# NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG QUY HOẠCH ĐỘNG VI PHÂN RỜI RẠC TỐI ƯU VẬN HÀNH HỒ THỦY ĐIỆN SÔNG HINH

**Lê Ngọc Sơn[1], Lê Đình Thành[2]**

**Tóm tắt**: Nâng cao hiệu quả khai thác các hồ chứa phát điện là vấn đề cấp bách và thời sự hiện nay trong bối cảnh tất cả các lưu vực sông ở nước ta đã hình thành hệ thống hồ chứa thủy điện. Mô hình toán Quy hoạch động (Dynamic Programming - DP) với thuật toán vi phân rời rạc (Discrete Differential Dynamic Programming - DDDP) nhằm tăng tốc độ và chính xác hóa điểm tối ưu để nâng cao hiệu quả vận hành hồ chứa (VHHC) thủy lợi - thủy điện đã được tác giả lập trình và áp dụng tính toán tối ưu phát điện và bảo đảm yêu cầu sử dụng tổng hợp cho hạ lưu thủy điện sông Hinh trong bậc thang thủy điện sông Ba. Kết quả được đánh giá bằng việc phân tích các chỉ tiêu phát điện và cấp nước, cho thấy việc ứng dụng tốt của thuật toán và có thể phát triển cho bài toán nâng cao hiệu quả vận hành hồ chứa hay hệ thống hồ chứa trong tương lai.

**Từ khóa**: Vận hành hồ chứa, Bài toán tối ưu, Quy hoạch động, Sông Hinh.

Ban Biên tập nhận bài: 12/03/2017 Ngày phản biện xong: 28/03/2017

## 1. Mở đầu

Ở nước ta, nhiều hệ thống hồ chứa thủy lợi - thủy điện đã được xây dựng và đang chi phối toàn bộ việc cấp nước cho các ngành kinh tế trên toàn bộ các lưu vực chính. Do đó việc nghiên cứu nâng cao hiệu quả sử dụng nguồn nước trong quá trình vận hành các hồ chứa này là rất cần thiết, mang tính thực tiễn cao. Với nhu cầu nước tăng nhanh và yêu cầu sử dụng tổng hợp thì sự thiếu hụt nước cấp và xung đột về sử dụng nước cũng gia tăng nhất là trong mùa kiệt. Hiện nay đã ban hành quy trình vận hành liên hồ cho tất cả các hệ thống hồ chứa trên lưu vực lớn của Việt Nam. Tuy nhiên việc vận hành hiện nay chỉ dừng lại ở việc đưa ra các ràng buộc mực nước và lưu lượng, đảm bảo an toàn công trình, mà chưa tối ưu. Vận hành hồ chứa (VHHC) nhất là trong mùa kiệt như thế nào cho hợp lý trên cơ sở các yêu cầu cấp nước đã xác định trong quy trình vận hành là vấn đề cần nghiên cứu. Bài báo này sẽ tập trung vào mô hình toán tối ưu Quy hoạch động (DP) và lựa chọn thuật giải cùng các cải tiến nhằm tăng tốc độ và chính xác trong tính toán VHHC. Tiếp đó, bài báo mô tả thực nghiệm tính toán bằng phần mềm cho một hồ chứa với số liệu cụ thể hồ thủy điện Sông Hinh trên sông Ba.

[1]*Khoa Năng lượng, Đại học Thủy lợi*
[2]*Khoa Môi trường, Đại học Thủy lợi*
Email: LeSon@tlu.edu.vn
Email: ldthanh@tlu.edu.vn

## 2. Phương pháp nghiên cứu và tài liệu sử dụng

***2.1 Bài toán vận hành tối ưu hồ chứa: Với bài toán tối ưu cho VHHC thủy lợi - thủy điện thì các hàm mục tiêu và ràng buộc được mô tả bằng các hàm toán học như sau:***

*Hàm mục tiêu:*

$$\mathrm{Max}\left(\mathrm{Min}\right)_Q \sum_{t=1}^{T} f_t\left(V_t, Q_t\right) + \Phi_{T+1}\left(V_{T+1}\right) \quad (1)$$

Trong đó, $Q_t$: biến điều khiển trong thời đoạn t (ví dụ là lưu lượng phát điện hay cấp nước); T: của hồ đầu thời đoạn t; $f_t(V_t, Q_t)$: hàm mục tiêu cần cực đại (hay cực tiểu); $\Phi_{T+1}\left(V_{T+1}\right)$ :giá trị của tương lai sau thời điểm cuối cùng T. Đây là hàm phi tuyến, ví dụ như tối ưu hóa điện lượng phát ra (E).

