

XÁC ĐỊNH ĐỘ TIN CẬY YÊU CẦU KHI NÂNG CẤP SỬA CHỮA HỆ THỐNG ĐẦU MỐI HỒ CHỨA NƯỚC THEO LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY VÀ PHÂN TÍCH RỦI RO

Nguyễn Lan Hương¹, Lê Xuân Khâm¹

Tóm tắt: Các đầu mối hồ chứa được xây dựng trong nhiều thời kỳ khác nhau nên nhiều hồ đập chưa đáp ứng đầy đủ các yêu cầu về: tài liệu thiết kế, phương pháp thiết kế, kỹ thuật thi công và công tác duy tu bảo dưỡng, bảo trì hệ thống, nên mức độ an toàn của các công trình đầu mối thường thấp hơn so với các quy chuẩn, tiêu chuẩn hiện tại và đã có nhiều hồ đập bị hư hỏng sự cố cũng như tiềm ẩn các nguy cơ gây mất an toàn hồ chứa. Nếu hệ thống xảy ra sự cố vỡ đập sẽ gây ngập lụt và thiệt hại lớn về người và tài sản cho vùng hạ du, nên việc nâng cấp sửa chữa hồ đập kết hợp với nâng cao năng lực quản lý an toàn đập, hồ chứa thủy lợi là rất quan trọng. Hiện nay, việc nâng cấp sửa chữa các công trình đầu mối hồ chứa nước được tính theo phương pháp tắt định đã đáp ứng được các yêu cầu về kinh tế kỹ thuật nhưng lại chưa có nhiều mối liên hệ định lượng với rủi ro ngập lụt của vùng hạ du. Do đó, để các quyết định lựa chọn phương án nâng cấp sửa chữa hệ thống đạt hiệu quả cao và đảm bảo độ tin cậy yêu cầu theo mức rủi ro chấp nhận được của vùng hạ du, nghiên cứu giới thiệu cách chọn phương án tối ưu khi nâng cấp công trình đầu mối hồ chứa theo lý thuyết độ tin cậy và phân tích rủi ro. Ứng dụng các kết quả tính toán để chọn phương án nâng cấp hệ thống đầu mối hồ chứa nước Cam Ranh tỉnh Khánh Hòa đáp ứng theo tiêu chuẩn phòng lũ của ICOLD và thiết kế tràn bổ sung theo độ tin cậy yêu cầu.

Từ khóa: Mức đảm bảo an toàn, độ tin cậy yêu cầu, độ tin cậy của hệ thống, phân tích rủi ro, an toàn đập, xác suất sự cố.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các hồ đập Việt Nam được thiết kế và xây dựng trong nhiều thời kỳ khác nhau, nhiều hồ chứa được xây dựng từ những năm sau chiến tranh với những hạn chế về tài liệu khí tượng thủy văn, địa hình, địa chất và phương pháp tính toán dẫn đến chất lượng thiết kế chưa phù hợp với thực tế, mức đảm bảo an toàn chưa cao, đặc biệt đối với các hồ có dung tích nhỏ. Rất nhiều hồ chứa tự phát do nhân dân tự đắp không có hồ sơ khảo sát thiết kế, kỹ thuật thi công lạc hậu và qua thời gian dài khai thác sử dụng không được duy tu bảo dưỡng, công tác bảo trì cũng không được quan tâm đúng mức. Kết quả là nhiều hồ đập đã hư hỏng xuống cấp và tiềm ẩn các nguy cơ gây mất an toàn hồ chứa, mức

độ an toàn đập thấp hơn nhiều so với quy chuẩn, tiêu chuẩn hiện tại. Nếu xảy ra sự cố, đặc biệt là vỡ đập sẽ gây thiệt hại lớn về người, tài sản của nhân dân vùng hạ du, nên việc nâng cấp sửa chữa hồ đập kết hợp với nâng cao năng lực quản lý an toàn đập, hồ chứa thủy lợi là rất quan trọng. Trong nhiều năm qua, Nhà nước đã đầu tư nhiều nguồn lực để nâng cấp, hiện đại hóa các hệ thống thủy lợi nhằm nâng cao an toàn cho các công trình đầu mối và giảm thiểu thiệt hại cho hạ du. Hiện nay, các hồ đập Việt Nam được thiết kế theo phương pháp tắt định và đánh giá an toàn công trình là các hệ số an toàn, việc nâng cấp sửa chữa hệ thống tuân theo các quy chuẩn, tiêu chuẩn hiện hành đã đáp ứng được các yêu cầu về kinh tế kỹ thuật cho đầu mối nhưng lại chưa có nhiều mối liên hệ định lượng với rủi ro ngập lụt của vùng hạ du. Để các

¹ Trường Đại học Thủy lợi

quyết định lựa chọn phương án nâng cấp sửa chữa hệ thống hiệu quả và đảm bảo độ tin cậy theo yêu cầu, bài báo giới thiệu một cách ứng dụng lý thuyết độ tin cậy và phân tích rủi ro để lựa chọn phương án tốt ưu khi nâng cấp hệ thống đầu mối hồ chứa nước Cam Ranh tỉnh Khánh Hòa nhằm đáp ứng các yêu cầu về an toàn đập và mức rủi ro chấp nhận được của vùng hạ du hồ chứa.

