau (bảng 1).

Bảng 1. Kết quả tối ưu phân phối dung tích phòng lũ hạ du cho các hồ trên dòng chính sông Đà

TT	Hồ chứa	V phòng lũ (tỷ m ³)
1	Lai Châu	0
2	Sơn La	3,4837
3	Hòa Bình	3,5163
Tổng	Hệ thống 3 hồ	7,0000

6. Kết luận

Kết quả áp dụng bài toán tối ưu phân phối dung tích phòng lũ cho hệ thống hồ chứa trên dòng chính sông Đà cho thấy: Việc không bố trí dung tích phòng lũ tại hồ thủy điện Lai Châu là hợp lý trên quan điểm tối ưu điện năng thời kỳ phòng lũ của hệ thống 3 hồ thủy điện Hòa Bình, Sơn La, Lai Châu. Trong quá trình tính toán đã xác định lại phân phối dung tích phòng lũ cho hồ Sơn La và hồ Hòa Bình. Kết quả phân phối dung tích ở hai hồ chứa này cũng khá phù hợp với kết quả tính toán của một số đơn vị tư vấn khác (bảng 2)

Bảng 2. So sánh kết quả tính toán phân phối dung tích phòng lũ hệ thống hồ chứa Lai Châu - Sơn La - Hòa Bình

Đơn vị tính toán	Vpl hồ Lai Châu (triệu m ³)	Vpl hồ Sơn La (triệu m ³)	Vpl hồ Hòa Bình (triệu m ³)
Nghiên cứu này	0	3483,7	3516,3
Cty tư vấn điện 1		3000	4000
Tư vấn Nhật		3500	3500

Qua so sánh, chúng ta có thể nhận xét rằng chương trình tối ưu phân phối dung tích phòng lũ cho kết quả phù hợp với các nghiên cứu trước đây, đặc biệt khi đối chiếu với kết quả của tư vấn nước ngoài thẩm tra TKKT-GĐ1 Công trình thủy điện Sơn La. Như vậy, thuật toán và chương trình đã được nghiên cứu, thiết lập và chạy kiểm tra. Do đó, chương trình tối ưu phân phối dung tích phòng lũ cho hệ thống hồ thủy điện có thể áp dụng trong nghiên cứu và tính toán đối với các hồ chứa trên hệ thống sông khác.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Thượng Bằng, Hoàng Đình Dũng, Vũ Hữu Hải (2005), *Thủy năng và Điều tiết dòng chảy*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
2. Hoàng Đình Dũng, Phạm Hồng Nhật, Vũ Hữu Hải, Nguyễn Thượng Bằng (1991), *Trạm thủy điện các công trình trên tuyến năng lượng*, Nhà xuất bản giao thông vận tải, Hà Nội.

3. Braga Jr., B. P. F., W. W-G, Yeh, L. Becker, and M. T. L. Barrow (1991), "Stochastic Optimization of Multiple - Reservoir- System Operation", *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 117(4):471- 481.
4. Crawlay, P. D., and G. C. Dancy (1993), "Optimal Operation of Multiple-Reservoir System", *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 119(1): 1-17.
5. Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman (1995), *Introduction to Operation Research, International Edition*, McGRAW - HILL.
6. Larry W. Mays, *Water Resources Handbook* (1996), International Edition, McGRAW - HILL.
7. Bàng Thượng Hữu (1990), *Quy hoạch đa mục tiêu trong thủy lợi*, Nhà xuất bản Đại học Công nghệ Hoa Trung - Vũ Xương.
8. *Thiết kế kỹ thuật giai đoạn I công trình thủy điện Sơn La* (2006), Hà Nội.
9. *Nghiên cứu khả thi dự án thủy điện Lai Châu* (2009), Hà Nội.