*Các rằng buộc:*

$$V_{t+1} = V_t + \left(Q_{d,t} + Q_{kg,t} - Q_{tt,t} - Q_t - Q_{yc,t}\right).\Delta t \quad (2a)$$

$$V_{min,t} \le V_t \le V_{max,t} \quad (2b)$$

$$Q_{min,t} \leq Q_t \leq Q_{max,t} \quad (2c)$$

$$N_{min,t} \leq N_t \leq N_{max,t} \quad (2d)$$

$$Q_{hlmin,t} \leq Q_{hl,t} \leq Q_{hlmax,t} \quad (2e)$$

(với t = 1,…,T)

Trong đó: $V_{t+1}$ ,$V_t$: dung tích hồ cuối và đầu thời đoạn; $Q_d$: lưu lượng từ hồ chứa thượng lưu; $Q_{kg}$: dòng chảy khu giữa; $Q_{tt}$: tổn thất (xả qua tràn, bốc hơi, thấm và các tổn thất khác); Q: lưu lượng cấp từ hồ cho ngành dùng nước hạ lưu (phát điện hay cấp nước); $Q_{yc}$: các yêu cầu dùng nước khác hay chuyển nước ra từ thượng lưu hồ; $Q_{hl}$: lưu lượng chảy xuống hạ lưu từ hồ chứa (có thể bao gồm lưu lượng phát điện cộng lưu lượng xả từ hồ không đi qua tua bin); $N_t$: công suất phát điện của nhà máy; $Q_{min}$, $Q_{max}$: lưu lượng nhỏ nhất và lớn nhất cho phép (qua tua bin hay công trình cấp nước); $N_{min}$, $N_{max}$: công suất nhỏ nhất và lớn nhất cho phép trong thời đoạn đó (do hạn chế qua nước của tua bin hay công suất yêu cầu của hệ thống điện); $Q_{hl,min}$, $Q_{hl,max}$: lưu lượng xuống hạ lưu nhỏ nhất, lớn nhất cho phép trong thời đoạn đó theo yêu cầu sử dụng tổng hợp hay đảm bảo dòng chảy tối thiểu.

Để giải bài toán tối ưu phi tuyến trên thì có nhiều mô hình toán khác nhau. Sau đây sẽ giới thiệu tập trung vào phương pháp giải của mô hình Quy hoạch động một cách chi tiết, cụ thể.

***2.2 Thuật toán quy hoạch động sai phân rời rạc (DDDP)***

Mặc dù đến nay Quy hoạch động (DP) là thuật toán hữu dụng cho các quyết định có thể chia tách thành từng giai đoạn theo trình tự nhưng nó lại có khối lượng tính toán lớn để tìm ra kết quả tối ưu nhất trong nhiều phương án tổ hợp. Đặc biệt là khi tính toán cho hệ thống hồ chứa thì đòi hỏi tính toán nhiều cho tổ hợp các biến quyết định và trạng thái khác nhau. Do vậy, trong nghiên cứu này thuật toán DP vi phân rời rạc (Discrete Differential DP - DDDP) được áp dụng cho bài toán vận hành hồ chứa thủy điện. Thực tế, thuật toán này đã được nghiên cứu bởi các học giả nổi tiếng như Larry W.Mays và Yeou-Koung Tung (1992) [1]; Labadie (2004) [2]. Tuy nhiên ứng dụng thuật toán và cải tiến là rất quan trọng khi nghiên cứu cho một hồ chứa cụ thể, từ đó có thể áp dụng cho hệ thống hồ chứa.