2. HIỆN TRẠNG HỒ ĐẬP VÀ CÔNG TÁC SỬA CHỮA, NÂNG CẤP CÁC ĐẦU MỐI HỒ CHỨA

2.1 Hiện trạng các hồ chứa nước Việt Nam

Hiện nay, có 6336 hồ chứa thủy lợi và 419 đập dâng có chiều cao trên 5m đang vận hành với tổng dung tích trữ khoảng 14.5 tỷ m³ (Tổng cục Thủy Lợi, 2021). Các hồ chứa đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì nhịp độ phát triển của ngành nông nghiệp và của nền kinh tế khi tạo nguồn nước tưới cho gần 1.075 triệu ha đất nông nghiệp; cấp khoảng 1,5 tỷ m³ nước cho sinh hoạt và công nghiệp. Trong quá trình vận hành, đã có nhiều hồ đập bị hư hỏng xuống cấp ảnh hưởng đến an toàn của hệ thống và nguy hiểm hơn có thể dẫn tới sự cố vỡ đập và gây ngập lụt vùng hạ du. Theo các số liệu thống kê, đã có 1730 hồ chứa bị hư hỏng, xuống cấp (223 hồ lớn, 573 hồ vừa, 934 hồ nhỏ), trong đó các hồ dung tích nhỏ chiếm tỷ trọng lớn 54%.

Một số dạng hư hỏng chính hay gặp ở các đầu mối hồ chứa có thể kể đến như: Đập dâng không đủ diện tích mặt cắt, lũ lớn tràn qua đỉnh đập; thấm lớn qua thân và nền đập gây xói ngầm hoặc trượt sạt mái hạ lưu làm vỡ thân đập; tổ mối trong thân đập; vận hành cửa van của tràn và cống không đúng kỹ thuật; tràn thiếu khả năng xả lũ và bị xói tiêu năng; thân cống ngầm bị hư hỏng, mục ruỗng; tháp van cống ngầm bị lún. Các số liệu thống kê của Tổng cục Thủy lợi năm 2021 về số lượng hồ đập bị hư hỏng cho thấy: các hồ chứa bị hư hỏng thân tràn (750 hồ) và thân cống ngầm (841 hồ) chiếm tỷ trọng lớn nhất trong các nguyên nhân sự cố thường xảy ra ở các hồ chứa nước.

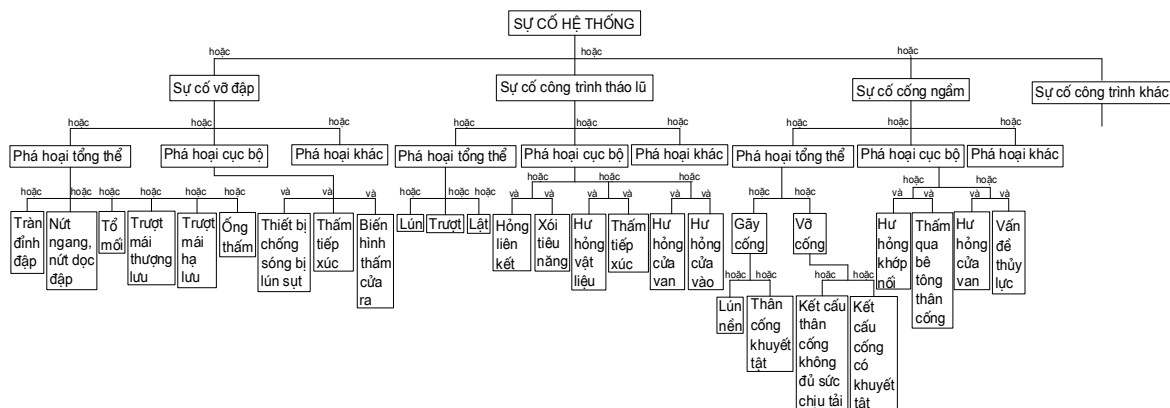
2.2. Công tác nâng cấp, sửa chữa đập, hồ chứa thủy lợi

Hơn 800 hồ chứa thủy lợi đã được nâng cấp sửa chữa để đảm bảo an toàn hồ đập bằng các nguồn vốn của địa phương kết hợp với nguồn vốn của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. Một số hệ thống hồ chứa đã được sửa chữa lớn và nâng cấp theo tiêu chuẩn quốc tế khi tính toán lũ theo tiêu chuẩn của ICOLD như: Dầu Tiếng, Cẩm Sơn, Yên Lập, Kê Gổ, Phú Ninh, Bến Châu, Đồng Nghệ, Hòa Trung, Đá Bàn (Tổng cục Thủy Lợi, 2021). Với số lượng hồ đập cần sửa chữa lớn như hiện nay thì kế hoạch cho các năm tiếp theo là tiếp tục đầu tư các nguồn vốn để nâng cấp đảm bảo an toàn cho các hồ đập này. Nhưng do nguồn lực hạn chế, thời gian qua hầu như mới chỉ sửa chữa, nâng cấp được cho đa số các hồ chứa có dung tích trên 3 triệu m³ và sửa chữa cấp bách cho một số hồ chứa xung yếu, nên số lượng hồ chứa bị xuống cấp vẫn còn rất nhiều; nhất là với các hồ chứa vừa và nhỏ, nhiều hồ tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn cao trong điều kiện mưa, lũ cực đoan hiện nay. Đã có kế hoạch và nguồn vốn nâng cấp cho 536 hồ chứa nước, cụ thể: hoàn thành nâng cấp hồ Pa Khoang và hồ Xạ Hương; hoàn thành xử lý cấp bách 84 hồ chứa bị ảnh hưởng do lũ bão năm 2017 và nâng cấp, sửa chữa 450 hồ chứa tại 34 tỉnh thành để đảm bảo an toàn công trình trong dự án WB8. Còn lại 1.196 hồ đập bị xuống cấp và thiếu khả năng xả lũ có nguy cơ mất an toàn nhưng chưa có nguồn vốn để đầu tư sửa chữa sẽ được các địa phương thường xuyên kiểm tra, đánh giá, kiểm định an toàn nhằm phát hiện sớm những ẩn họa có thể gây ra sự cố để xây dựng các phương án khắc phục, sửa chữa bảo đảm bảo an toàn trong công tác xử lý sự cố đập, hồ chứa thủy lợi.

