

ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN QUY HOẠCH ĐỘNG CHO BÀI TOÁN VẬN HÀNH TỐI ƯU BẬC THANG HỒ CHỨA THỦY ĐIỆN

Hồ Ngọc Dung¹, Hà Văn Khôi¹, Hồ Sỹ Dự¹

Tóm tắt: Bài toán vận hành tối ưu bậc thang hồ chứa là xác định quỹ đạo biến đổi theo thời gian của vec tơ trạng thái (mức nước hoặc dung tích) các hồ chứa trong bậc thang sao cho hàm mục tiêu đạt được giá trị tối ưu. Khó khăn cơ bản trong việc giải các bài toán vận hành tối ưu hệ thống bậc thang hồ chứa thủy điện bằng phương pháp quy hoạch động đó là khối lượng khổng lồ các phép tính khi bậc thang hồ chứa có nhiều bậc với bước thay đổi mức nước nhỏ và nhiều thời đoạn tính toán. Bài báo giới thiệu thuật toán DP-DP (quy hoạch động hai chiều) được phát triển dựa trên nguyên lý chung của thuật toán quy hoạch động với việc phân rã thành hai nhóm bài toán quy hoạch động: quy hoạch động theo chiều không gian (phân bổ tối ưu dung tích trữ của hồ chứa trên bậc thang của từng thời đoạn) và quy hoạch động theo chiều thời gian. Sử dụng thuật toán DP-DP giảm được khá lớn khối lượng tính toán so với việc giải bài toán tối ưu bằng thuật toán quy hoạch động thông thường là vét cạn lưới vec tơ trạng thái (mức nước hoặc dung tích) các hồ chứa trong bậc thang. Điều này cho phép rút ngắn thời gian tính toán. Mô hình thuật toán DP-DP đã được áp dụng kiểm nghiệm cho bậc thang thủy điện Sơn La - Hòa Bình. Kết quả tính toán cho thấy sự hợp lý và tin cậy của mô hình.

Từ khóa: Hòa Bình, Sơn La, DP-DP, Bậc thang thủy điện.

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay hầu hết các hệ thống sông lớn của Việt Nam như sông Đà, sông Sê San, sông Đòng Nai, sông Ba.... việc quy hoạch và khai thác nguồn năng lượng thủy điện trên cơ bản đã hoàn thành, các công trình chính có ảnh hưởng lớn đến quy trình khai thác các hệ thống sông này trên cơ bản đã được xây dựng và đưa vào sử dụng. Chính phủ đã ban hành các quy trình vận hành liên hồ chứa cho các hệ thống sông lớn. Tuy nhiên, các quy trình vận hành liên hồ chứa về cơ bản được xây dựng trên cơ sở tính toán đảm bảo an toàn công trình trong mùa lũ. Việc tính toán vận hành trong mùa lũ của các “Quy trình vận hành liên hồ chứa” không phải trên nguyên lý tối ưu lợi ích các ngành tham gia lợi dụng tổng hợp mà chủ yếu trên cơ sở tính toán điều tiết lũ đảm bảo an toàn chung cho hệ thống và giảm thiểu ngập lụt hạ lưu. Trong mùa kiệt (mùa cạn), các “Quy trình vận hành liên hồ

chứa” đã đưa ra các quy định chung về dòng chảy tối thiểu hạ lưu các công trình đảm bảo các yêu cầu lợi dụng tổng hợp nguồn nước. Ở một số hồ chứa lớn mà chế độ vận hành của chúng có tính quyết định đến chế độ hạ lưu của hệ thống bậc thang, “Quy trình liên hồ” còn quy định mức nước tối thiểu trong các hồ chứa của từng thời đoạn. Các “Quy trình vận hành liên hồ” chưa đề cập đầy đủ và cụ thể đến quy tắc vận hành tối ưu hệ thống công trình tham gia lợi dụng tổng hợp. Việc quy định về dòng chảy tối thiểu đảm bảo yêu cầu hạ lưu cũng chưa được xem xét và nghiên cứu đầy đủ cùng với hiệu quả lợi dụng tổng hợp.

Nói tóm lại, hiện nay các công trình thủy điện trong các hệ thống bậc thang, tuy có “Quy trình vận hành liên hồ chứa” nhưng chủ yếu phục vụ cho vận hành an toàn công trình và hạ du trong mùa lũ. Đứng trên phương diện tổng quát, tuy các “Quy trình” đã xem xét đến một số yếu tố tối ưu, nhưng trong mùa cạn vẫn cần phải đưa ra các quy trình cụ thể nhằm tối ưu lợi ích

¹ Đại học Thủy lợi.

tổng hợp nói chung và đặc biệt là lợi ích về mặt năng lượng nói riêng. Khi vấn đề an toàn công trình không còn bị đe dọa thì việc vận hành tối ưu của hệ thống liên hồ là cần thiết, đem lại lợi ích cho các ngành tham gia lợi dụng tổng hợp nguồn nước và cho toàn xã hội.