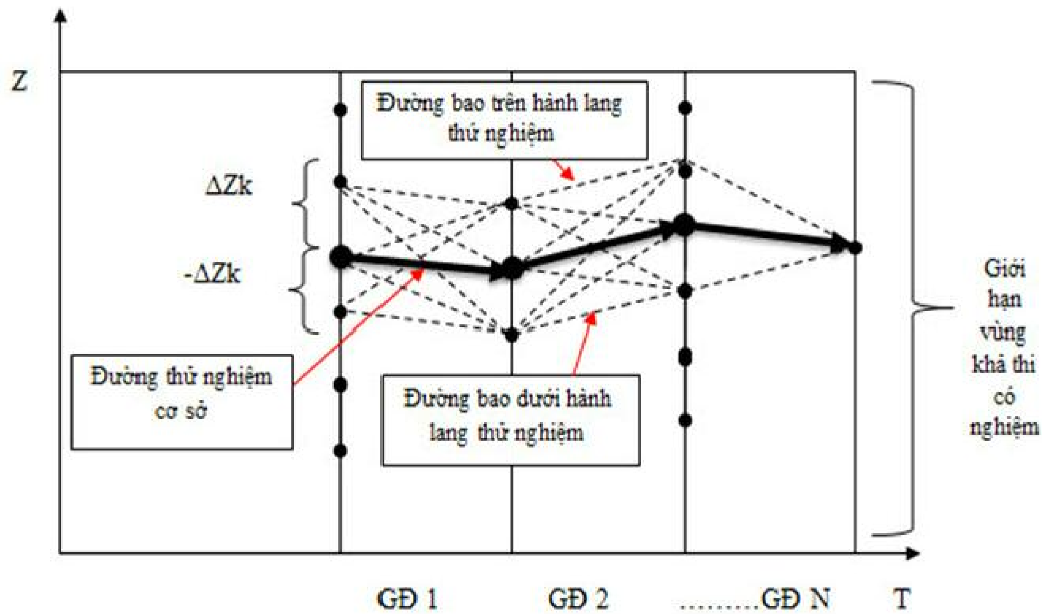
Phương pháp DDDP chỉ tính toán kiểm tra cho một phần vùng trạng thái - thời đoạn với các bước tính như sau: (1) Xác định vùng khả nghiệm có thể chấp nhận được; (2) Chia vùng khả nghiệm ra làm M trạng thái với bước là ΔV (hoặc ΔZ); (3) Giả thiết một đường tính thử bất kỳ trong vùng đó. Như vậy hai đường liền kề trên và dưới của đường thử này tạo nên “hành lang”. Các đường thử sẽ tạo nên các mạng lưới. Các biến quyết định sẽ được tính gián tiếp khi mà trạng thái các nút mạng đã biết (Hình 1); (4) Tiến hành quá trình lặp. Để tăng độ chính xác thì sau mỗi lần tìm được cực trị trong vùng đó, thì lại tiến hành chia nhỏ biến trạng thái đến khi nào mà hàm mục tiêu của lần lặp sau.

$$\frac{\left|F_k^* - F_{k-1}^*\right|}{F_{k-1}^*} \leq c_k \quad (3)$$

Trong đó $c_k$: điều kiện hội tụ bằng sai số nào đó sau phép lặp; k: thứ tự vòng lặp.

Các yếu tố chính ảnh hưởng đến lời giải của bài toán DDDP là số các mắt lưới; chọn mức chia trạng thái ($\Delta V_{bđ}$) và đường đi ban đầu, theo đó tạo ra số điểm lưới, quyết định nên chiều rộng hành lang; mức độ giảm của độ chia biến trạng thái ΔV quyết định chiều rộng hành lang tìm kiếm trong các giai đoạn lặp sau này.

Ưu điểm nổi trội của DDDP đó là việc giảm khối lượng đáng kể khối lượng và tăng độ hội tụ, tăng độ chính xác do: giảm bớt số lượng phép thử (số đoạn đường đi); DDDP chia lưới thưa trước và khoảng chia chỉ giảm nhỏ đi sang lần lặp kế tiếp khi mà hàm mục tiêu được cải thiện, hành lang sẽ tự động ưu tiên tìm cực trị cho các hồ chứa mà biến quyết định ảnh hưởng lớn hơn các hồ có tỷ trọng nhỏ trong hệ thống; đối với bài toán kỹ thuật, khi mà các ràng buộc vật lý của hệ thống là không thể vi phạm được, thì chọn phương pháp DDDP là phù hợp.




*Hình 1. Lưới chia các giai đoạn và trạng thái theo phương pháp DDDP*

***2.3 Lập trình áp dụng DDDP cho hệ thống hồ chứa thủy điện***

Tác giả thực hiện lập trình trên ngôn ngữ VBA (Visual Basic for Applications), đặt tên là chương trình là ROP (Reservoir Operation Policy), số liệu vào và kết quả được truy xuất dưới dạng bảng trong MS-Exel.