3. NÂNG CẤP, SỬA CHỮA HỆ THỐNG ĐẦU MỐI HỒ CHỨA THEO LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY VÀ PHÂN TÍCH RỦI RO

3.1 Phân tích độ tin cậy của hệ thống hiện trạng

3.1.1 Mô phỏng hệ thống đầu mối hồ chứa nước



Hình 1. Sơ đồ cây sự cố các công trình trong đầu mối hồ chứa nước

Hình 1 là ví dụ về một cây sự cố của công trình đầu mối hồ chứa nước, trong đó mỗi hư hỏng được mô phỏng theo một cơ chế phá hoại có nguy cơ dẫn đến sự cố công trình hoặc sự cố hệ thống, chữ “hoặc” biểu thị sự liên kết nối tiếp, chữ “và” biểu thị sự liên kết song song (Nguyễn Văn Mạo, nnk 2014).

3.2.2 Xây dựng các hàm tin cậy

Mỗi cơ chế phá hoại như trên sơ đồ hình 1 sẽ thiết lập được một hàm tin cậy Z , đây là hàm biểu thị mối quan hệ giữa sức chịu tải và tải trọng tác dụng vào công trình. $Z = R(x_i) - S(y_j)$ (1)

Trong đó: $S(y_i) = S(y_1, y_2, \dots, y_n)$ là hàm tải trọng; $R(x_i) = R(x_1, x_2, \dots, x_n)$ là hàm sức chịu tải.

x_i : là các biến ngẫu nhiên cơ bản gồm: các ảnh hưởng phát sinh từ môi trường nước, môi trường đất đá, môi trường công trình tạo nên sự chống lại sự phá hoại công trình.

y_i : là các biến ngẫu nhiên cơ bản gồm: các tác động phát sinh từ môi trường nước, các ảnh hưởng của môi trường nền thông qua tính chất của đất đá cũng như các tải trọng phát sinh từ môi trường công trình thông qua tính chất của vật liệu xây dựng (Nguyễn Văn Mạo, nnk 2014).

3.2.3 Độ tin cậy của hệ thống đầu mối hồ chứa

- Xác suất an toàn (độ tin cậy) của từng cơ chế sự cố P_{at} : $P_{at} = P(Z > 0) = \phi(\beta)$ (2)

Trong đó: $\phi(\beta)$: hàm phân bố chuẩn; β : Chỉ số độ tin cậy.

- Độ tin cậy (ĐTC) của từng công trình trong hệ thống: P_{at}^i

Khi các sự cố liên kết với nhau theo công “hoặc”: $P_{at}^i = 1 - \sum_{j=1}^m (1 - P_{ij})$ (3)

Khi các sự cố liên kết với nhau theo công “và”: $P_{at}^i = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_{ij})$ (4)

Trong đó: P_{ij} - Xác suất an toàn của từng cơ chế sự cố tính như (2)

- Độ tin cậy của đầu mối hồ chứa làm việc sơ đồ ghép nối tiếp: $P_{at}^{HT} = \prod_{i=1}^n P_{at}^i$ (5);

xác suất sự cố của hệ thống:

$$P_f^{HT} = (1 - P_{at}^{HT}) \quad (6).$$

- So sánh với mức đảm bảo an toàn cho phép (xác suất sự cố cho phép) của hệ thống $[P_f^{HT}]$ và kết luận về việc nâng cấp hệ thống theo yêu cầu thực tế (Nguyễn Văn Mạo, nnk 2014).

3.2 Xác định độ tin cậy yêu cầu của hệ thống theo phân tích rủi ro ngập lụt

3.2.1 Thiết kế hệ thống theo các mức đảm bảo giả định P_f^{HT}

- Đề xuất các phương án nâng cấp hệ thống, với mỗi phương án nâng cấp:

+ Giả định các mức đảm bảo an toàn (MĐBAT) cho hệ thống P_f^{HT} . Trong trường hợp hệ thống làm việc theo sơ đồ ghép nối tiếp: Phân bổ độ tin cậy P_{at}^{HT} của hệ thống cho các phần tử

công trình và các cơ chế sự cố theo nguyên tắc: các hệ số trọng số hay mức ảnh hưởng của từng công trình đến sự cố hệ thống và mức ảnh hưởng của các cơ chế sự cố đến từng công trình là như nhau, do vậy gần đúng phân bổ độ tin cậy cho từng công trình theo nguyên tắc độ tin cậy như nhau: $[P_{at}] = \sqrt[k]{P_{at}^{HT}}$ (7). Trong đó: k: số công trình trong hệ thống (Nguyễn Văn Mạo, ntk 2014). Công thức (7) áp dụng cho trường hợp đơn giản hóa khi xem các cơ chế sự cố, các thành phần công trình trong hệ thống là độc lập thống kê.

