

XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHÒNG LŨ VÀ TÍNH TOÁN TỐI ƯU XẢ LŨ CHO HỆ THỐNG HỒ CHỨA Ở VÙNG SÔNG KHÔNG ẢNH HƯỞNG TRIỀU

Nguyễn Xuân Tiên¹, Lê Hữu Huân¹, Phan Thị Toàn¹, Nguyễn Văn Linh²

Tóm tắt: Ngày càng có nhiều hồ chứa được xây dựng và đưa vào vận hành trên các lưu vực sông ở khu vực Bắc Trung Bộ, yêu cầu cấp thiết đặt ra cần phải xây dựng công cụ tính toán tối ưu quá trình xả lũ cho hệ thống hồ chứa đảm bảo an toàn và cắt giảm lũ cho hạ du. Trên cơ sở phương pháp đường lũ đơn vị dạng tam giác, phương pháp diễn toán Muskingum và thuật toán tối ưu, một mô hình mô phỏng lũ đã xây dựng bằng ngôn ngữ lập trình Delphi nhằm đáp ứng các yêu cầu trên và đặt tên là thủy lực. Nhóm nghiên cứu đã chọn lưu vực sông Cả để tính toán thử nghiệm mô hình thủy lực mô phỏng lũ hệ thống sông, xác định bộ thông số của mô hình, tính toán tối ưu xả lũ của hệ thống gồm 03 hồ chứa (Bản Vẽ, Bản Mông và Thác Muối) với 03 điểm khống chế trên hệ thống sông (Nghĩa Khánh, Dừa và Yên Thượng). Kết quả thử nghiệm cho thấy mô hình thủy lực đã tính toán tốt quá trình lũ và xả lũ tại các điểm nghiên cứu. Đây là một công cụ hữu ích trong việc ra quyết định vận hành hệ thống hồ chứa trên các lưu vực sông ở vùng không ảnh hưởng thủy triều.

Từ khóa: Tối ưu xả lũ, sông Cả.

Ban Biên tập nhận bài: 05/01/2018 Ngày phản biện xong: 12/2/2018 Ngày đăng bài 25/03/2018

1. Đặt vấn đề

Vận hành tối ưu hồ chứa đã được nghiên cứu nhiều ở ngoài nước và trong nước. Một số công trình nghiên cứu được liệt kê sau: Trần Hồng Thái (2004) đã nghiên cứu phương pháp số hóa để mô phỏng, ước lượng thông số và điều khiển tối ưu hệ thống sông Hồng [4]; Long và cs (2007) đã nghiên cứu kết hợp mô hình mô phỏng và mô hình tối ưu để vận hành hồ Hòa Bình giải quyết xung đột chính giữa phòng lũ và phát điện ở giai đoạn cuối mùa lũ và đầu mùa kiệt. Tác giả đã sử dụng phần mềm MIKE 11 để mô phỏng hệ thống sông và hồ chứa kết hợp với các thuật toán tối ưu SCE (*Shuffled complex evolution*) để tìm ra quỹ đạo tối ưu (*pareto*) khi xem xét cả hai ưu tiên giữa phòng lũ và phát điện [3]; Wei và Hsu (2009) nghiên cứu áp dụng vận hành tối ưu với các quy tắc nhánh cây (*treebased rules*) cho hệ

¹Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Bắc Trung Bộ

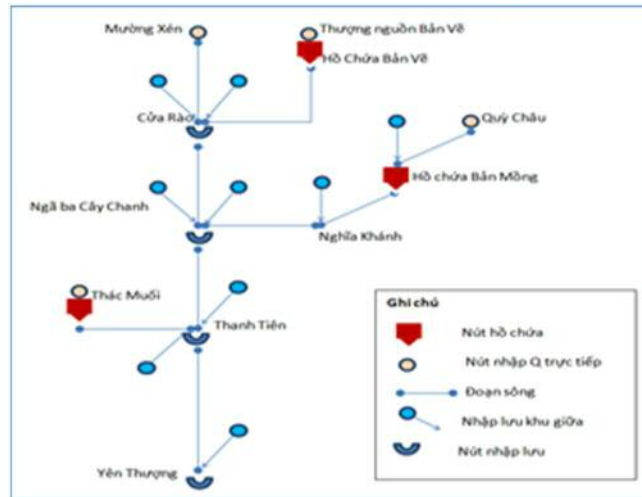
²Khoa Thủy văn và Tài nguyên nước - Đại học Thủy lợi