Hàm mục tiêu: Đối với VHHC phát điện là chính thì điện lượng phát ra (điện lượng năm hoặc mùa kiệt) của nhà máy thủy điên là lớn nhất. Vậy hàm mục tiêu của VHHC theo tiêu chuẩn điện lượng lớn nhất sẽ là:

$$\sum E^{*}_{t+1}(V_{t+1}) = \mathrm{Max}_{Qt}\left\{\sum E^{*}_{t}(V_{t}) + E_{t}(V_{t},Q_{t})\right\} \qquad (4)$$

**Thời đoạn tính toán:** Phần mềm ROP được lập cho thời đoạn là tháng.

**Hàm giá:** Hàm giá ở đây chính là điện lượng. Điện lượng thành phần của hồ i, phát trong thời đoạn j được tính bằng công thức:

$$E_t = 9,81.\eta_t.Q_t.H_t.\Delta T \qquad (5)$$

Trong đó: $E_t$: điện lượng phát trong thời đoạn ΔT;η , Q và H lần lượt là hiệu suất, lưu lượng và cột nước phát điện sau khi đã trừ tổn thất. Lưu ý: η, Q, H phụ thuộc vào đặc tính tua bin và đường đặc tính được số hóa dưới dạng bảng tra nội suy hai chiều (đặc tính vận hành công suất N = f(Q, H) (hoặc hiệu suất η = f(Q, H).

***2.4. Áp dụng cho hồ chứa thủy điện Sông Hinh***

Lưu vực Sông Ba là một trong những hệ thống sông lớn thuộc Tây Nguyên và Ven biển miền Trung. Trên đó có một số hồ chứa thủy điện lớn đã được xây dựng trong khoảng từ năm 2000 trở lại đây, trong đó có hồ Sông Hinh có lưu vực 771 km$^2$, công suất lắp máy 70 MW, được khởi công 1993 và hoàn thành 1999 (Hình 2). Sông Hinh có chiều dài 88 km, diện tích lưu vực 1040 km$^2$. Sông bắt nguồn từ đỉnh núi Chư H'Mu cao 2051 m, chảy theo hướng Tây Bắc - Đông Nam, đến vĩ độ 12$^0$50' Bắc gần thị trấn Sơn Hòa thì nhập vào dòng chính sông Ba ở phía bờ phải.

Số liệu dùng cho tính toán gồm các số liệu như sau:

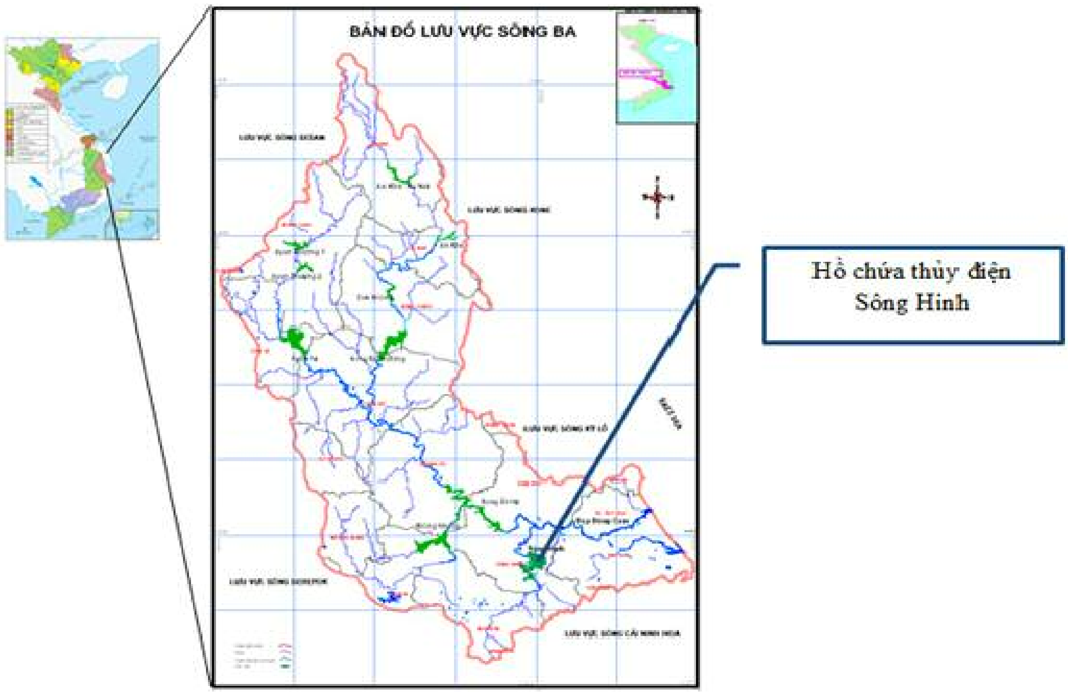
*1) Số liệu khí tượng - thủy văn:* Tài liệu dòng chảy đến Sông Hinh từ 1977 - 2000 sẽ được sử dụng cho mô hình DDDP có các đặc trưng ở Bảng 1. Số liệu bốc hơi mặt hồ ở bảng 2.