Trong những năm gần đây đã có một số đề tài đề cập vấn đề khai thác tối ưu hồ chứa với đa mục tiêu sử dụng tổng hợp nguồn nước (Hà Văn Khôi, 2013; Hồ Sỹ Dự, 2013). Một số phần mềm chuyên dụng đã được một số tác giả trong và ngoài nước xây dựng và ứng dụng tính toán tối ưu vận hành hồ chứa thủy điện (D. Nagesh Kumar, 2006). Tuy nhiên, việc áp dụng để tính toán vận hành hệ thống bậc thang hồ chứa còn bị hạn chế. Về cơ bản là các hạn chế do thuật toán giải bài toán tối ưu phức tạp, có khối lượng tính toán rất lớn nên với bậc thang hồ chứa nhiều bậc rất khó thực hiện. Đặc biệt là khi chọn thời đoạn tính toán ngắn và số hồ nhiều thì dung lượng yêu cầu đối với máy tính lớn, kết quả tính toán còn rất hạn chế.

Nội dung bài viết trình bày kết quả nghiên cứu xây dựng thuật toán giải bài toán tối ưu vận hành bậc thang hồ chứa thủy điện làm cơ sở xây dựng phần mềm chuyên dụng phục vụ cho việc tính toán khai thác tối ưu năng lượng của hệ thống bậc thang hồ chứa thủy điện có tính đến sự cần thiết phải thỏa mãn các nhiệm vụ khác của hệ thống (cấp nước, giao thông thủy và môi trường sinh thái vùng hạ du). Kết quả nghiên cứu cũng là cơ sở tham khảo để hỗ trợ lập quy trình vận hành liên hồ chứa.

2. THIẾT LẬP BÀI TOÁN VẬN HÀNH TỐI ƯU HỆ THỐNG HỒ CHỨA BẬC THANG THỦY ĐIỆN

a. Thiết lập bài toán

Cơ sở bài toán vận hành tối ưu của hệ thống bậc thang thủy điện lợi dụng tổng hợp được xác lập theo hàm mục tiêu. Hàm mục tiêu tối ưu lợi dụng tổng hợp nguồn nước về nguyên lý chung là hàm đa mục tiêu lợi ích. Hàm tổng quát nhất có thể là lợi ích tổng hợp đối với nền kinh tế quốc dân là lớn nhất. Hoặc có thể là tổng tổn thất đối với các hộ hưởng lợi và hệ thống điện là nhỏ nhất khi không đáp ứng được mức đảm bảo

thiết kế của các công trình tham gia lợi dụng tổng hợp nguồn nước. Trong nội dung nghiên cứu, tác giả sử dụng hàm mục tiêu tối đa điện năng phát trong quá trình điều khiển vận hành hệ thống trong điều kiện đáp ứng các yêu cầu ràng buộc của các hồ dùng và sử dụng tổng hợp nguồn nước.

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n E_{i,j} \rightarrow \max \quad (1)$$

Trong đó:

F- Tổng điện năng thu được trong suốt thời gian vận hành T;

j- thời đoạn tính toán được phân chia đối với khoảng thời gian tính toán;

i- là thứ tự hồ chứa trên hệ thống bậc thang, phân theo thứ tự từ thượng nguồn xuống hạ nguồn;

$E_{i,j}$ - Điện năng của hồ thứ i trong thời đoạn tính toán thứ j;

Điện năng của hồ thứ i trong thời đoạn tính toán thứ j xác định theo công thức (2) và (3):

$$E_{i,j} = N_{i,j} \cdot \Delta t \quad (2)$$

$$N_{i,j} = 9,81 \cdot \eta_i \cdot Q_{i,j}^{TP} \cdot H_{i,j} \leq N_{i,j}^{kd} \quad (3)$$

$N_{i,j}$ - công suất phát điện trung bình đạt được tại thời đoạn j của trạm thủy điện gắn với hồ thứ i;

Δt - khoảng thời gian tính bằng giờ (h) của mỗi thời đoạn tính toán thứ j;

$Q_{i,j}^{TP}$ - lưu lượng trung bình qua nhà máy tại thời đoạn j của trạm thủy điện gắn với hồ thứ i;

η_i - hiệu suất trung bình chung của TTĐ tại bậc thang thứ i (bao gồm giá trị trung bình của hiệu suất turbin, hiệu suất máy phát);

$N_{i,j}^{kd}$ - công suất khả dụng của trạm thứ i tại thời đoạn j.