Email: tien1967@gmail.com

thống hồ chứa đa mục tiêu phòng lũ với thời gian thực bằng việc tích hợp vào hệ thống mô hình dự báo thủy văn. Phương pháp này đã được áp dụng cho hệ thống hồ chứa trên sông Tanshui ở Đài loan [7]; Lê Xuân Cầu (2014), nghiên cứu biểu đồ điều phối tối ưu đa mục tiêu hệ thống liên hồ chứa trên cơ sở ứng dụng mô hình liên hồ chứa và thuật toán gen - Áp dụng cho hệ thống hồ chứa trên sông Cả [2]. Các nghiên cứu đã đưa ra các cơ sở khoa học trong việc vận hành tối ưu hồ chứa, mặc dù vậy chưa có một công cụ thuận tiện, dễ sử dụng cho công tác dự báo tác nghiệp hằng ngày. Tác giả đã xây dựng một mô hình mô phỏng lũ bằng ngôn ngữ lập trình Delphi (tên gọi là TL) để giải quyết các nội dung chính sau: tính toán dòng chảy từ mưa dựa trên phương pháp đường lũ đơn vị dạng tam giác; tính toán diễn toán lũ trong sông theo phương pháp Muskingum; tính toán điều tiết lũ hồ chứa; tính toán tối ưu bộ thông số của mô hình, tính toán tối ưu lưu lượng xả tại các hồ chứa theo phương pháp độ dốc (*Gradient*). Tác giả đã tính

toán thử nghiệm cho lưu vực sông Cả tại Yên Thượng, gồm hệ thống 03 hồ chứa (Bản Vẽ, Bản Mòng và Thác Muối) với 03 điểm không chế

trên hệ thống sông (Nghĩa Khánh, Dừa và Yên Thượng) và cho kết quả khá tốt.



Hình 1. Minh họa sơ đồ tính toán mô hình TL

2. Cơ sở khoa học xây dựng mô hình TL

Bài toán đặt ra cho hệ thống gồm nhiều sông, suối và hồ chứa là điều hành quá trình xả lũ tại các hồ chứa như thế nào để đảm bảo an toàn cho các hồ chứa và cắt lũ tối đa cho hạ lưu. Điểm không chế điều khiển là một số trạm thủy văn ở hạ lưu.

Mô hình TL được xây dựng dựa trên phương pháp đường lũ đơn vị dạng tam giác để tính toán dòng chảy từ thượng phương pháp diễn toán MUSKINGUM để diễn toán dòng chảy lũ trong sông [6].

Hệ thống hồ chứa: Phương trình cân bằng nước tại mỗi hồ chứa có dạng:

$$\Delta W = Q(t) - u(t) \quad (1)$$

Trong đó ΔW là lượng trữ tại hồ chứa; $Q(t)$ là lưu lượng nước đến hồ; $u(t)$ là lưu lượng ra khỏi hồ chứa (để phát điện, xả lũ qua các cửa xả).

Hàm điều khiển: Gọi θ_i là độ mở của tuốc bin thứ i hoặc cửa xả thứ i ; u_i là lưu lượng xả lớn nhất tại tuốc bin thứ i hoặc cửa xả thứ i . Khi đó tổng lưu lượng xả tại mỗi hồ chứa được viết như sau:

$$u(t) = \sum_{i \in I_m} \theta_i(t) u_i \quad (2)$$

Trong đó I_m là chỉ số tuốc bin hoặc cửa xả. Hàm điều khiển có ràng buộc sau: $0 \leq u(t) \leq u_{\max}$

trong đó $u_{\max}$ là tổng lưu lượng xả lớn nhất tại mỗi hồ chứa. Trị số $u_{\max}$ phụ thuộc vào lưu lượng phát điện tối đa, mực nước hồ, quy mô công trình xả.

Hàm mục tiêu: Mục tiêu tối ưu thỏa mãn các điều kiện sau:

- Giá trị mực nước trung bình tại các điểm không chế nhỏ nhất:

$$M_1 = \text{Min} \sum_{i=1}^N \left(\int_{t_0}^{t_f} H(x(t)) dt \right) \quad (3)$$

- Mực nước lớn nhất tại các điểm không chế đạt giá trị nhỏ nhất:

$$M_2 = \text{Min} \sum_{i=1}^N \text{Max} H(x(t)) \quad (4)$$

- Mực nước tại các hồ chứa tại cuối thời đoạn $t=t_f$ đạt giá trị min:

$$M_3 = \text{Min} \sum_{i=1}^N Z_{t_f} \quad (5)$$

- Hoạt động tại các hồ chứa nhỏ nhất:

$$M_4 = \text{Min} \sum_{i=1}^N \int_{t_0}^{t_f} (u(t) - Q(t)) dt$$

Hàm mục tiêu được viết thành:

$$MT = \alpha_1 M_1 + \alpha_2 M_2 + \alpha_3 M_3 + \alpha_4 M_4$$

Trong đó $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ là các trọng số.