+ Thiết kế các hạng mục công trình được nâng cấp theo độ tin cậy đã được phân bổ cho từng công trình và các cơ chế sự cố. Giải bài toán ngược: tìm kích thước các bộ phận công trình khi đã biết độ tin cậy cho trước, thực hiện các bước tính như mục 3.1.

3.2.2 Xác định độ tin cậy yêu cầu của hệ thống

- Với mỗi phương án nâng cấp:

+ Tính tổng chi phí đầu tư xây dựng hệ thống ứng với từng mức đảm bảo: $I_{pf} = I_{nc} + PV(M_{pf})$ (8)

Trong đó I_{nc} : Chi phí đầu tư xây dựng hệ thống ứng với mức đảm bảo P_f , gồm: giá trị hiện tại của công trình, vốn đầu tư trực tiếp sửa chữa, nâng cấp công trình, chi phí đền bù mất bằng và các chi phí khác; $PV(M_{pf})$: Chi phí quản lý vận hành quy về giá trị hiện tại.

+ Xây dựng đường cong đầu tư I_{pf} ứng với các mức đảm bảo giả định của hệ thống P_f .

+ Xây dựng các bản đồ ngập lụt và bản đồ thiệt hại vùng hạ du theo các kịch bản xả lũ gây ngập lụt hạ du.

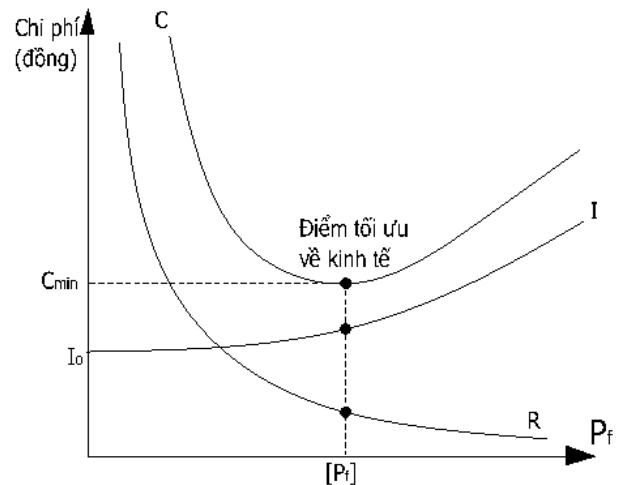
+ Tính chi phí rủi ro kinh tế R_{pf} cho vùng hạ du khi hệ thống bị sự cố: $R_{pf} = P_f \cdot D$ (9)

Trong đó: P_f : xác suất xảy ra sự cố hệ thống hay MĐBAT cho vùng hạ du; D : tổng thiệt hại vùng hạ du do xảy ra sự cố P_f .

+ Xây dựng đường cong rủi ro R_{pf} ứng với các mức đảm bảo giả định của hệ thống.

+ Vẽ đường cong tổng chi phí: $C = I_{pf} + R_{pf}$ và tìm mức đảm bảo yêu cầu $[P_f]$ tương ứng với chi phí thấp nhất cho từng phương án nâng cấp (hình 2).

- Vẽ các đường cong tổng chi phí C và MĐBAT cho các phương án nâng cấp, mức đảm bảo an toàn cho phép của hệ thống được lựa chọn tương ứng với giá trị nhỏ nhất của tổng chi phí C trên các đường cong C và tương ứng là phương án nâng cấp được chọn (Mai Văn Công, 2007).



Hình 2. Tối ưu mức đảm bảo an toàn theo quan điểm kinh tế

3.3. Nâng cấp hệ thống theo độ tin cậy yêu cầu

- Nếu mức đảm bảo an toàn cho phép của hệ thống trùng với các giả định về MĐBAT cho hệ thống trong mục 3.2.1 thì mức đảm bảo an toàn cho phép của hệ thống mới là $[P_f]$ và hệ thống mới đã được thiết kế nâng cấp như trong mục 3.2.1.

- Nếu mức đảm bảo an toàn cho phép của hệ thống khác các MĐBAT đã giả định trong mục 3.2.1, thực hiện các tính toán nâng cấp hệ thống giống như mục 3.2.1.

- Trong thực tế mức đảm bảo an toàn khi thiết kế của hệ thống $[P]_{tk}$ có thể chọn lớn hơn hoặc nhỏ hơn $[P_f]$ khi vùng hạ du có xét đến các yếu tố khác như: chính trị, văn hóa xã hội, môi trường và đặc biệt là yếu tố về con người (Mai Văn Công, 2007):

+ Chọn mức đảm bảo an toàn thiết kế $[P]_{tk} > [P_f]$: chấp nhận rủi ro vùng hạ du tăng để giảm vốn đầu tư xây dựng hệ thống.

+ Chọn mức đảm bảo an toàn thiết kế $[P]_{tk} < [P_f]$: tăng vốn đầu tư xây dựng hệ thống và giảm rủi ro cho vùng hạ du hồ chứa.