Do các công trình trong bậc thang có liên quan mật thiết với nhau về thủy lực cũng như liên quan trong hệ thống phân phối điện năng (hệ thống điện) do đó trạng thái của các hồ chứa có ảnh hưởng trực tiếp hoặc gián tiếp với nhau.

Cụ thể:

- Về lưu lượng

Lưu lượng sử dụng để phát điện của trạm thủy điện bậc thang thứ i trong thời đoạn j sẽ xác định từ phương trình cân bằng:

$$\frac{\Delta V_{i,j}}{\Delta t} = Q_{i,j}^{tn} + Q_{i-1,j}^{TB} + Q_{i-1,j}^x - Q_{i,j}^{TB} - Q_{i,j}^x - Q_{i,j}^{TL} - Q_{i,j}^{tc} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta V_{ij}}{\Delta t} = \frac{V_{i,j} - V_{i,j-1}}{\Delta t} \quad (5)$$

Trong đó: $Q_{i,j}^{TB}$, $Q_{i-1,j}^{TB}$ tương ứng là lưu lượng phát điện của trạm thủy điện bậc thứ i và trạm bậc trên trực tiếp trong bậc thang $(i-1)$ trong thời đoạn j ;

$Q_{i,j}^x$, $Q_{i-1,j}^x$ tương ứng là lưu lượng xả không qua phát điện của bậc thứ i và bậc trên $i-1$, trong thời đoạn j ;

$Q_{i,j}^{tn}$ - lưu lượng dòng tự nhiên đến công trình không qua điều tiết của bậc thứ i , trong thời đoạn j (nếu phía trên có hồ điều tiết thì đây là lưu lượng tự nhiên do khu giữa tạo nên);

$Q_{i,j}^{TL}$ - lưu lượng cấp nước cho các ngành lợi dụng tổng hợp lấy nước trực tiếp từ thượng lưu không qua phát điện của hồ chứa i ở thời đoạn j ;

$Q_{i,j}^{tc}$ - lưu lượng tổn thất của bậc thứ i , trong thời đoạn j ;

$V_{i,j}$, $V_{i,j-1}$ tương ứng dung tích hồ chứa bậc thứ i và $i-1$ tại thời đoạn thứ j . Dung tích của các hồ chứa được xác định theo đường quan hệ dung tích và mực nước thượng lưu hồ chứa: $V_{i,j} = f(Z_{i,j})$.

- Về cột nước

Cột nước trung bình tại thời đoạn j của trạm thủy điện gắn với hồ chứa thứ i :

$$H_{i,j} = Z_{i,j}^{TL} - Z_{i,j}^{HL} - h_w \quad (6)$$

Trong đó: $Z_{i,j}^{TL}$ là mực nước hồ thứ i tại thời đoạn j ; $Z_{i,j}^{HL}$ là mực nước hạ lưu tại trạm thủy điện gắn với hồ thứ i tại thời đoạn tính toán thứ j phụ thuộc vào lưu lượng xả xuống hạ lưu và mực nước thượng lưu hồ bậc thang dưới do nước dâng.

Tổn thất cột nước tại công trình thứ i , phụ thuộc vào lưu lượng phát điện: $h_w = f(Q_{i,j}^{TB})$.

Các điều kiện biên và các giới hạn:

+ Lưu lượng xả xuống hạ lưu ở bậc thứ i tại thời đoạn j không nhỏ hơn lưu lượng yêu cầu tối thiểu hạ lưu theo điều kiện duy trì dòng chảy môi trường hoặc nhu cầu cấp nước hạ lưu $Q_{i,j}^{yc}$:

$$Q_{i,j}^{TB} + Q_{i,j}^x \geq Q_{i,j}^{yc} \quad (7)$$

+ Điều kiện giới hạn làm việc của turbin tại bậc i thời đoạn j

$$Q_{i,j}^{TBmin} \leq Q_{i,j}^{TB} \leq Q_{i,j}^{TBmax} \quad (8)$$

Lưu lượng tối thiểu $Q_{i,j}^{TBmin}$ của turbin phụ thuộc vào loại turbin. Lưu lượng tối đa qua turbin $Q_{i,j}^{TBmax}$ được khống chế bởi đặc tính vận hành của turbin ở bậc thứ i , lưu lượng bị giới hạn bởi cột nước phát điện và giới hạn về công suất khả dụng, công suất công tác giới hạn của trạm thủy điện i ở thời đoạn j , tuy nhiên điều kiện ràng buộc này trong thuật toán tối ưu không phải để loại bỏ mà để tính điện năng. Khi $Q_{i,j}^{TBmin} > Q_{i,j}^{TB}$ thì lấy $Q_{i,j}^{TB} = 0$ khi đó từ phương trình cân bằng để tính $Q_{i,j}^x$. Điều kiện cân bằng lưu lượng còn cần lưu ý tất cả thành phần về phải của phương trình (4) phải lớn hơn hoặc bằng 0:

+ Điều kiện giới hạn về mực nước:

$$Z_{i,j}^{min} \leq Z_{i,j} \leq Z_{i,j}^{max} \quad (9)$$

$Z_{i,j}^{max}$ mực nước cao nhất của hồ chứa i ở thời đoạn j , có thể là mực nước dâng bình thường hoặc mực nước trước lũ. $Z_{i,j}^{min}$ là mực nước thấp nhất hồ chứa cho phép, có thể được khống chế do nhu cầu của các ngành tham gia lợi dụng tổng hợp nguồn nước hoặc là mực nước chết của hồ chứa.

b. Không gian nghiệm

Nghiệm tối ưu của bài toán với hàm mục tiêu dạng (1) tương ứng với véc tơ trạng thái tối ưu của hệ thống hồ chứa với biến trạng thái là mực nước hồ có dạng:

$$Z^* = \begin{bmatrix} Z_{1,1}^* & Z_{2,1}^* & Z_{3,1}^* & \dots & Z_{i,1}^* & \dots & Z_{m,1}^* & (j=1) \\ Z_{1,2}^* & Z_{2,2}^* & Z_{3,2}^* & \dots & Z_{i,2}^* & \dots & Z_{m,2}^* & (j=2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{1,j}^* & Z_{2,j}^* & Z_{3,j}^* & \dots & Z_{i,j}^* & \dots & Z_{m,j}^* & (j=j) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{1,n}^* & Z_{2,n}^* & Z_{3,n}^* & \dots & Z_{i,n}^* & \dots & Z_{m,n}^* & (j=n) \end{bmatrix} \quad i=1, \dots, m; \quad j=1, \dots, n \quad (10)$$

Vì $V_{i,j} = f(Z_{i,j})$ nên các các phần tử $Z_{i,j}$ của của biểu thức (10) có thể thay thế bằng các giá trị V_{ij} :

$$V^* = \begin{bmatrix} V_{1,1}^* & V_{2,1}^* & V_{3,1}^* & \dots & V_{i,1}^* \dots & V_{m,1}^* & (j=1) \\ V_{1,2}^* & V_{2,2}^* & V_{3,2}^* & \dots & V_{i,2}^* \dots & V_{m,2}^* & (j=2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{1,j}^* & V_{2,j}^* & V_{3,j}^* & \dots & V_{i,j}^* \dots & V_{m,j}^* & (j=j) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{1,n}^* & V_{2,n}^* & V_{3,n}^* & \dots & V_{i,n}^* \dots & V_{m,n}^* & (j=n) \end{bmatrix}$$

$i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n \quad (11)$

3. LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP VÀ THUẬT TOÁN GIẢI

Đối với hệ thống bậc thang hồ chứa thủy điện, mỗi phần tử $V_{i,j}^*$ của vectơ nghiệm (11) có quan hệ với các phần tử khác cùng hàng (theo chiều không gian) chứa phần tử đó, đồng thời lại có quan hệ với các phần tử cùng cột (chiều thời gian) chứa phần tử đó. Như vậy, bài toán tối ưu phải được giải theo liên kết không-thời gian. Đây là một khó khăn khi lựa chọn phương pháp giải bài toán tối ưu dạng (1). Rất nhiều phương pháp khác nhau đã được nghiên cứu liên quan đến việc giải quyết liên kết không-thời gian của bài toán này. Bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu giải bài toán tối ưu dạng (1) theo thuật toán quy hoạch động hai chiều DP-DP.

a. Nguyên lý của thuật toán quy hoạch động với thuật toán 2 chiều DP-DP

Theo thuật toán DP-DP, bài toán tối ưu dạng (1) được phân rã và tích hợp của 2 lớp bài toán quy hoạch động phẳng: chiều thời gian (bài toán 1) và chiều không gian (bài toán 2).

Bài toán 1: Gọi tổng dung tích phần nằm phía trên mực nước chết của các hồ chứa tại thời đoạn j (VS_j) là tổng dung tích trữ của các hồ chứa trong hệ thống bậc thang tại thời đoạn j , cần tìm quá trình thay đổi dung tích trữ nước tổng cộng của các hồ chứa trong hệ thống bậc thang sao cho tổng điện năng thu được trong suốt thời gian vận hành đạt giá trị lớn nhất và cũng chính là nghiệm của bài toán tối ưu dạng (1). Đây là bài toán quy hoạch động có biến trạng thái theo thời gian. Tuy nhiên, để giải được bài toán 1 cần phải liên kết với bài toán 2 dưới đây.

Bài toán 2: Tại mỗi thời đoạn tính toán, mỗi phương án tổng dung tích trữ VS_j đối với bài toán 1, cần được phân bổ cho các hồ trên hệ thống như thế nào để điện năng thu được tại thời đoạn đó là lớn nhất. Thuật toán quy hoạch động theo mẫu bài toán phân bổ tối ưu tài nguyên được áp dụng cho bài toán 2.