Quá trình xả lũ tại các hồ chứa được tính toán theo phương pháp độ dốc [1].

3. Áp dụng thử nghiệm cho hệ thống sông Cả

3.1. Hệ thống sông Cả

Lưu vực hệ thống sông Cả tính đến trạm thủy văn Yên Thượng có diện tích khống chế là 23.000 km². Sông Cả phát nguyên từ tỉnh Xiêng Khoảng thuộc nước Cộng hòa dân chủ nhân dân Lào, vị trí nguồn sông Cả 103°15'20" kinh độ Đông và 20°10'30" vĩ độ Bắc. Sông chảy theo hướng chủ yếu Tây bắc - Đông nam qua tỉnh Nghệ An rồi đổ ra biển Đông tại Cửa Hội. Sơ đồ tính toán của hệ thống được trình bày tại hình 1.



Hình 2. Bản đồ mạng lưới trạm sông Cả

Bảng 1. Diện tích khống chế tại một số nút tính toán

TT	Nút	Sông	F (km ²)
1	Cửa Rào	Cả	12.800
2	Dừa	-	20.800
3	Yên Thượng	-	23.000
4	Mường Xén	Nậm Mỏ	2.620
5	Hồ chứa Bản Vẽ	Nậm Non	8.760
6	Quỳ Châu	Hiếu	2.100
7	Hồ chứa Bản Mòng	-	2.785
8	Nghiã Khánh	-	4.200
9	Hồ chứa Thác Muối	Giăng	813

3.2 Tính toán dò tìm thông số và kiểm định mô hình

a) Danh sách các trạm KTTV đưa vào tính toán được lập tại bảng 2.

Bảng 2. Danh sách các trạm KTTV đưa vào tính toán

STT	Tên trạm	Địa danh	Sông	Vĩ độ	Kinh độ	Các yếu tố quan trắc
I Trạm Khí Tượng:						
1	Tương Dương	TT Hòa Bình, Tương Dương	Cả	19°17'	104°26'	R, T, Bh
2	Con Cuông	TT Con Cuông, Con Cuông	Cả	19°03'	104°53'	R, T, Bh
3	Đô Lương	TT Đô Lương, Đô Lương	Cả	18°54'	105°18'	R, T, Bh
4	Quỳ Châu	TT Quỳ Châu, Quỳ Châu	Hiếu	19°34'	105°07'	R, T, Bh
5	Quỳ Hợp	TT Quỳ Hợp, Quỳ Hợp	Hiếu	19°19'	105°09'	R, T, Bh

STT	Tên trạm	Địa danh	Sông	Vĩ độ	Kinh độ	Các yếu tố quan trọng
II Trạm Thủy Văn						
1	Quý Châu	Châu Hội, Quý Châu	Hiếu	19°33'	105°08'	H, X, Q
2	Nghĩa Khánh	Nghĩa Khánh, Nghĩa Đàn	Hiếu	19°26'	105°20'	H, X, Q
3	Mường Xén	Tà Kạ, Kỳ Sơn	Nậm Mộ	19°24'	104°07'	H, X, Q
4	Thạch Giám	Thạch Giám, Tương Dương	Cả	19°17'	104°20'	H,X
5	Con Cuông	Chi Khê, Con Cuông	Cả	19°04'	104°51'	H,X
6	Dừa	Tường Sơn, Anh Sơn	Cả	18°59'	105°02'	H, X, Q
7	Đô Lương	Đô Lương	Cả	18°54'	105°17'	H,X
8	Yên Thượng	Thanh Yên, Thanh Chương	Cả	18°41'	105°23'	H, X, Q

b) *Hiệu chỉnh, kiểm định và thử nghiệm mô hình TL*

Lựa chọn các trận lũ sau để hiệu chỉnh, kiểm định và thử nghiệm mô hình:

- Trận lũ hiệu chỉnh: Từ 07/10-25/10/2010
- Trận lũ kiểm định: Từ 21/09 - 09/10/2013
- Trận lũ thử nghiệm: Từ 04/10 - 20/10/2017

Đây là các trận lũ lớn xảy ra trên hệ thống sông Cả, có đầy đủ dữ liệu KTTV để tính toán hiệu chỉnh, kiểm định và thử nghiệm. Để dò tìm bộ thông số của mô hình chúng tôi thiết lập sơ đồ tính toán như sau: nút nhập lưu lượng trực tiếp gồm: trạm TV (thủy văn) Cửa Rào, Quý Châu và Thác Muối; 12 lưu vực bộ phận; 12 đoạn sông.