*Bảng 1. Các đặc trưng dòng chảy tháng vào hồ Sông Hinh*

| Giá trị | Đơn vị | Trị số |
|---|---|---|
| Trung bình | m$^3$/s | 47,32 |
| Nhỏ nhất | m$^3$/s | 2,16 |
| Lớn nhất | m$^3$/s | 389,37 |
| Độ lệch chuẩn | m$^3$/s | 68,07 |
| Kurtosis | | 5,63 |
| Skewness | | 2,40 |

*Bảng 2. Bốc hơi hồ chứa*

| Tháng | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bốc hơi (mm) | 22,2 | 27,6 | 39,3 | 44,4 | 48,5 | 50,7 | 56,8 | 56,0 | 31,3 | 18,3 | 16,2 | 17,9 |




*Hình 2. Bản đồ vị trí lưu vực sông Ba và hồ chứa Sông Hinh*

*2) Số liệu đặc trưng hồ chứa:* Các thông số kỹ thuật chính của hồ chứa được trình bày ở Bảng 3.

*Bảng 3. Thông số kỹ thuật chính của hồ chứa sông Hinh*

| *STT* | *Thông số* | *Đơn vị* | *Thông số* |
|---|---|---|---|
| 1 | Cao trình MN phòng lũ | m | 211,85 |
| 2 | MNDBT | m | 209 |
| 3 | MNC | m | 196 |
| 6 | Dung tích toàn bộ ($W_{tb}$) | $10^6m^3$ | 357 |
| 7 | Dung tích hữu ích ($W_{hi}$) | $10^6m^3$ | 323 |
| 8 | Dung tích chết ($W_c$) | $10^6m^3$ | 34 |
| 9 | Diện tích mặt hồ ứng với MNDBT | $km^2$ | 41 |

*3) Số liệu nhà máy thủy điện:* Các thông số kỹ thuật chính của hồ chứa được trình bày ở bảng 4 và tổn thất cột nước của nhà máy ở bảng 5.

*Bảng 4. Thông số kỹ thuật chính của nhà máy thủy điện*

| *STT* | *Thông số* | *Đơn vị* | *Thông số* |
|---|---|---|---|
| 1 | Công suất lắp máy | MW | 70,0 |
| 2 | Công suất đảm bảo (90%) | MW | 22,9 |
| 3 | Q lớn nhất | $m^3/s$ | 57,3 |
| 4 | Q đảm bảo (90%) | $m^3/s$ | 19,0 |
| 4 | Số ổ máy t | | 2 |
| 5 | $H_{max}$ | m | 153 |
| 6 | $H_{tt}$ | m | 141 |
| 7 | $H_{min}$ | m | 139 |
| 8 | Tua bin thủy lực | | Francis |

*Bảng 5. Tổn thất cột nước trên tuyến dẫn của nhà máy thủy điện*

| Q ($m^3/s$) | 0,00 | 5,55 | 11,10 | 16,65 | 22,20 | 27,75 | 33,30 | 38,85 | 44,40 | 49,95 | 55,50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| hw (m) | 0,00 | 0,06 | 0,21 | 0,44 | 0,75 | 1,13 | 1,59 | 2,11 | 2,71 | 3,37 | 4,09 |

*4) Yêu cầu dùng nước hạ lưu:* Theo Quyết định số 1077/QĐ-TTg [3], ngày 7/7/2014, chú ý là yêu cầu mực nước tối thiểu cần đảm bảo cho mùa kiệt (từ cuối tháng 12 đến cuối tháng 8 năm sau), hồ thủy điện Sông Hinh thường xuyên phải xả xuống hạ lưu tối thiểu 30 $m^3/s$khi mà hồ Sông Ba Hạ ngừng xả. Nguyên tắc điều tiết là hồ phải được trữ đầy vào cuối mùa lũ lên MNDBT và cấp nước hết đến MNC vào cuối mùa kiệt, nhằm bảo đảm an toàn và tận dụng hết nước.