4. NÂNG CẤP ĐẦU MỐI HỒ CHỨA CAM RANH THEO PHÂN TÍCH RỦI RO NGẬP LỤT HẠ DU HỒ CHỨA

4.1. Hiện trạng đầu mối hồ chứa nước Cam Ranh

Hồ chứa nước Cam Ranh là công trình cấp II được xây dựng năm 1997 tại xã Cam Tân và Cam Hòa, huyện Cam Lâm, tỉnh Khánh Hòa, hồ chứa có dung tích $22,1.10^6 m^3$ với nhiệm vụ: cung cấp nước tưới 2300 ha, cấp nước sinh hoạt cho 70000 dân và phòng lũ cho vùng hạ du. Hệ thống đầu mối gồm: đập đất có chiều cao lớn nhất 22.3m và dài 1734m; tràn xả lũ có cửa van, kích thước $nxb = 3 \times 8m$; 2 cống lấy nước: cống Bắc là cống có tháp van đặt ở mái thượng lưu, có kích thước $b \times h = 1.25m \times 1.75m$; cống Nam là cống chày có áp với đường kính $\Phi = 0.8m$.

4.2. Đánh giá độ tin cậy của hệ thống hiện trạng

4.2.1 Mô phỏng hệ thống Cam Ranh

Thông qua đánh giá hiện trạng hệ thống, các tính toán kiểm tra với đập đất gồm: Nước tràn đỉnh đập; ổn định mái hạ lưu đập; xói tại cửa ra; hình thành hang thấm trong thân và nền đập. Các tính toán kiểm tra với tràn gồm: ổn định của ngưỡng tràn; trượt, lật đơn nguyên giữa cửa đập tràn. Các tính toán kiểm tra với cống Bắc và cống Nam: thấm dọc theo mang cống; thấm xuyên thành cống. Các cơ chế sự cố và các phần tử công trình (đập, tràn và 2 cống) được liên kết theo hình thức sơ đồ nối tiếp vì chỉ cần một cơ chế sự cố xảy ra hoặc 1 phần tử công trình bị sự cố sẽ dẫn đến sự cố hệ thống.

4.2.2 Độ tin cậy của hệ thống

a) Số liệu tính toán

Bảng 1. Các biến ngẫu nhiên (BNN) có luật phân bố chuẩn khi tính ĐTC của đập

TT	Tên BN	Ký hiệu BNN	Kỳ vọng: μ	Độ lệch chuẩn: σ
1	Cao độ đỉnh đập	$Z_{dd} (m)$	+34.2	0.35
2	Cao độ mực nước hồ = MNLTK	Z_{mn}	+32.59	0.5
3	Cao độ mực nước hồ = MNLKT	Z_{mn}	+33.53	0.5
4	Vận tốc gió	$V (m/s)$	21.3	2.13
5	Đà sóng	$D (m)$	1100	50
6	Chiều cao sóng leo	$h_{sl} (m)$	0.71	0.03
7	Cao độ đáy đập	$Z_o (m)$	+11	0.5
8	Chiều dài đáy đập	$L_d (m)$	150	3
9	Hệ số trung bình mái thượng lưu	m_1	3.25	0.25
10	Chiều dày tầng thấm	$T (m)$	7	0.7
11	Gradien tại cửa ra	J_{ra}^{max}	0.3	0.1
12	Gradien thấm cho phép tại cửa ra	$[J]^{ra}$	0.55	- (Tất định)
13	Dung trọng của đập và nền	$\gamma_1 (KN/m^3)$	19.78	1.978
		$\gamma_2 (KN/m^3)$	18.515	18.515
		$\gamma_n (KN/m^3)$	18.63	1.863
14	Góc ma sát trong của đập và nền	$\phi_1 (độ)$	20	5
		$\phi_2 (độ)$	15	4.5
		$\phi_n (độ)$	12	3.6
15	Lực dính đơn vị của đập và nền	$C_1 (KN/m^2)$	23	4.4
		$C_2 (KN/m^2)$	22	4.4
		$C_n (KN/m^2)$	22	4.4
16	Dung trọng, góc ma sát trong và lực dính đơn vị của lăng trụ thoát nước	$\gamma_d (KN/m^3)$	21	2.1
		$\phi_d (độ)$	35	5
		$C_d (KN/m^2)$	0	- (Tất định)

Bảng 2. Các BNN có luật phân bố chuẩn khi tính ĐTC của tràn

TT	Tên BN	Ký hiệu BNN	Kỳ vọng: μ	Độ lệch chuẩn: σ
1	Dung trọng bê tông	γ_{bt} (KN/m ³)	24	1.2
2	Chiều dài ngưỡng tràn	L (m)	20	0.2
3	MNLTK	Z_{mn}	+32.59	0.5
4	MNLKT	Z_{mn}	+33.53	0.5
5	Hệ số ma sát giữa đập và nền	f	0.65	0.1
6	Lực dính đơn vị của nền đá	c (KN/m ²)	120	12