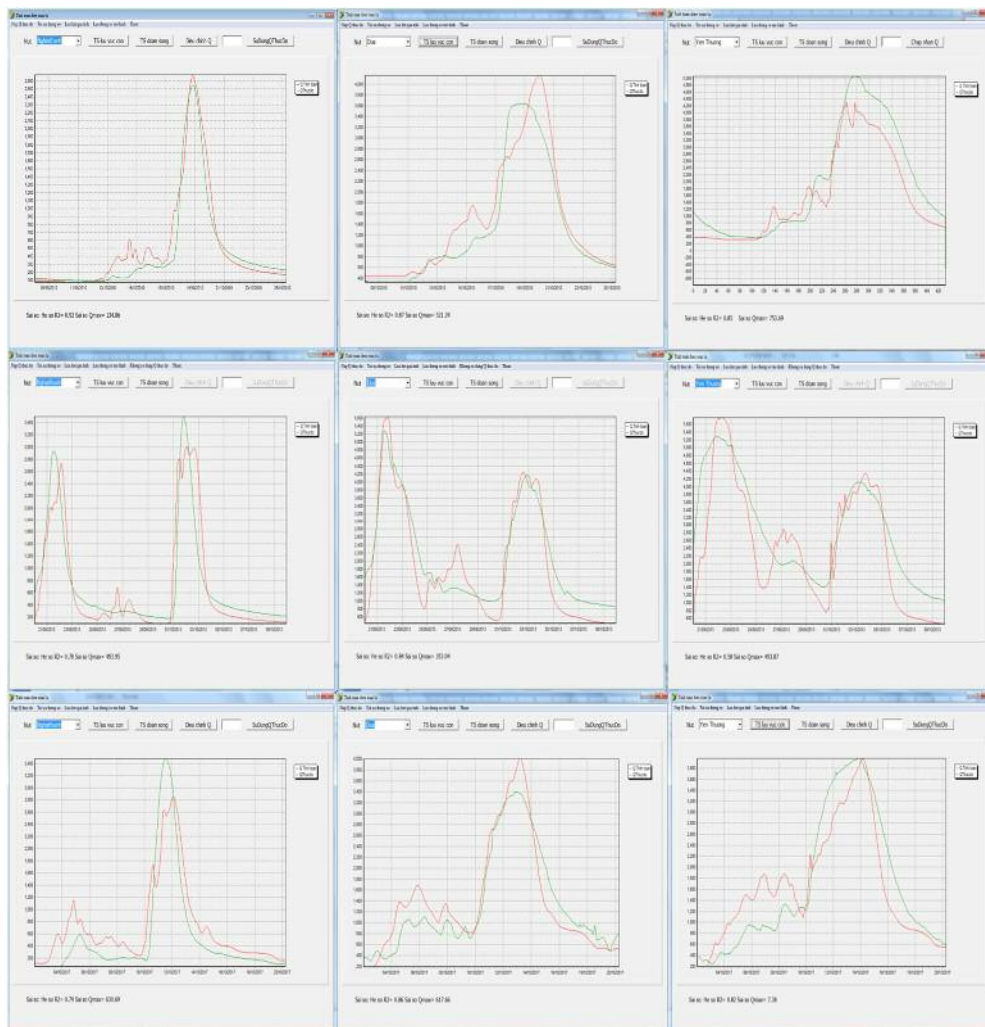
Bảng 3. Kết quả sai số hiệu chỉnh, kiểm định và thử nghiệm mô hình TL

Trạm	Hiệu chỉnh	Kiểm định	Thử nghiệm
Nghĩa Khánh	0.92	0.78	0.79
Dừa	0.87	0.84	0.86
Yên Thượng	0.85	0.58	0.82

Bảng 4. Bộ thông số mô hình TL lưu vực sông Cả

TT	Tên lưu vực Bộ phận	F (km ²)	Tlag (h)	α	$\Delta t(h)$	Tên đoạn sông	K	X	Số đoạn sông
1	MX-CRao	1136	14.5	0.33	0.5	MX-CRao	1.8	0.25	8
2	Bve-HLSNN	167	3.7	0.40	0.5	BVe-CRao	0.8	0.25	7
3	HuoiNguyen	889	7.2	0.40	0.5	CRao-CuaLap	1.03	0.25	5
4	Cualap	302	2.3	0.41	0.5	CLap-HN Nguyen	1.77	0.25	7
5	Crao-KheBo	308	2.4	0.35	0.5	HN Nguyen-KBo	1.8	0.25	9
6	NamSan	312	2.7	0.45	0.5	Kbo-NamSon	1.71	0.25	4
7	KheChoang	434	6.0	0.42	0.5	NSon-KChoang	1.65	0.25	5
8	Kbo-CCuong	418	5.8	0.43	0.5	KChoang-CC	1.72	0.25	8
9	CC-Nga3CC	196	4.0	0.35	0.5	CC-Nga3CC	1.73	0.25	6
10	QC-BMong	888	11.8	0.45	0.5	QChau-BMong	1.85	0.25	1
11	SongDinh	817	6.14	0.45	0.5	BM-SongDinh	1.2	0.25	4

