

**NGHIÊN CỨU KẾT HỢP MÔ HÌNH MÔ PHỎNG – TỐI ƯU – TRÍ TUỆ
NHÂN TẠO NÂNG CAO HIỆU QUẢ VẬN HÀNH HỆ THỐNG
HỒ CHỨA SÔNG BA TRONG MÙA CẠN**

Lê Ngọc Sơn¹

Tóm tắt: Nghiên cứu xác lập cơ sở khoa học và phương pháp giải quyết bài toán nâng cao hiệu quả phát điện cho hệ thống hồ chứa (HTHC) thủy lợi – thủy điện bằng cách kết hợp các mô hình: (i) mô phỏng sử dụng HEC-ResSim, (ii) tối ưu sử dụng mô hình quy hoạch động (DP) với thuật toán vi phân rời rạc (DDDP); và (iii) trí tuệ nhân tạo sử dụng mạng nơ-ron (ANN). Mô hình kết hợp này được áp dụng cho HTHC gồm 06 hồ trên sông Ba, mục tiêu là điện lượng năm lớn nhất và thỏa mãn nhu cầu nước tối thiểu hạ lưu mùa cạn quy định trong quy trình vận hành liên hồ. Kết quả thử nghiệm cho hồ sông Hinh cho thấy ANN rất gần với DP và nâng cao được điện lượng khoảng 2% so với vận hành thực tế.

Từ khóa: vận hành hệ thống hồ chứa; HEC-ResSim; quy hoạch động; mạng nơ-ron nhân tạo; sông Ba.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hồ chứa đóng vai trò quan trọng trong cung cấp nước cho các ngành kinh tế, đóng góp vào phát triển kinh tế của nước ta. Trong những năm gần đây, thủy điện đóng vai trò chủ yếu trong cung cấp điện cho hệ thống với nhu cầu điện tăng rất nhanh và dự báo vẫn duy trì mức trên 10% trong những năm tới. Với nguồn nước hạn hẹp và nhu cầu nước từ các ngành đang tăng lên nhanh chóng dẫn đến sự gia tăng về xung đột giữa các ngành tham gia sử dụng nước thì vấn đề thời sự đặt ra là cần nâng cao hiệu quả khai thác nguồn nước nói chung và các hồ chứa thủy lợi - thủy điện nói riêng.