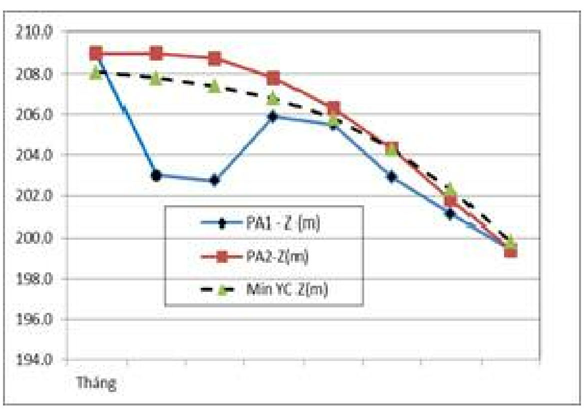
**3. Phân tích kết quả và đánh giá**

Phần mềm ROP với phạm vi mực nước (hành lang ban đầu) dựa trên đường bao trên của Biểu đồ điều phối cho 02 trường hợp:

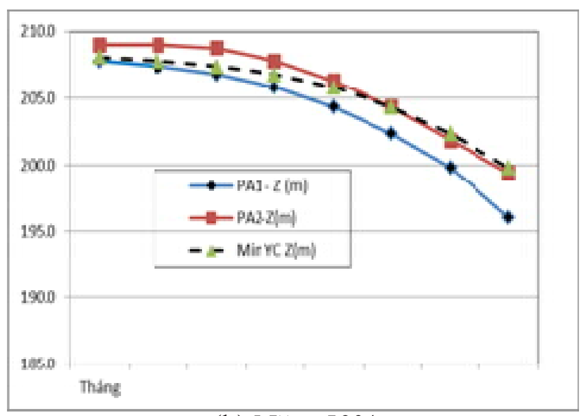
Trường hợp 1: xét đến đường hạn chế cấp nước;

Trường hợp 2: không xét đến đường hạn chế cấp nước. Kết quả được so sánh cho hai trường hợp với các chỉ tiêu điện lượng và mức bảo đảm so với yêu cầu $Q_{tt}$ = 30 $m^3/s$ (Bảng 6).

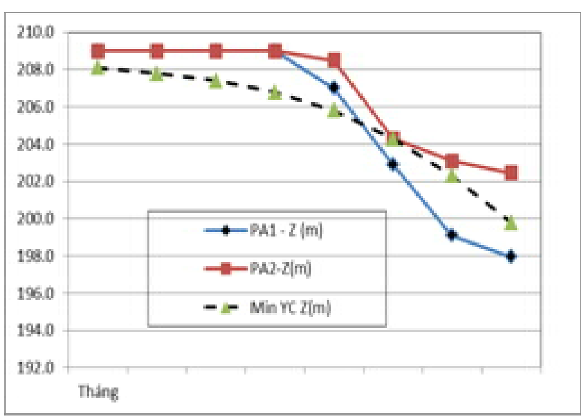
Đối với mỗi trường hợp, nhờ áp dụng DDDP cho các khoảng mực nước thu hẹp dần ΔV= 2 m, 1 m, 0,5 m... thì chỉ cần sau khoảng vài chục lần lặp là cho sai số đạt cho phép 1/1000. Thời gian tính toán chỉ tính là vài chục phút tùy vào độ chính xác. Điều này cho phép mở ra khả năng tính toán được cho nhiều hồ trong hệ thống bậc thang mà không mất nhiều thời gian.




(a) Năm 90%




(b) Năm 50%




(c) Năm 10%

*Hình 3. Mực nước hồ (Z) trong mùa kiệt ứng với các năm thủy văn có tần suất khác nhau*