Khi giải bài toán 1, tại mỗi bước thời đoạn tính toán thứ j , theo thuật toán quy hoạch động các giá trị VS_j được lựa chọn theo sự phân chia thành nhiều cấp $VS_{j,k}$ ($k=1, \dots, N_s$), trong đó N_s là tổng các phương án phân chia về tổng dung tích trữ $VS_{j,k}$. Như vậy, tương ứng với mỗi phương án dung tích trữ $VS_{j,k}$ ở thời đoạn thứ j cần thực hiện giải bài toán 2. Đó chính là nguyên lý phân rã và tích hợp của 2 bài toán quy hoạch động đã trình bày ở trên.

b. Thuật toán quy hoạch động trạng thái thời gian (bài toán 1)

Gọi $F(VS_{n,i}, VS_o)$ là tổng điện năng của các trạm thủy điện trong quá trình thay đổi tổng dung tích trữ của các hồ chứa từ trạng thái ban đầu VS_o đến trạng thái cuối cùng $VS_{n,i}$ trong suốt quá trình điều khiển. Cần tìm quỹ đạo thay đổi $VS_o \rightarrow VS_{n,i}$ với i là trạng thái bất kỳ tại thời đoạn cuối, sao cho hàm năng lượng:

$$F = F(VS_{n,i}, VS_o) \rightarrow \max \quad (12)$$

Ta chia thời kỳ $t_0 \div t_n$ ra nhiều thời đoạn nối tiếp nhau, giả sử ta chia làm n thời đoạn. Ở mỗi thời đoạn, trạng thái về dung tích hồ chứa có thể là bất kỳ trong giới hạn hoạt động của nó (Hình 1). Ký hiệu $VS_{j,k}$ là trạng thái có thể của tổng dung tích trữ VS_j ở thời đoạn thứ j (j là chỉ số chỉ thời đoạn; k là chỉ số chỉ trạng thái của tổng dung tích trữ VS_j ở thời đoạn đó). Ở mỗi một thời đoạn được phân chia, trạng thái tổng dung tích trữ VS_j chỉ nhận những giá trị thỏa mãn điều kiện:

$$VS_j^{\min} \leq VS_{j,k} \leq VS_j^{\max} \quad (13)$$

với $j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, N_s$

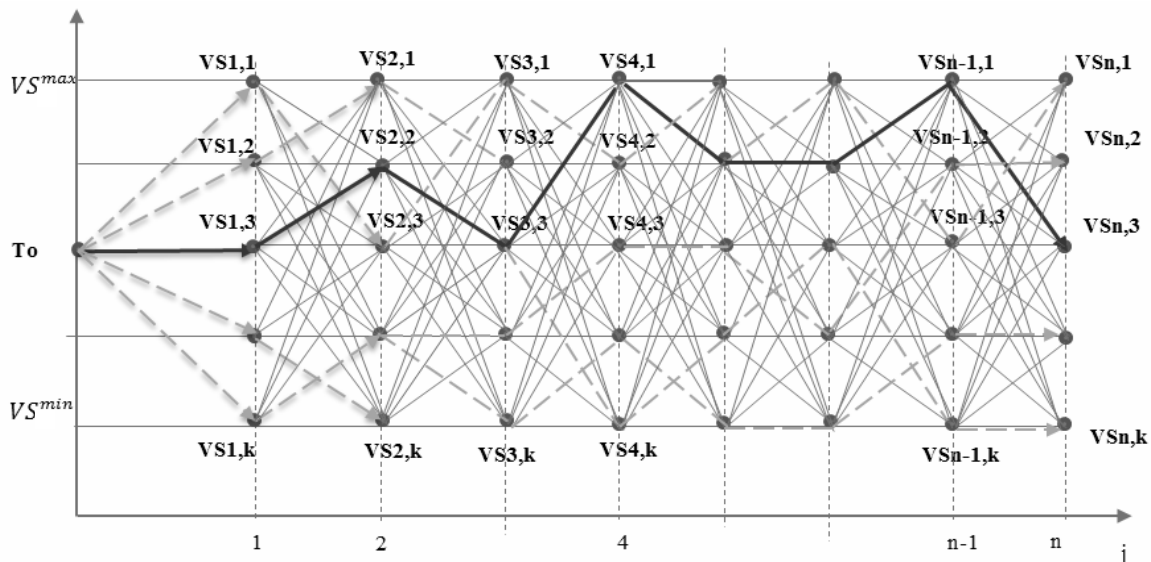
Trong đó: VS_j^{\min} và VS_j^{\max} tương ứng là giới hạn trên và giới hạn dưới của trạng thái dung tích trữ tại thời đoạn thứ j đã phân chia.