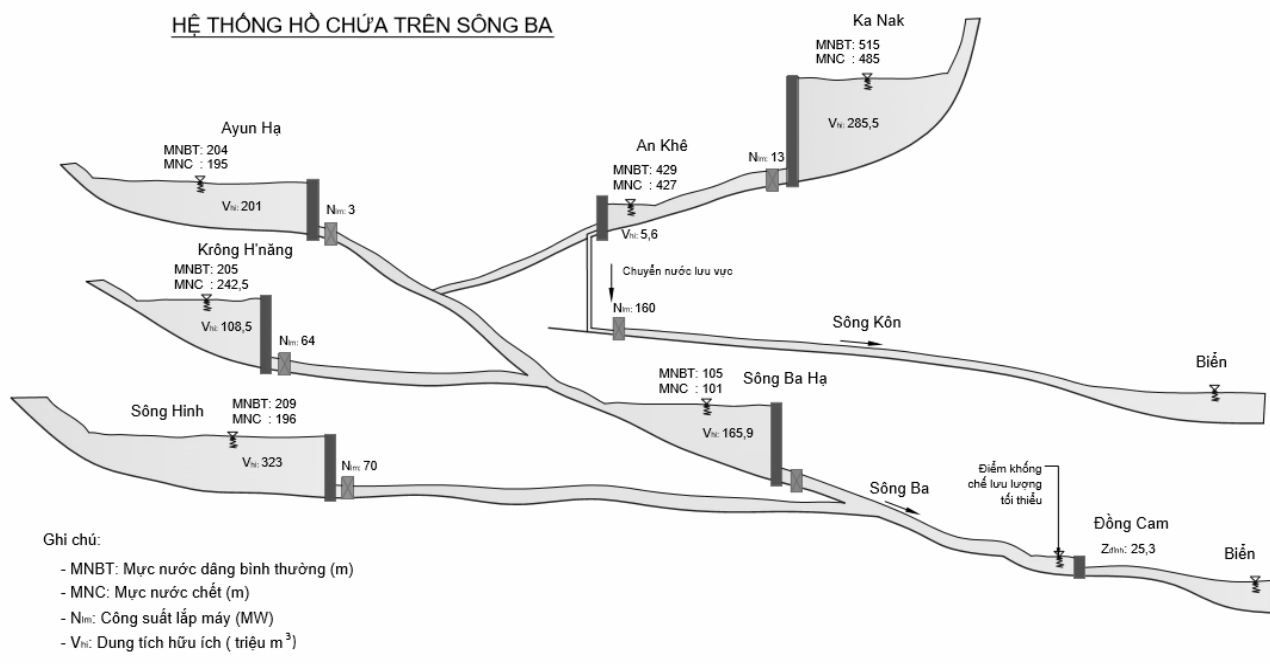
Trên lưu vực sông Ba, HTHC trên sông Ba đã tương đối hoàn chỉnh trong đó có 06 hồ chứa thủy lợi - thủy điện lớn, chi phối cấp nước và phát điện cho toàn lưu vực (PECC 1, 2002). Sơ họa cắt dọc HTHC sông Ba nêu ở Hình 1. Năm 2014, Chính phủ ban hành Quyết định số 1077/QĐ-TTg, ngày 7/7/2014 ban hành Quy trình vận hành chống lũ và vận hành cấp nước mùa kiệt 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 (“Quy trình 1077”).

Hạn chế về VHHTHC hiện nay ở sông Ba được nhận thấy như sau: (i) Điều hành dựa trên các biểu đồ điều phối hiện tại được lập kể từ khi thiết kế và không được cập nhật thường xuyên, vận hành vẫn là ”tĩnh”, trong khi tài liệu thủy văn đến biến động ngẫu nhiên, cấu trúc hệ thống cũng như nhu cầu nước thay đổi. Quy trình 1077 chỉ quy định lưu lượng tối thiểu hạ lưu tại An Khê và Đồng Cam và mực nước hồ tối thiểu để đảm bảo yêu cầu đó trong mùa cạn. Hiện chưa có chỉ dẫn vận hành hiệu quả như thế nào; (ii) Hiện nay vẫn có khoảng trống giữa ứng dụng lời giải lý thuyết từ các mô hình tối ưu trong VHHTHC đến áp dụng thực tế điều hành hồ chứa. Việc giải quyết mô hình tối ưu cho HTHC là nhiều khó khăn do khối lượng tính toán lớn, dự báo thủy văn dài hạn có độ chính xác hạn chế. Do vậy, việc áp dụng tối ưu vào vận hành thực cần phải có cách tiếp cận phù hợp.

Nghiên cứu này đi xác lập bài toán, cơ sở khoa học và phương pháp giải quyết áp dụng cho HTHC trên sông Ba.

¹ Khoa Năng lượng, Đại học Thủy lợi.



Hình 1. Sơ đồ cắt dọc HTHC trên sông Ba

2. PHƯƠNG PHÁP GIẢI BÀI TOÁN

Sự phức tạp của HTHC và tính ngẫu nhiên là hai thách thức cho VHHTHC nên không có thuật toán hay mô hình đơn lẻ nào là tổng quát giải quyết toàn diện cho bài toán VHHTHC. Do đó, tác giả đề xuất phương pháp giải quyết bài toán VHHTHC theo hướng kết hợp các mô hình: (i) mô phỏng sử dụng HEC-ResSim, (ii) tối ưu sử dụng mô hình Quy hoạch động (DP); và (iii) trí tuệ nhân tạo sử dụng mạng nơ-ron (ANN). Kết quả của mô hình trước tạo dữ liệu đầu vào cho mô hình sau, liên kết truy xuất trên MS-Excel. Đây là cách tiếp cận "thích ứng" và "cận tối ưu" trong vận hành kết hợp giữa lời giải tối ưu dựa trên tài liệu trong quá khứ và ANN, trợ giúp điều khiển quỹ đạo mực nước hồ tiệm cận với quỹ đạo tối ưu.