Bảng 3. Các BNN có luật phân bố chuẩn khi tính ĐTC của cống

TT	Tên BN	Ký hiệu BNN	Kỳ vọng: μ	Độ lệch chuẩn: σ
1	Gradient thấm cho phép của đất sét quanh thân cống	$[J]_{cp}$	4	- (Tất định)
2	Chiều dài thân cống Nam	L_n (m)	77	0.5
3	Cao độ cửa vào cống Nam	Z_{cv}^n (m)	+ 20.5	0.01
4	Cao độ cửa ra cống Nam	Z_{cr}^n (m)	+20.2	0.01
5	Chiều dày thành cống Nam	t (m)	0.4	- (Tất định)
6	Chiều cao cống Nam	h (m)	1.75	- (Tất định)
7	Chiều rộng cống Nam	b (m)	1.25	- (Tất định)
8	Chiều dài thân cống Bắc	L_n (m)	70.5	0.5
9	Cao độ cửa vào cống Bắc	Z_{cv}^n (m)	+ 20.5	0.01
10	Cao độ cửa ra cống Bắc	Z_{cr}^n (m)	+20.15	0.01
11	Chiều dày thành cống Bắc	t (m)	0.4	- (Tất định)
12	Đường kính cống	Φ (m)	0.8	- (Tất định)

b) Độ tin cậy của hệ thống

Sử dụng phần mềm tự lập Sypro2016 xác định các đặc trưng thống kê và luật phân bố của các

BNN, tính ĐTC của từng cơ chế sự cố và ĐTC của hệ thống đầu mỗi hồ chứa. Các kết quả được tính trong bảng 4.

Bảng 4. Độ tin cậy của hệ thống đầu mỗi hồ chứa Cam Ranh

TT	Cơ chế sự cố	MNLTK		MNLKT	
		Xác suất sự cố	Mức độ ảnh hưởng đến sự cố hệ thống	Xác suất sự cố	Mức độ ảnh hưởng đến sự cố hệ thống
1	Trượt mái hạ lưu	9.04E-04	22.01%	9.00E-03	30.91%
2	Nước tràn đỉnh đập	3.17E-03	77.19%	2.00E-02	68.68%
3	Xói tại cửa ra	3.17E-05	0.77%	1.08E-05	0.04%
4	Hình thành hang thấm trong thân đập	9.62E-07	0.0234%	1.12E-07	0.0004%
5	Hình thành hang thấm trong nền đập	1.51E-08	0.0004%	1.01E-06	0.00%
6	Tràn bị trượt	5.82E-09	0.0001%	9.96E-05	0.34%
7	Tràn bị lật	5.30E-08	0.0013%	4.41E-06	0.02%
8	Thấm dọc theo mang cống Nam	3.43E-09	0.0001%	4.90E-07	0.002%

TT	Cơ chế sự cố	MNLTk		MNLKT	
		Xác suất sự cố	Mức độ ảnh hưởng đến sự cố hệ thống	Xác suất sự cố	Mức độ ảnh hưởng đến sự cố hệ thống
9	Thấm xuyên thành cống Nam	3.92E-09	0.0001%	5.38E-06	0.02%
10	Thấm dọc theo mang cống Bắc	2.57E-09	0.0001%	5.90E-07	0.002%
11	Thấm xuyên thành cống Bắc	3.22E-09	0.0001%	6.35E-06	0.02%
Xác suất sự cố của hệ thống P_f^{HT}		0.00411		0.02912	
Độ tin cậy của hệ thống P_{at}^{HT}		9.959E-01		9.709E-01	
Chỉ số độ tin cậy của hệ thống β		2.64		1.89	

Với MNLTk, hệ thống đảm bảo ĐTC do $P_f^{HT} = 0.00411 < P_{1\%} = 0.01$: xác suất sự cố nhỏ hơn mức bảo đảm phòng lũ thiết kế $P_{1\%}$. Với MNLKT $P_f^{HT} = 0.02912 > P_{0.2\%} = 0.002$ xác suất sự cố lớn hơn mức bảo đảm phòng lũ kiểm tra $P_{0.2\%}$, hệ thống có khả năng bị sự cố và nguyên nhân chính xảy ra sự cố do nước tràn đỉnh đập (68.68%) và trượt mái hạ lưu đập (30.91%). Cần thiết có giải pháp công trình để nâng cao ĐTC của hệ thống khi trong hồ xuất hiện các trận lũ có tần suất nhỏ hơn hoặc bằng lũ kiểm tra.

c) Đề xuất các phương án nâng cấp hệ thống đầu mối hồ chứa

- Phương án 1: Nâng cao đập để đảm bảo chống lũ.

Với phương án này cao trình đỉnh đập đất được nâng cao nhưng tràn xả lũ cần phá bỏ và làm lại một số công trình như: tường chắn sóng, mặt đập, đắp áp trúc mái hạ lưu, công trình tiêu thoát nước hạ lưu, cửa van tràn xả lũ, trong khi các hạng mục công trình này đang sử dụng tốt đảm bảo an toàn, ổn định trong các trường hợp tính toán thiết kế. Do đó, phương án này sẽ ảnh hưởng đến khả năng tính toán thiết kế trước đây của đập đất cũng như tràn xả lũ, dễ xảy ra mất an

toàn cho công trình, khó khăn trong việc thi công và quản lý vận hành. Mặt khác tuyến đập đất công trình đầu mối hồ Cam Ranh quá dài (1734m), nếu nâng cấp, sửa chữa dẫn đến khối lượng lớn, chi phí xây dựng rất cao và tiến độ thi công kéo dài.