Không cho phép mực nước các hồ nhỏ hơn mực nước tối thiểu theo yêu cầu lợi dụng tổng hợp nguồn nước, tức là:

$$0 \leq VS_j^{min} \leq \sum_{i=1}^m Vh_{i,j}^{min} \quad (14)$$

Tương tự, giới hạn trên của trị số VS_j^{max} không thể lớn hơn tổng dung tích lớn nhất cho phép của các hồ chứa trong bậc thang:

$$VS_j^{max} \leq \sum_{i=1}^m Vh_{i,j}^{max} \quad (15)$$



Hình 1. Sơ đồ mô tả sự thay đổi trạng thái theo chiều thời gian với biến trạng thái là tổng dung tích trữ của các hồ chứa.

thứ i trong hệ thống tại thời đoạn j để đảm bảo yêu cầu lợi dụng tổng hợp;

- m là số hồ chứa trong hệ thống bậc thang.

Bài toán tối ưu dạng (12) được giải bài theo nguyên lý tối ưu nhiều giai đoạn của Bellman (nguyên lý Bellman) được mô tả theo biểu thức

$$F_j(VS_{j,k}) = \max_{VS_{j-1,k}} (E_j(VS_{j,k}, VS_{j-1,k}) + F_{j-1}(VS_{j-1,k})) \quad (16)$$

Trong đó:

$E_j(VS_{j,k}, VS_{j-1,k})$ là điện năng nhận được khi tổng dung tích trữ thay đổi từ trạng thái $VS_{j-1,k}$ ở giai đoạn $j-1$ đến trạng thái bất kỳ $VS_{j,k}$ ở giai đoạn j .

$F_{j-1}(VS_{j-1,k})$ là giá trị tối ưu của điện năng do tổng dung tích trữ của các hồ chứa trong hệ

$$F_n(VS_{n,k}) = \max_{VS_{n-1,k}} (E_n(VS_{n,k}, VS_{n-1,k}) + F_{n-1}(VS_{n-1,k})) \quad (17)$$

Trong đó: $VS_{n,k}$ là trạng thái cần đạt được ở thời đoạn cuối với các mức trữ khác nhau ($k=1, 2, \dots, N_s$). Đến thời đoạn cuối cùng giá trị lớn

Trong đó:

- $Vh_{i,j}^{max}$ là dung tích lớn nhất cho phép sử dụng của hồ chứa thứ i trong hệ thống tại thời đoạn j ;

- $Vh_{i,j}^{min}$ là dung tích nhỏ nhất cần phải trữ do yêu cầu về mực nước thượng lưu của hồ chứa.

tổng quát của bài toán tối ưu có điều kiện như dạng (16). Phương pháp giải bài toán tối ưu theo nguyên lý Bellman đã được giới thiệu trong các tài liệu tham khảo (Bellman, 1957; Hà Văn Khối, 2013; Phó Đức Anh, 2007; Hà Văn Khối và nnk, 2007).

thông thay đổi từ trạng thái ban đầu VS_o đến trạng thái $VS_{j-1,k}$ ở giai đoạn $j-1$.

$F_j(VS_{j,k})$ là giá trị tối ưu của điện năng do tổng dung tích trữ của các hồ chứa trong hệ thống thay đổi từ trạng thái ban đầu VS_o đến trạng thái $VS_{j,k}$ ở giai đoạn j .

Đến thời đoạn cuối cùng $j = n$, ta có:

nhất của $F_n(VS_{n,k})$ chính là giá trị tối ưu của hàm mục tiêu dạng (1), tức là:

$$B = \max F_n(VS_{n,k}) \quad (18)$$

c. Thuật toán quy hoạch động cho bài toán 2

Trong biểu thức dạng tổng quát (16) các giá trị $E_j(VS_{j,k}, VS_{j-1,k})$ tại thời đoạn tính toán j phụ thuộc vào phương án phân phối tổng lượng trữ $VS_{j,k}$ cho các hồ chứa của hệ thống tại thời đoạn đó. Mỗi phương án $VS_{j,k}$ sẽ có vô số các phương án phân phối dung tích trữ cho các hồ chứa trên hệ thống. Nhiệm vụ của bài toán 2 là tìm một phương án phân bổ tối ưu dung tích trữ cho các hồ chứa tại thời đoạn đang xét sao cho $E_j(VS_{j,k}, VS_{j-1,k})$ đạt giá trị lớn nhất. Để tiện

$$F = f_1(S_{j,1}) + f_2(S_{j,2}) + \dots + f_i(S_{j,is}) + \dots + f_m(S_{j,m}) \quad (20)$$

Trong đó:

$f_1(S_{j,1}), f_2(S_{j,2}), \dots, f_i(S_{j,is}), \dots, f_m(S_{j,m})$ là điện năng thu được của các trạm thủy điện gắn với các hồ chứa 1, 2, ..., is, ..., m tại thời đoạn tính toán thứ j tương ứng với phương án trữ nước $S_{j,i}^T = VS_{j,k}$.