3. ÁP DỤNG MÔ HÌNH VÀO VHHTHC SÔNG BA

3.1. Mô hình HEC-ResSim

Phần mềm HEC-ResSim được phát triển bởi từ năm 1996 đến nay đã nâng cấp nhiều phiên bản cải tiến hơn nhằm mô phỏng cho HTHC đa mục tiêu. Chương trình cho phép tạo ra những phương án vận hành khác nhau. Một phương án

bao gồm một tập hợp mạng lưới hồ chứa, một bộ quy tắc vận hành được thiết lập cho từng hồ chứa trong hệ thống.

Thông số 06 hồ chứa thủy lợi - thủy điện lớn xem Bảng 1. Ngoài phát điện, các nhu cầu nước khác trên lưu vực còn có nước tưới cho nông nghiệp và nước cho sinh hoạt và công nghiệp. Trong Quy trình 1077 có quy định 02 vị trí dòng chảy tối thiểu cho cấp nước hạ lưu trong mùa cạn (từ cuối tháng XII đến cuối tháng VIII) trên lưu vực gồm có: (1) sau đập An Khê: cụm công trình An Khê – Ka Nak ngoài đảm bảo nhu cầu tưới và yêu cầu khác ở hạ lưu đập An Khê thì phần lớn lưu lượng phát điện được chuyển sang bổ sung cho lưu vực sông Kôn thuộc tỉnh Bình Định; (2) trước đập dâng Đồng Cam: lưu lượng đến từ HTHC phía trên cần đảm bảo cung cấp nước tưới thiết kế cho diện tích 19800 ha.

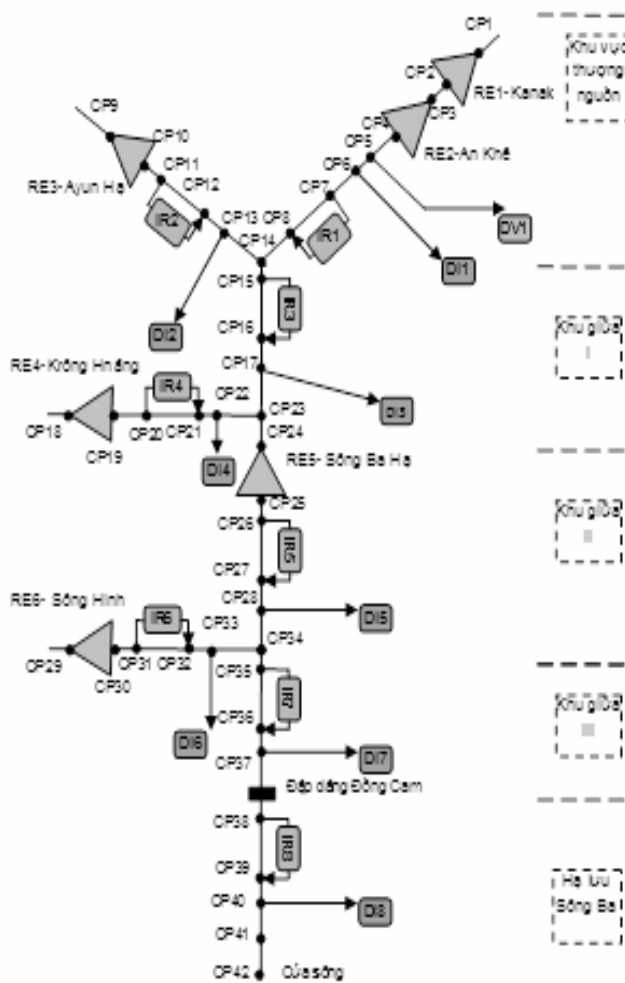
Sơ đồ HTHC và các yêu cầu dùng nước được đưa vào mô hình HEC-ResSim để mô phỏng như Hình 2. Chuỗi số liệu khí tượng, thủy văn và dòng chảy đến các hồ từ 1977-2005 được sử dụng cho tính toán mô hình hệ thống. Các thông số khác của HTHC, mực nước hồ và yêu cầu tối thiểu hạ lưu lấy theo Quy trình 1077.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật chính của hồ chứa thủy điện.