TT	Tên lưu vực Bộ phận	F (km ²)	Tlag (h)	α	$\Delta t(h)$	Tên đoạn sông	K	X	Số đoạn sông
12	SDinh-SSao	238	2.1	0.65	0.5	SongDinh -SSao	1.6	0.25	8
13	SS-NKhanh	394	2.29	0.65	0.5	SSao-NKhanh	1.78	0.25	5
14	Nkhanh-TKy	437	2.7	0.55	0.5	Nkhanh-TKy	1.8	0.25	3
15	TKy-Nga3CC	683	8.8	0.45	0.5	TKy-Nga3CC	1.72	0.25	11
16	Dua-DLuong	442	2.2	0.6	0.5	Dua-DLuong	1.6	0.25	5
17	ThacMuoi	813	10.9	0.46	0.5	Dluong-Giang	1.65	0.25	3
18	TM-Th.Tien	245	1.5	0.45	0.5	TM-Th.Tien	1.1	0.25	3
19	SongTrai	194	3.9	0.45	0.5	Giang-Trai	1.76	0.25	2
20	SongRo	129	1.1	0.50	0.5	Trai-Ro	1.8	0.25	2
21	DL-YT	189	1.47	0.45	0.5	Ro-YThuong	1.8	0.25	1



Hình 3. Đường quá trình tính toán và thực đo tại Nghĩa Khánh, Dừa và Yên Thương
Các trận lũ hiệu chỉnh, kiểm định và thử nghiệm

3.3 Tính toán tối ưu xả lũ

Hệ thống hồ chứa được đưa vào tính toán gồm: Bản Vẽ, Bản Mòng và Thác Muối; trận lũ được đưa vào tính toán từ 17/9 - 03/10/1978. Đây là trận lũ lịch sử xảy ra trên sông Cả và gây nhiều thiệt hại, đây cũng là trận lũ được chọn để xây dựng các phương án phòng chống lũ cho hệ

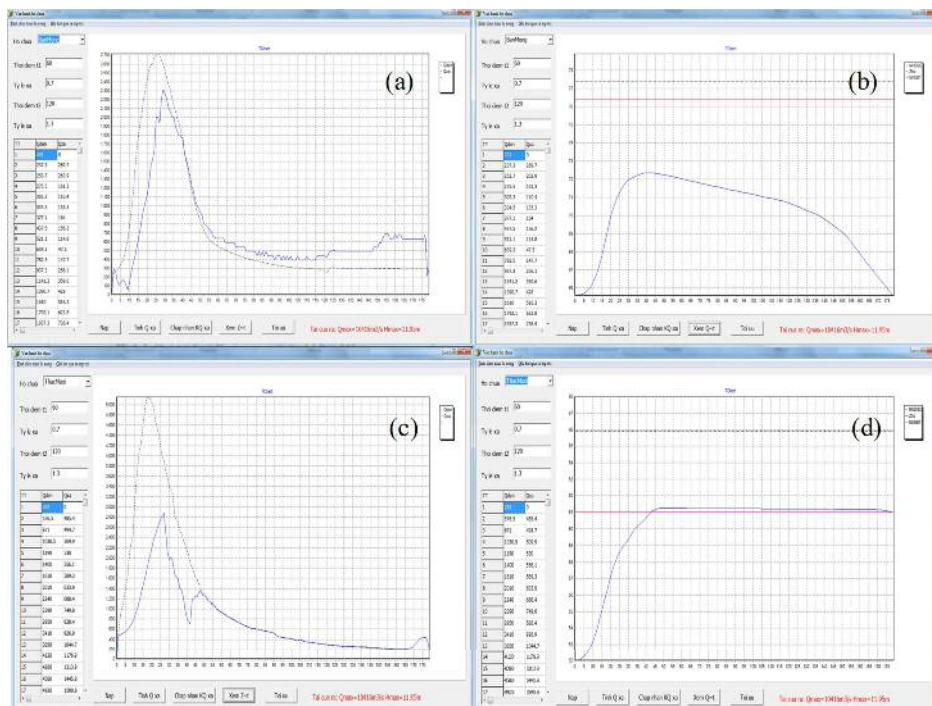
thống sông Cả.