Cần xác định chiến lược phân bổ dung tích sao cho hàm mục tiêu (20) đạt giá trị lớn nhất:

$F^* = \max F$ và thỏa mãn điều kiện (19), tức là: $S_j^T = S_{j,1} + S_{j,2} + \dots + S_{j,is} + \dots + S_{j,m}$. Thuật toán tối ưu được thực hiện theo nguyên lý Bellman, theo đó, đầu tiên xem xét chiến lược phân bổ tối ưu cho hai hồ chứa, sau đó là 3, 4, ... đến m hồ chứa.

Dạng tổng quát của thuật toán quy hoạch động theo mẫu bài toán phân bổ tài nguyên được viết dưới dạng (22).

$$F_{is}^*(S_{j,is}^T) = \max_{S_{j,i}^T} [f_i(S_{j,is}) + F_{is-1}^*(S_{j,is-1}^T)] \quad (22)$$

Với các ràng buộc:

$$\sum_{i=1}^{is} V_{h_{j,i}}^{\min} \leq S_{j,is}^T \leq \sum_{i=1}^{is} V_{h_{j,i}}^{\max} \quad (23)$$

Trong đó: $F_{is}^*(S_{j,is}^T)$ là giá trị tối ưu của hàm mục tiêu F khi xét phương án phân bổ tổng dung tích trữ cho is hồ chứa đầu tiên; $F_{is-1}^*(S_{j,is-1}^T)$ là giá trị tối ưu của hàm F cho phương án phân bổ tổng dung tích trữ cho is-1 hồ chứa đầu tiên; $f_{is}(S_{j,is}^T)$ là điện năng thu được của hồ thứ is khi được phân bổ dung tích là S_{is} ; is là thứ tự hồ chứa tính từ bậc đầu tiên được phân bổ dung tích. Giá trị $S_{is} = S_{j,is}^T - S_{j,is-1}^T$.

trình bày ta đặt $S_j^T = V_{j,k}; S_{j,1}, S_{j,2}, \dots, S_{j,i}, \dots, S_{j,m}$ là dung tích trữ tại các hồ chứa trên hệ thống bậc thang tại thời đoạn tính toán j tương ứng với phương án trữ nước $VS_{j,k}$; m là số hồ chứa trên hệ thống.

$$\text{Đặt } F = E_j(VS_{j,k}, VS_{j-1,k})$$

$$\text{và } S_{j,i}^T = \sum_{i=1}^m S_{j,i} \quad (19)$$

Hàm mục tiêu của bài toán phân bổ dung tích sẽ là:

Ở giai đoạn cuối khi $i = m$ ta có:

$$F_m^*(S_{j,m}^T) = \max_{S_{j,m}^T} [f_m(S_{j,m}) + F_{m-1}^*(S_{j,m-1}^T)] \quad (24)$$

Với các ràng buộc:

$$\sum_{i=1}^m V_{h_{j,i}}^{\min} \leq S_{j,m}^T \leq \sum_{i=1}^m V_{h_{j,i}}^{\max} \quad (25)$$

Đến giai đoạn này giá trị $F_m^*(S_{j,m}^T)$ chính là giá trị cực đại của hàm mục tiêu F.

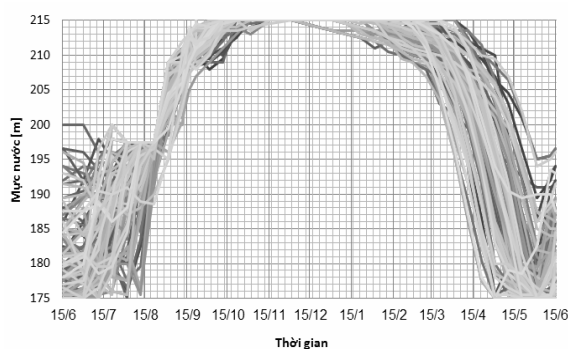
4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN ỨNG DỤNG CHO HỆ THỐNG 2 HỒ CHỨA HÒA BÌNH VÀ SƠN LA

Trên cơ sở thuật toán DP-DP xây dựng mô hình và thực hiện tính toán cho bậc thang thủy điện sông Đà với hai hồ Sơn La và Hòa Bình. Mục đích tính toán nhằm kiểm tra khả năng ứng dụng của thuật toán quy hoạch động đã thiết lập. Tính toán vận hành tối ưu được thực hiện theo phương pháp điều tiết toàn liệt với chuỗi số liệu 104 năm thủy văn từ 1902 đến 2006. Kết quả tính toán được tổng hợp trong Bảng 1 và các đường trạng thái mực nước trên các Hình 2 và 3.