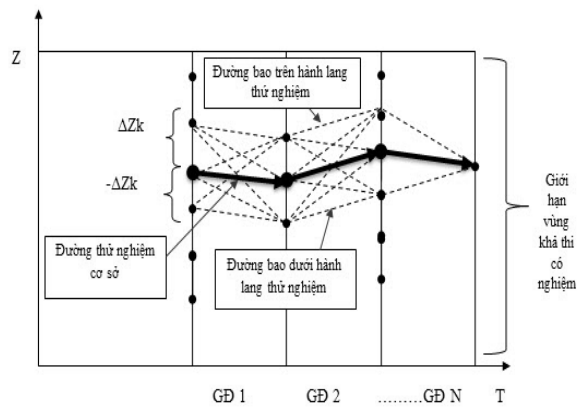
STT	Thông số	Đơn vị	Ka Nak	An Khê	Ayun Hạ	Krông H'Năng	Sông Ba Hạ	Sông Hinh
I Hồ chứa								
1	MNDBT	m	515	429	204	255	105	209
2	MNC	m	485	427	195	242,50	101	196
3	Dung tích hữu ích (Whi)	106 m ³	285,5	5,6	201	108,5	165,9	323
II Nhà máy thủy điện								
1	Công suất lắp máy	MW	13,0	160	3,0	64,0	220	70,0
2	Q lớn nhất	m ³ /s	42,0	50,0	23,4	68,0	393	57,3
3	Loại tua bin		Kaplan	Francis	Francis	Francis	Francis	Francis

Các phương án VHHTHC nêu ở Bảng 2. HEC-ResSim tạo ra bộ số liệu thông số hệ thống chuẩn (các điều kiện biên như lưu lượng đến hồ, lưu lượng khu giữa, tổn thất nước trên các hồ chứa và khu tưới). Kết quả

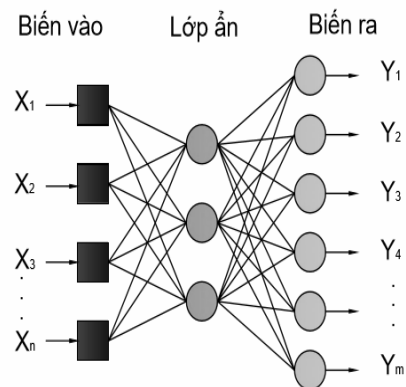
chuỗi mực nước hồ chứa đầu ra của mô hình HEC-ResSim là vùng khả nghiệm (Hình 5) phục vụ cho việc xác định chọn lựa phạm vi biến đổi mực nước hồ chứa ban đầu cho bài toán tối ưu DP.