Kết quả tính toán cho ra toàn bộ liệt giá trị như mực nước hồ, lưu lượng phátđiện, lưu lượng xuống hạ lưu, công suất vàđiện lượng. Kết quả thể hiện ở Hình 3 cho thấy mực nước hồ so sánh giữa trường hợp 1 (PA1) với trường hợp 2 (PA2), và mực nước tối thiểu yêu cầuđảm bảo yêu cầu cấp nước (Min YC). Với năm kiệt nước (90%) thì trường hợp 1 phải vi phạm nhiều vào mực nước yêu cầu hạ lưu, dẫn đến dòng chảy không đápứng được $Q_{tt}$ = 30 $m^3/s$. Tuy nhiên, với năm trung bình nước (50%) và năm nhiều nước (10%), đường cong diễn biến mực nước hồ trong trường hợp 1 có sát hơn với đường Min YC. Nhìnchung là trường hợp 1 thì mực nước hồ có xu thế duy trỉở mức cao trong nửa đầu mùa kiệt. Diễn biến mực nước của trường hợp 2 cho thấy việc vận hành hồ sông Hinh có thể gần như đảm bảo được mực nước tối thiểu ngay trong năm kiệt.

Kết quả tổng hợp ở Bảng 6 cho thấy điện lượng năm giảm rất nhiều khi mà xem xét đến vấn đề đảm bảo cấp nước hạ lưu. Do đó, mặc dù với trường hợp 1 cho kết quả là độ bảo đảm cấp nước là tốt nhưng cũng nên cân nhắc việc duy trì phát điện phù hợp theo tình hình cấp nước đến Đồng Cam nhằm tăng hiệu quả phát điện trong mùa kiệt.

*Bảng 6. Điện lượng năm với các trường hợp tính toán*

| Trường hợp | Điện lượng năm (triệu KWh) | Độ đảm bảo cấp nước (%) = (Số tháng cấp đủ*100%/Tổng số tháng tính toán) |
|---|---|---|
| 1 | 365 | 89 |
| 2 | 380 | 54 |
| Chênh lệch (1) - (2) | -15 (-4%) | +35 |

**4. Kết luận**

Thuật toán Quy hoạch động là rất phù hợp với bài toán VHHC, tuy nhiên việc áp dụng thuật toán này đòi hỏi khối lượng tính toán lớn, đặc biệt là cho hệ thống gồm nhiều hồ chứa. Do vậy, tác giả đã ứng dụng thuật toán vi phân rời rạc (DDDP) với cải tiến nhằm tăng tốc độ tính và độ chính xác. Tác giả cũng đã lập trình tính toán và áp dụng thử nghiệm cho hồ chứa thủy điện Sông Hinh.

Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình có thể dùng tốt đánh giá các chỉ tiêu phát điện và cấp nước của hồ. Mô hình DDDP cho kết quả các chỉ tiêu nhanh chóng để trợ giúp người điều hành ra quyết định phù hợp. Đồng thời, mô hình và đề xuất tính toán là rất tiềm năng, có thể áp dụng cho hệ thống hồ chứa thủy điện trong nghiên cứu sau này.

**Tài liệu tham khảo**

1. Larry, W.M. and Tung, Y.K. (1992), *Hydrosystems Engineering and Management, McGraw-Hill*, Inc.

2. Labadie, J.W (2004), *Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-of-the-Art Review*, Journal of Water Resources Planning and Management, 130 (2), 93-111.

3. Quyết định của TTCP số 1077/QĐ-TTg ngày 7/7/2014, *Ban hành Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Ba, bao gồm các hồ: Sông Ba Hạ, Sông Hinh, Krông H'Năng, Ayun Hạ và An Khê - Ka Nak*

## APPLICATION OF DISCRETE DIFFERENTIAL DYNAMIC PROGRAMMING FOR OPERATING OPTIMIZATION OF SONG HINH HYDROPOWER RESERVOIR

**Le Ngoc Son[1], Le Dinh Thanh[2]**

[1]Faculty of Energy Engineering, Thuyloi University

[2] Faculty of Environment Engineering, Thuyloi University

**Abstract:** *Improvement of operating performance of hydropower reservoirs has been an urgent and a pirior issue in the context of developed cascade hydropower reservoirs system in all river basins in Vietnam. Dynamic Programming (DP) algorithm with application of Discrete Differential Dynamic Programming (DDDP) aiming to accelerate calculation and refinement of optimal solution in order to improve operating the performance of irrigation-hydropower reservoir which has been programmed by the author and applied to optimization of hydropower generation and ensuring downstream demand for Song Hinh hydropower of cascade reservoirs in Ba River. Result is evaluated by analyzing performance criteria of power generation and water supply, and it shows the effective application of the algorithm and potential development of the model for solving problem of improvement of reservoir or reservoirs system's operating performance of in the future.*

**Keywords:** *Reservoir operation; Optimization; Dynamic Programming; Song Hinh.*