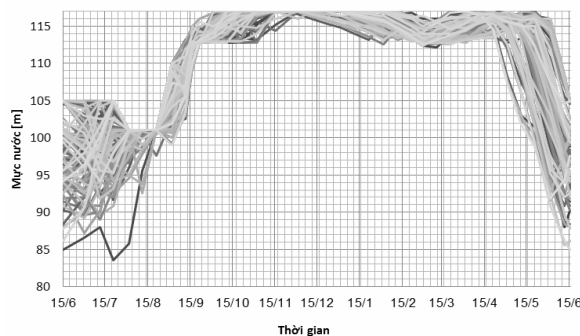
Từ kết quả tính toán cho thấy rằng việc tính toán điều khiển tối ưu có thể mang lại hiệu ích khoảng 5-6% điện năng trung bình năm so với kết quả tính toán điều tiết theo hồ sơ thiết kế kỹ thuật. Ngoài ra, ở đây chưa kể hiệu quả của việc cân bằng công suất của hệ thống điện lực. Các biểu đồ ở Hình 2 và Hình 3 là biểu đồ các quan hệ mực nước hồ chứa tối ưu với thời gian trong các năm thủy văn của 2 hồ Hòa Bình và Sơn La được xây dựng từ kết quả tính toán từ mô hình với thuật toán DP-DP.

Bảng 1. Kết quả tính toán điều tiết tối ưu bậc thang hồ thủy điện Sơn La - Hòa Bình

Các chỉ tiêu tính toán	Đ.Vị	Kết quả tính toán		
		Sơn La	Hòa Bình	Tổng cộng
1. Tính theo tiêu chuẩn tối ưu				
Điện năng trung bình năm	10 ⁶ kWh	9.551	11.402	20.953
2. Theo hồ sơ TKKT				
Điện năng trung bình năm	10 ⁶ kWh	9.282	10.505	19.787
3. Chênh lệch				
Điện năng trung bình năm	10 ⁶ kWh	269	897	1166



Hình 2. Đường quá trình mực nước tối ưu hồ Sơn La



Hình 3. Đường quá trình mực nước tối ưu hồ Hòa Bình

4. KẾT LUẬN

Mô hình vận hành tối ưu bậc thang hồ chứa lợi dụng tổng hợp sử dụng thuật toán quy hoạch động hai chiều (DP-DP) trình bày ở trên đã được tác giả áp dụng kiểm nghiệm cho bậc thang hồ chứa Sơn La – Hòa Bình. Kết

quả tính toán cho thấy sự hợp lý và độ tin cậy của mô hình.

Tuy mô hình thuật toán được áp dụng kiểm nghiệm thành công với bậc thang hồ chứa 2 bậc, nhưng về nguyên lý có thể phát triển để áp dụng cho bậc thang hồ chứa nhiều bậc nói chung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Hà Văn Khôi, Hồ Ngọc Dung (2013), “Xây dựng mô hình tính toán điều tiết phát điện và cấp nước cho hệ thống hồ chứa lợi dụng tổng hợp”, Tuyển tập Hội nghị Khoa học thường niên, Đại học Thủy lợi, tr.151-152
- Hà Văn Khôi và nnk, (2007), *Quy hoạch và phân tích hệ thống tài nguyên nước*, NXB Giáo dục, Hà Nội.
- Phó Đức Anh, Đặng Hữu Đạo, (2007), *Phân tích và tối ưu hóa hệ thống*, NXB Nông Nghiệp, Hà Nội.
- Bellman. R, (1957), *Dynamic programming*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- D. Nagesh Kumar and M. Janga Reddy (2006), “Ant Colony Optimization for Multi-Purpose Reservoir Operation”, *Water Resources Management, Springer*, vol. 20, no. 6, pp. 879-898.

Abstract:

APPLICATION OF DYNAMIC PROGRAMMING ALGORITHM FOR OPTIMUM OPERATION OF CASCADE HYDROPOWER RESERVOIRS

Based on the principle of dynamic programming algorithm, this article presents the research results on developing algorithm of optimal two-dimensional dynamic programming (DP-DP) to calculate the optimal operation of cascade hydropower system. This algorithm uses spatial and temporal state variables to optimize spatial nodes simultaneously. This model allows to reduce computed time compared with the usual dynamic programming. The Sơn La and Hòa Bình cascade hydropower reservoirs were selected as case study. Results show that DP-DP model developed in this study is dependable.

Keywords: Hòa Bình, Sơn La, DP-DP, Cascade hydropower system

Ngày nhận bài: 04/8/2017

Ngày chấp nhận đăng: 26/10/2017