Hình 2. Sơ đồ tính toán HTHC theo HEC-ResSim



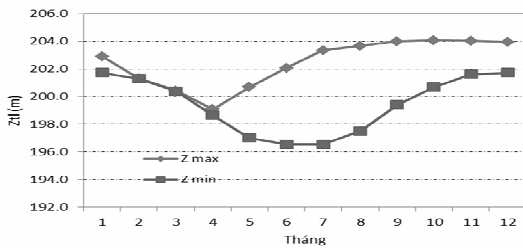
Hình 3. Lưới chia các giai đoạn và trạng thái của thuật giải DDDP



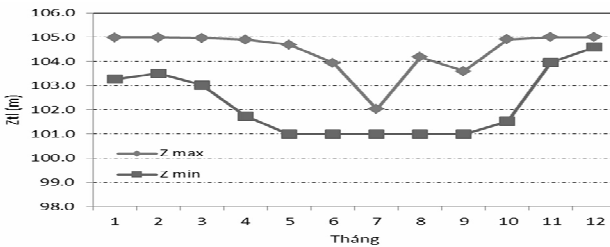
Hình 4. Cấu trúc mạng ANN

Bảng 2. Các phương án vận hành HTHC.

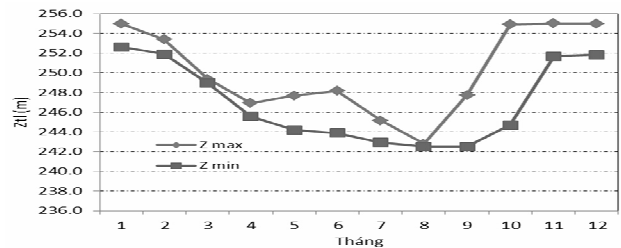
Ký hiệu Phương án	Mô tả quy tắc vận hành
VH 1	Đưa vào biểu đồ điều phối chỉ có qui tắc điều hành hồ chứa để phát điện (Npd).
VH 2	Đưa vào biểu đồ điều phối và có thêm các qui tắc vận hành với thứ tự ưu tiên: sinh hoạt – phát điện – tưới (Qsh – Npd – Q tưới)
VH 3	Đưa vào biểu đồ điều phối và có thêm các qui tắc vận hành với thứ tự ưu tiên: sinh hoạt – tưới - phát điện (Qsh - Q tưới – Npd)



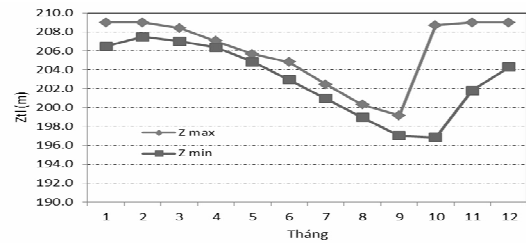
(a) Ayun Hạ



(c) Sông Ba Hạ



(b) Krông H'nh



(d) Sông Hinh

Hình 5. Phạm vi biến đổi mực nước các hồ chứa (Phương án VH2)

3.2. Mô hình tối ưu DP

3.2.1. Bài toán DP

Hàm mục tiêu: Vậy hàm mục tiêu của HTHC theo tiêu chuẩn điện lượng tổng cộng HTHC lớn nhất được chọn (với mỗi bước thời đoạn không đổi $\Delta T = 01$ tháng) sẽ là:

$$\sum E_{t+1}^*(V_{t+1}) = \text{Max}_{Q_t} \{ \sum E_t^*(V_t) + E_t(V_t, Q_t) \} \quad (1)$$

Trong đó E_{t+1}^* sẽ là điện lượng lớn nhất lũy tích của chuỗi giá trị tại trạng thái V tương ứng tính đến thời điểm $t+1$. Đối với hệ thống hồ chứa thì V_t và Q_t phải hiểu là tập hợp các biến trạng thái $V(i,j)$ và biến quyết định $Q(i,j)$; $i=1$ đến N là số thời đoạn; $j=1$ đến M là số hồ.