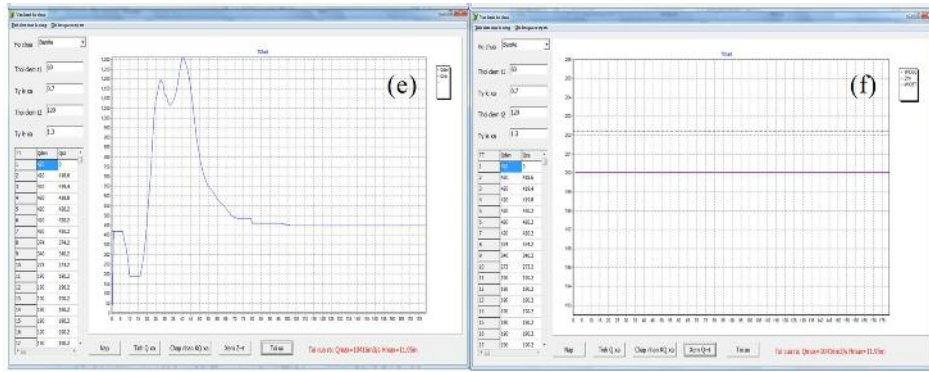
Để tính toán tối ưu xả lũ chúng tôi sử dụng sơ đồ tính toán đã thiết lập ở phần 3.2 và đưa thêm 03 nút hồ chứa, 01 nút nhập lưu lượng trực tiếp (trạm TV Mường Xén), 01 đoạn sông Mường Xén - Cửa Rào, 01 lưu vực khu giữa Mường Xén - Cửa Rào.

Bảng 5. Các hồ chứa thủy điện, thủy lợi trên hệ thống sông Cả đưa vào tính toán

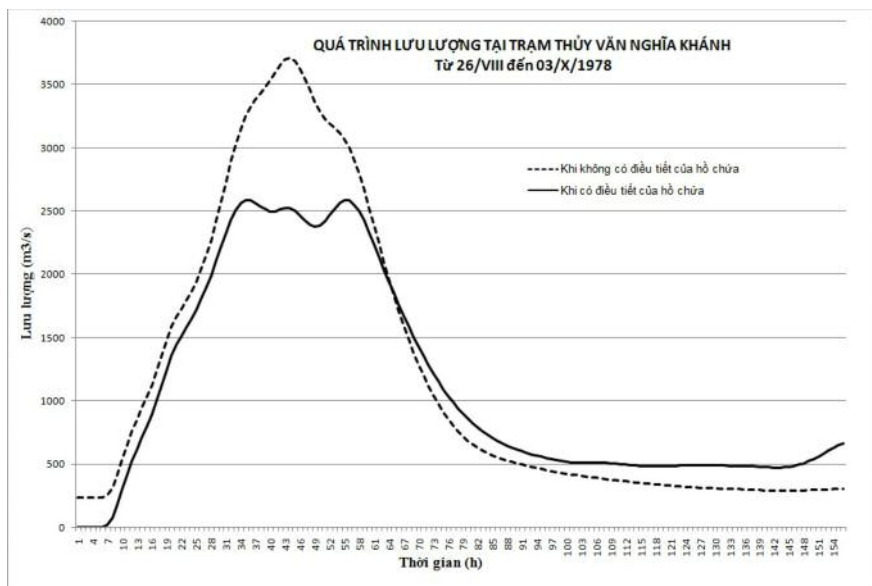
Thông số	Bản Vẽ	Bản Mòng	Thác Muối
Flv (km ²)	8.760	2.785	813
Ngưỡng tràn (m)	188.5	63.6	50.0
MN trước lũ (m)	200	65.6	52.0
MNDBT (m)	200	76.4	61.0
MNDGC (m)	203	77.37	62.8
$W_{\text{toàn bộ}}(10^6 \text{ m}^3)$	1.700	224.8	425.5
$W_{\text{hữu ích}}(10^6 \text{ m}^3)$	1.135	170.5	280.5
$W_C(10^6 \text{ m}^3)$	565	54.3	145
$W_{\text{Phòng Lũ}}(10^6 \text{ m}^3)$	300	-	245

Kết quả tính toán được thể hiện tại hình 4.