- Phương án 2: Xây dựng thêm tràn xả lũ.

Xây dựng thêm tràn xả lũ để giữ nguyên quy mô các hạng mục công trình đầu mối đã đầu tư xây dựng đảm bảo an toàn cho công trình, không ảnh hưởng đến các tính toán thiết kế trước đây. Thuận lợi trong công tác thi công xây dựng công trình, không ảnh hưởng đến công tác quản lý vận hành.

- Với các phân tích và đánh giá như trên, chọn phương 2 để nâng cấp hệ thống. Làm thêm tràn bổ sung tại vai phải đập đất để nâng cao năng lực xả lũ cho hệ thống hồ chứa.

+ Phương án 2.1: Tràn đỉnh rộng có cửa van: $n \times B \times H = 2 \times 6 \times 5 \text{m}$; $Z_{\text{ngưỡng}} = +27$

+ Phương án 2.2: Tràn tự do ngưỡng kiểu phím piano: $B=30 \text{m}$; $Z_{\text{ngưỡng}} = +32$

+ Phương án 2.3: Tràn tự do ngưỡng đỉnh rộng: $B=135 \text{m}$; $Z_{\text{ngưỡng}} = +32$

Bảng 5. Kết quả tính cao trình đỉnh đập theo các phương án làm thêm tràn xả lũ

Các phương án	Cao trình đỉnh đập theo các mực nước hồ					Z_{dd} hiện trạng
	MNDBT	MNLTk (P=1%)	MNLKT(P=0.2%)	MNL(P=0.02%)	MNL(P=0.01%)	
PA2.1	33.84	33.31	32.87	33.5	34.01	34.2
PA2.2	33.84	33.69	33.25	33.7	34.08	34.2
PA2.3	33.84	33.71	33.26	33.3	34.00	34.2

Theo các kết quả như bảng 5: Z_{dd} theo các mực nước hồ < Z_{dd} hiện trạng, dự án sẽ xây dựng thêm 1 tràn xả lũ tại vai phải đập mà không nâng cao trình đỉnh đập và các công trình hiện trạng khác trong hệ thống. Do vậy vốn đầu tư ban đầu để xây dựng hệ thống hiện trạng quy về giá trị hiện tại của 3 phương án 2.1, 2.2 và 2.3 là như nhau và nghiên cứu chỉ xem xét sự thay đổi trong chi phí xây dựng tràn.

4.3. Độ tin cậy yêu cầu của hệ thống

Mỗi phương án nâng cấp sẽ được tính với các mức bảo đảm an toàn 1/100; 1/200; 1/500; 1/1000 và 1/10000. Trong nghiên cứu này: D được tính đơn giản là các giá trị rời rạc có được từ việc thống kê các thiệt hại trong nông nghiệp và nhà cửa của các hộ dân theo chiều sâu ngập lụt, với các tần suất giả định thì mức ngập lụt ở hạ du sẽ khác nhau. Thiệt hại D được xác định theo bảng 6, trong đó các thiệt hại D ứng với các mức đảm bảo 1/200 và 1/1000 sẽ được nội suy và giả định.

Bảng 6. Thiệt hại theo mức ngập lụt

Đơn vị: tỷ đồng

TT	Khoản mục	Thiệt hại D theo mức ngập lụt		
		H = 1.3m; P=1/10000	H = 1.1m; P= 1/500	H = 0.8m; 1/100
1	Lúa	63.2	61	54
2	Hoa màu	16.5	16	12.7
3	Thiệt hại về cơ sở vật chất, đời sống của 48 hộ dân vùng hạ du có thể tránh được do sự cố vỡ đập	5.1	4.8	2.2
4	Hỗ trợ ổn định đời sống	1.1	1.1	1.1
5	Xây dựng nhà ở	4.1	4.1	2
	Tổng thiệt hại	90	87	72

Từ kết tính trong bảng 7, C đạt giá trị nhỏ nhất ứng với Phương án 2.1 và có mức đảm bảo an toàn cho hệ thống $P=1/10.000$. Mặt khác, việc nâng mức đảm bảo an toàn cho hệ thống lên mức $P = 1/10000$ là phù hợp khi xem xét đến các tác động của BĐKH và sự gia tăng cơ sở hạ tầng cần bảo vệ của khu vực

hạ du và cũng đáp ứng tiêu chuẩn ICOLD đặt ra với hệ thống đầu mối hồ chứa Cam Ranh. Như vậy, với các số liệu thu thập và giả định tại đầu mối hồ chứa: phương án 2.1 được chọn làm phương án nâng cấp hệ thống và mức đảm bảo $P = 0.01\%$ là độ tin cậy yêu cầu để thiết kế hệ thống.