Điện lượng thành phần của hồ i , phát trong thời đoạn j được tính bằng công thức:

$$E_{(i,j)} = 9,81 \cdot \eta_{(i,j)} \cdot Q_{pd(i,j)} \cdot H_{(i,j)} \cdot \Delta T \quad (2)$$

trong đó: E_t : điện lượng phát trong thời đoạn ΔT ; η là hiệu suất nhà máy; Q_{pd} và H lần lượt là lưu lượng và cột nước phát điện sau khi đã trừ

tổn thất; η , Q , H phụ thuộc vào đặc tính tua bin và $\eta = f(Q, H)$.

Hàm chuyển trạng thái:

$$V_{i,j+1} = V_{i,j} + (C_{(i,j)} \cdot Q_{d(i,j)} + Q_{kg(i,j)} - Q_{ut(i,j)} - Q_{yc(i,j)} - Q_{pd(i,j)}) \cdot \Delta T \quad (3)$$

Trong đó: $V_{i,j}$: dung tích hồ đầu thời đoạn; $V_{i+1,j}$: dung tích hồ cuối thời đoạn; C : ma trận thể hiện sự kết nối dòng chảy trong hệ thống thể hiện độ trễ và chứa nước của dòng chảy trong hệ thống. Với lưu vực nhỏ và thời đoạn tính toán là tháng thì $C = 1$ (tức là không có trễ); Q_d : lưu lượng thiên nhiên đến hoặc từ hồ chứa thượng lưu; Q_{kg} : dòng chảy khu giữa; Q_{ut} : tổn thất (xả, bốc hơi, thấm và các tổn thất khác); Q_{yc} : lưu lượng chuyển ra từ hồ do yêu cầu dùng nước thượng lưu; Q_{pd} : lưu lượng phát điện.

Các ràng buộc (với $t = 1, \dots, T$):

$$V_{min(i,j)} \leq V_{(i,j)} \leq V_{max(i,j)} \quad (4)$$

$$Q_{pdmin(i,j)} \leq Q_{pd(i,j)} \leq Q_{pdmax(i,j)} \quad (5)$$

$$N_{min(i,j)} \leq N_{(i,j)} \leq N_{max(i,j)} \quad (6)$$

Trong đó: V_{\min} và V_{\max} : dung tích (hoặc không chế qua mực nước) nhỏ nhất và lớn nhất cho phép; Q_{\min} và Q_{\max} : lưu lượng nhỏ nhất và lớn nhất cho phép qua tua bin; N_{\min} và N_{\max} : công suất nhỏ nhất và lớn nhất (khả dụng) cho phép lấy từ đặc tính thiết bị (hoặc theo yêu cầu hệ thống điện).

3.2.2. Thuật toán giải bài toán DP:

Trong nghiên cứu này sử dụng thuật toán DP vi phân rời rạc (Discrete Differential DP - DDDP) (Labadie, 2004). Phương pháp DDDP có điểm nổi trội của DDDP đó là việc giảm đáng kể khối lượng tính toán và tăng độ hội tụ, tăng độ chính xác là do: (i) định trước hành lang ban đầu từ mô hình mô phỏng như HEC-ResSim (Hình 3); (ii) Việc chia lưới thưa trước và khoảng chia chỉ giảm nhỏ đi sang lần lặp kế tiếp khi mà hàm mục tiêu được cải thiện tốt hơn. Mô hình DP sử dụng thuật toán DDDP được tác giả thực hiện trên lập trình ngôn ngữ Visual Basic for Applications (VBA).

3.2.3. Kết quả từ mô hình DP

Do nước sau cụm An Khê – Ka Nak chủ yếu chuyển sang lưu vực sông Kôn nên được tách tính riêng. Chương trình DP được áp dụng cho 04 hồ còn lại là: Ayun Hạ - Krông H'nh - sông Ba Hạ - sông Hinh. Kết quả chương trình sẽ đưa ra kết quả là giá trị hàm mục tiêu, chuỗi trị số trung bình tháng các thông số tối ưu của hệ thống như lưu lượng đến, mực nước hồ chứa, lưu lượng qua nhà máy và công trình xả, công suất và điện lượng trung bình thời đoạn tại tất cả các thành phần HTHC và các nút tính toán của hệ thống.