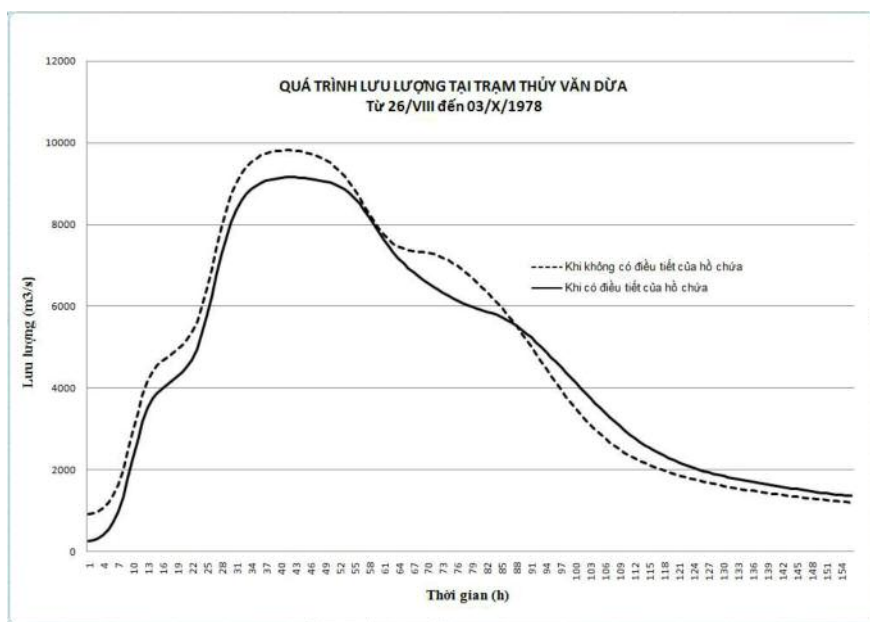




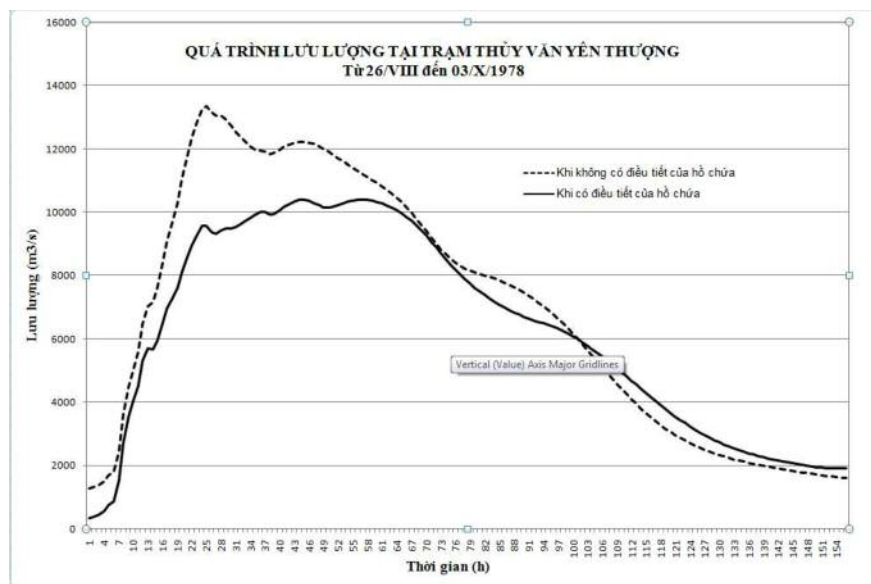
Hình 4. Quá trình xả lũ và mực nước tại hồ: (a, b) Bản Mông; (c, d) Thác Muối; (e, f) Bản Vẽ
Quá trình cắt lũ ở các điểm khống chế thể hiện tại hình 5 - 7.



Hình 5. Quá trình $Q \sim t$ tại Nghĩa Khánh khi có và không có điều tiết của hồ chứa



Hình 6. Quá trình $Q \sim t$ tại Dừa khi có và không có điều tiết của hồ chứa



Hình 7. Quá trình $Q-t$ tại Yên Thượng khi có và không có điều tiết của hồ chứa

Trận lũ tháng 9/1978 trên sông Cả đã gây vỡ nhiều đoạn đê từ Đô Lương đến Hưng Nguyên nên lưu lượng thực đo tại Yên Thượng nhỏ hơn so với hiện trạng. Kết quả tính toán tại Yên Thượng (hình 8) được điều chỉnh theo giá trị hoàn nguyên lũ tháng 9/1978 trên sông Cả [5].