Bảng 7. Tổng chi phí xây dựng tràn bổ sung

Đơn vị: tỷ đồng

TT	Tần suất P_f	Thiệt hại: D	Rủi ro R_{Pf}	Chi phí đầu tư xây dựng Tràn bổ sung: I_{pf}			Tổng chi phí đầu tư xây dựng tràn bổ sung (C_{pf}) = $R_{pf} + I_{pf}$		
				PA2.1	PA2.2	PA2.3	PA2.1	PA2.2	PA2.3
1	0.01	72	0.72	33	36	44.2	33.72	36.72	44.92
2	0.005	76.3	0.382	33.2	37.1	45.6	33.582	37.482	45.982

TT	Tần suất P_f	Thiệt hại: D	Rủi ro R_{pf}	Chi phí đầu tư xây dựng Trần bổ sung: I_{pf}			Tổng chi phí đầu tư xây dựng trần bổ sung (C_{pf}) = $R_{pf} + I_{pf}$		
				PA2.1	PA2.2	PA2.3	PA2.1	PA2.2	PA2.3
3	0.002	87	0.174	33.29	36	44.2	33.464	36.174	44.374
4	0.001	89	0.089	33.35	38.5	46.8	33.439	38.589	46.889
5	0.0001	90	0.009	33.4	39.7	47.9	33.409	39.709	47.909

4.4. Thiết kế trần bổ sung theo độ tin cậy yêu cầu

Độ tin cậy yêu cầu $P = 0.01\%$ trùng với tần suất tính toán trong bảng 6 do đó các thông số của trần bổ sung theo phương án 2.1 đã được tính toán trong mục 4.3 và có kích thước cơ bản như sau:

- Hình thức và kết cấu trần: Trần dọc bằng bê tông và BTCT, ngưỡng đỉnh rộng, có cửa van;

- $Z_{\text{ngưỡng trần}} = +27$; $Z_{\text{đỉnh cửa van}} = +32$; Kích thước ngưỡng trần ($n \times B \times L$) = $2 \times 6 \times 16$ m;

- Tổng chiều dài trần: 166.60m; Chiều dài và chiều rộng sân trước: 15.0m; 13.2m;

- Chiều dài và chiều rộng dốc nước: 60.0m; 13.2m; Độ dốc dốc nước: 15%; Chiều dài, chiều rộng và chiều sâu bể tiêu năng: 40.5m; 19.0m; 4.5m; Chiều dài và chiều rộng sân sau: 35.1m; 17.35m.

Nhận xét: Với các số liệu thu thập được và các giả định về mức thiệt hại hạ du hồ Cam Ranh, nếu trần bổ sung có kích thước như trên

thì hệ thống sẽ đáp ứng được mức đảm bảo an toàn là $P = 0.01\%$.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu giới thiệu về hiện trạng hồ đập và công tác sửa chữa nâng cấp các hồ chứa nước Việt Nam để đảm bảo an toàn cho công trình đầu mối và vùng hạ du. Bài báo đã sử dụng lý thuyết độ tin cậy và phân tích rủi ro để tìm phương án tối ưu theo quan điểm về kinh tế khi nâng cấp sửa chữa một đầu mối hồ chứa nước. Trên cơ sở các biến ngẫu nhiên thu thập được từ đầu mối hồ chứa thủy lợi Cam Ranh và một số giả định về thiệt hại của vùng hạ du hồ chứa, các tác giả đã xác định được mức đảm bảo an toàn của hệ thống để đáp ứng với mức rủi ro cho phép của vùng hạ du và từ đó tìm được phương án nâng cấp hệ thống cũng như thiết kế trần bổ sung theo lý thuyết độ tin cậy. Nội dung bài báo là tài liệu tham khảo thiết thực cho công tác thiết kế, nâng cấp sửa chữa và quản lý an toàn hồ đập ở Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Công ty TNHH Tư vấn Trường Đại học Thủy lợi, (2021), *Báo cáo chính dự án nâng cao năng lực xả lũ hồ chứa nước Cam Ranh*.
- Mai Văn Công, (2007), *Thiết kế công trình theo lý thuyết ngẫu nhiên và phân tích độ tin cậy*, Trường Đại học Thủy Lợi.
- Nguyễn Văn Mạo, Nguyễn Hữu Bảo, Nguyễn Lan Hương, (2014) *Cơ sở tính độ tin cậy an toàn đập*, Nhà xuất bản Xây Dựng.
- Tổng cục Thủy Lợi, (2021), *Đề án bảo đảm an ninh nước giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2045*.

Abstract:

DETERMINATION OF RELIABILITY REQUIREMENT WHEN UPGRADING REPAIR HEADWORKS OF RESERVOIRS BY RELIABILITY THEORY AND RISK ANALYSIS

Headworks of reservoirs were constructed in different periods, so many dams have not fully met the requirements for: design documents, design methods, construction techniques and maintenance work of the construction system. Therefore, the safety level of works is often lower than the current regulations and standards, and many dams have failed as well as potential risks of unsafety of the reservoir. If earth dams are broken, it will cause flooding and great loss of life and property to the downstream area, so the upgrading and repair of headworks of reservoirs in combination with improving the capacity of dam safety management should be improved. Currently, the upgrading and repair of headworks is calculated by the deterministic method and have met the technical and economic requirements, but there is not much quantitative relationship with flood risk of the downstream areas. Therefore, the decision to choose the option to upgrade and repair the system is highly effective and ensures the required reliability according to the acceptable risk level of the downstream area, the study introduces how to choose the optimal option when upgrading the focal system of the reservoir, the theory of reliability and risk analysis. Apply the calculation results to choose the option when upgrading the Cam Ranh reservoir head system in Khanh Hoa province to meet ICOLD's flood prevention standards and design additional spillways according to the required reliability.

Keywords: Safety assurance level, required reliability, risk analysis, dam safety, failure probability.

Ngày nhận bài: 09/3/2022

Ngày chấp nhận đăng: 31/3/2022