3.3. Mô hình ANN

Mô hình nơ-ron nhân tạo (artificial neural network - ANN) là mô hình toán có khả năng mô tả cho quá trình phi tuyến động phức tạp, liên kết giữa các biến vào và biến ra. Mô hình

ANN sử dụng thuật toán lan truyền ngược (Back Propagation-BP) để giải.

Cấu trúc mạng ANN được chọn như sau:

$$V_{c,t} = f(V_{d,t}; Q_{tn,t}; V_{d,t-1}; Q_{tn,t-1}; Q_{hl,t-1}; V_{d,t-2}; Q_{tn,t-2}; Q_{hl,t-2} \dots)$$

Trong đó: $V_{c,t}$: dung tích hồ cuối thời đoạn; $V_{d,t}$: dung tích hồ đầu thời đoạn; $Q_{tn,t}$: lượng đến hồ trong thời đoạn; $V_{d,t-i}$; $Q_{tn,t-i}$; $Q_{hl,t-i}$: Dung tích, lượng nước đến, lượng xuống hạ lưu (phát điện) của các thời đoạn ngay trước thời đoạn đang xét. Như vậy tùy vào $i=0, 1, 2, 3$ mà ta có các mạng: ANN-0; ANN-1; ANN-2; ANN-3 tương ứng xét các thời đoạn liên quan đến quyết định các thời đoạn trước đây.

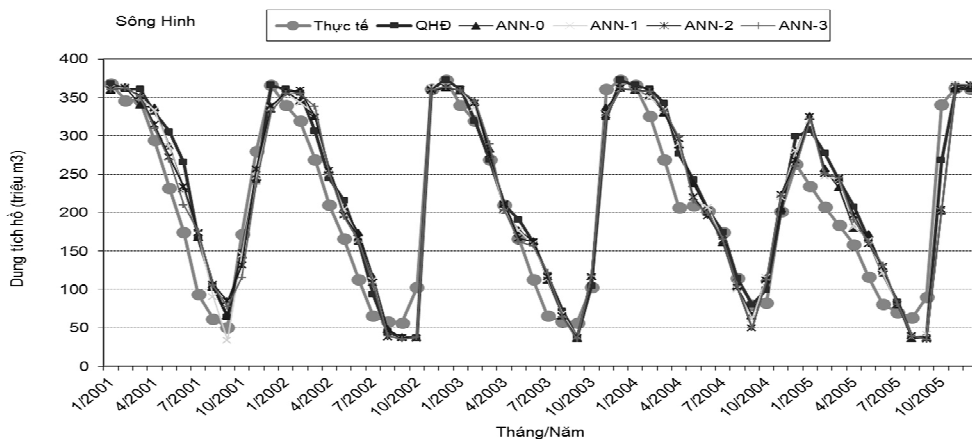
Quá trình luyện (training hay learning) được thực hiện bằng mô-đun Neuro Solutions trong MS-Excel với các lựa chọn về số lần lặp, số lớp ẩn, thuật toán cực tiểu sai số. Chuỗi kết quả từ DP trung bình tháng từ 1977-2000 sử dụng để luyện ANN. Tiếp đó, kiểm định mạng (certification) ANN đã xác lập bằng chuỗi kết quả từ DP trung bình tháng từ 2001-2005. Chỉ tiêu đánh giá ANN so với DP là: (1) hệ số tương quan; (2) R^2 ; (3) sai số so với hàm mục tiêu ở đây là tối đa điện lượng.