Với trận lũ tháng 9/1978, khi mực nước trước lũ như bảng 5 khả năng cất lũ cho các vị trí

khống chế của 3 hồ chứa: Bản Vẽ, Bản Mòng và Thác Muối như bảng 6. Khả năng cất lũ của hồ Bản Vẽ có hạn vì sau ngày 01/9 hằng năm, được phép tích nước lên cao trình 200m. Thời gian tính toán tối ưu xả lũ của hệ thống hồ chứa gồm 3 hồ chứa và 150 thời đoạn xả lũ (150 giờ) rất nhanh (không đến 1 phút) nên có thể đáp ứng được yêu cầu của công tác phòng chống thiên tai.

Bảng 6. Kết quả cất lũ tại các điểm khống chế

Đại lượng	Nghĩa Khánh	Dừa	Yên Thượng
Lưu lượng (m ³ /s)	3.700-2.590=1.110	9.810-9.160=650	13.400-10.400=2.960
Mực nước (m)	40.23-38.70=1.53	24.84-24.73=0.11	13.34-11.95=1.39

4. Kết luận

- Thử nghiệm trên lưu vực sông Cả cho thấy mô hình TL đã mô phỏng khá tốt một hệ thống sông gồm: lưu vực bộ phận, nút nhập lưu lượng trực tiếp, đoạn sông, nhập lưu và hồ chứa. Thời gian tính toán tối ưu xả lũ của hệ thống hồ chứa gồm 3 hồ chứa và 150 thời đoạn xả lũ rất nhanh.

- Với trận lũ lịch sử tháng 9/1978 và trạng

thái các hồ chứa như bảng 6 thì khả năng cất lũ tại trạm TV Nghĩa Khánh (1.53m) và Yên Thượng (1.39m) rất lớn. Hồ chứa Thác Muối có ý nghĩa rất lớn đối với việc cất lũ cho hạ du sông Cả.

- Mô hình TL có thể sử dụng cho công tác dự báo phục vụ vận hành liên hồ chứa trên sông Cả và các lưu vực sông khác không ảnh hưởng triều.

Tài liệu tham khảo

1. Hà Văn Khôi, (2005). *Quy hoạch và quản lý nguồn nước*. Nhà xuất bản Nông nghiệp.
2. Lê Xuân Cầu, (2014). *Nghiên cứu biểu đồ điều phối tối ưu đa mục tiêu hệ thống liên hồ chứa trên cơ sở ứng dụng mô hình liên hồ chứa và thuật toán gen – Áp dụng cho hệ thống hồ chứa trên sông Cả*. Đề tài NCKH cấp cơ sở.
3. Long, N.L, Madsen, H., and Rosbjerg, D. (2007). *Simulation and optimisation modelling approach for operation of the Hoa Binh reservoir, Vietnam*. Journal of Hydrology (2007) Volume 336, Pages 269-281.
4. Tran Hong Thai, (2005). *Numerical Methods for Parameter Estimation and Optimal Control of the Red River Network*. PhD thesis, Heidelberg University.
5. Trung tâm Thủy văn ứng dụng và Kỹ thuật môi trường thuộc Trường Đại học Thủy lợi đã thực hiện Dự án, (2003). *Khảo sát, điều tra, tính toán hoàn nguyên lũ 1978 với thực trạng sông Cả như hiện nay*. Dự án tỉnh Nghệ An.
6. Techow, V. (1994). *Thủy văn ứng dụng*. Nhà xuất bản giáo dục.
7. Wei, C.C. and Hsu, N.S. (2009). *Optimal tree-based release rules for real-time flood control operations on a multipurpose multireservoir system*. Journal of Hydrology Volume 365 (2009), Pages 213 - 224.

THE DEVELOPMENT OF FLOOD SIMULATING MODEL AND OPTIMIZATION OF FLOOD DISCHARGE FROM THE RESERVOIR SYSTEM IN THE RIVER BASINS WITHOUT THE IMPACTS OF TIDE (TL)

Nguyen Xuan Tien¹, Le Huu Huan¹, Phan Thi Toan¹, Nguyen Van Linh²

¹Northern central regional Hydro-Meteorological Center

²Faculty of Hydrology -Thuyloi University

Abstract: *The reservoir systems in river basins in the North Central Region has been increasingly developed and they are necessary to develop a tool for estimating the flood discharge from the reservoir system for downstream flood mitigation. Based on the calculation of flood discharge from the triangular unit hydrography, Muskingum and optimization method, a flood simulating model (TL) was developed by using Delphi programming language to meet the above requirements. As a result of applying it for the Ca river basin (from the upstream to Yen Thuong hydrological station). The tool was positive and it would support the operation of the reservoir system for the downstream flood mitigation.*

Keywords: *Optimizing the discharge from reservoir, Ca River.*