Lời giải của mô hình được áp dụng thử nghiệm cho hồ chứa sông Hinh, so sánh giữa kết quả quỹ đạo mực nước hồ cuối thời đoạn của: (1) Vận hành thực tế từ nhà máy thu thập được; (2) Mô hình tối ưu; (3) Kết hợp giữa ANN-DP. Kết quả cho thấy việc chọn mạng ANN điều hành thực tế sẽ cho kết quả khá sát với DP (Hệ số tương quan $> 0,99$ và $R^2 > 0,97$). Chênh giữa điện năng năm giữa ANN và DP chỉ là 0,2% và điện năng của ANN sẽ cao hơn số liệu vận hành thực tế là 2,3%. Như vậy, kết quả từ ANN-DP sẽ là gần tối ưu, hiệu quả vận hành được nâng cao hơn khi theo biểu đồ điều phối truyền thống (xem Bảng 3 và Hình 6).

Bảng 3. So sánh giá trị hàm mục tiêu - điện năng trung bình năm giữa:

(i) Vận hành thực tế; (ii) DP; (iii) ANN-DP (đ.vị: triệu kWh)

Mô hình	Thời đoạn	Thực tế	DP	ANN-0	ANN-1	ANN-2	ANN-3
Luyện ANN	1977-2000	-	380.1	378.3	379.3	379.1	379.3
Kiểm định ANN	2001-2005	369.5	380.7	378.1	377.8	378.1	377.9



Hình 6. So sánh dung tích hồ sông Hình khi kiểm định ANN (2001-2005)

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xác lập được các cơ sở khoa học để tìm ra chế độ vận hành cận tối ưu, nâng cao hiệu quả vận hành hệ thống hồ chứa thủy điện có xét đến ràng buộc lợi dụng tổng hợp bằng việc kết hợp giữa các mô hình: (i) Mô phỏng; (ii) Tối ưu sử dụng thuật toán Quy hoạch động (Dynamic Programming - DP); và (iii) Trí tuệ nhân tạo sử dụng thuật toán mạng nơ-ron nhân

tạo (ANN), nhằm đạt hiệu quả vận hành phát điện tốt nhất trong bối cảnh nguồn nước và nhu cầu dùng nước liên tục biến đổi ngẫu nhiên. Kết quả áp dụng mô hình đề xuất này cho HTHC trên sông Ba cho thấy hiệu quả vận hành được nâng cao hơn theo phương thức sử dụng biểu đồ điều phối hiện có. Nghiên cứu tạo ra tiền đề có thể áp dụng phương pháp đó để giải quyết vấn đề tương tự của các HTHC khác ở nước ta.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Công ty CP Tư vấn Xây dựng Điện 1 (2002), *Quy hoạch thủy điện trên sông Ba*.

Thủ tướng Chính phủ (2014). Quyết định 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 Hình, Krông H'Năng, Ayun Hạ và An Khê - Ka Nak".

Labadie J.W (2004), *Optimal Operation of Multi-reservoir Systems: State-of-the-Art Review*, Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 130 (2), pp. 93-11.

Abstract:

STUDY FOR INTEGRATION OF SIMULATION – OPTIMIZATION – ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO IMPROVE OPERATIONAL PERFORMANCE OF RESERVOIR SYSTEM IN BA RIVER IN DRY SEASON

This study sets up methodology and resolves the problem to improve hydropower generation of reservoir system. Methodology to resolve the problem is an integration of mathematical models: (i) simulation using HEC-ResSim; (ii) optimization using Dynamic Programming (DP) with Discrete Differential DP algorithm programmed by author; and (iii) Artificial Neural Networks (ANN). The methodology is applied to Ba river reservoir system consisting 06 reservoirs, and the objective is to maximize power generation and to satisfy minimum downstream requirement stipulated in scheduling inter-connected reservoirs. Testing result for Song Hình reservoir operation shows that ANN has output very close to DP and achieves about 2% power generation higher than actual operation.

Keywords: operation of reservoir system; HEC-ResSim; Dynamic Programming; Artificial Neural Networks; Ba river.

Ngày nhận bài: 28/9/2017

Ngày chấp nhận đăng: 02/11/2017