

TÍNH TOÁN THIẾT KẾ KẾT CẤU CÔNG TRÌNH THỦY LỢI THEO LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY

Phạm Hồng Cường

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu một cách tiếp cận lý thuyết độ tin cậy để tính toán kết cấu công trình thủy lợi theo chỉ số độ tin cậy β . Bao gồm từ phương pháp lựa chọn mô hình lực tác dụng lên kết cấu công trình thủy lợi và các phương pháp tính toán chỉ số độ tin cậy từ trường hợp từ đơn giản đến phức tạp. Đồng thời, đã xây dựng các bước xác định độ tin cậy cho phép và đề xuất giá trị phù hợp để ứng dụng tính toán trong điều kiện Việt Nam.

Summary: This paper presents an approach based on reliability theory for analyzing hydraulic structure using the reliability index β . This approach includes methods of force scheme selection acting on the hydraulic structure and reliability index calculation ranging from simple to complex techniques. Simultaneously, a procedure has been established to define the acceptable reliability and propose suitable reliability values in line with Vietnam situation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong tự nhiên, sự tác động của các yếu tố môi trường lên công trình là các chuỗi ngẫu nhiên không ngừng. Do khả năng hạn chế về liệt số liệu và để thuận tiện cho tính toán nên phương pháp thiết kế truyền thống đã chấp nhận các yếu tố tác động lên công trình như là các yếu tố tất định và chấp nhận một hệ số an toàn. Các phương pháp này bao gồm phương pháp ứng suất cho phép, phương pháp hệ số an toàn và phương pháp trạng thái giới hạn. Trong các mô hình thiết kế tất định, tải trọng và độ bền tính toán được mặc định trong suốt quá trình làm việc của công trình.

Trong thực tế, một số công trình bị sự cố do không xem xét được hết các yếu tố ảnh hưởng vì những hạn chế trong tính toán của phương pháp truyền thống. Mặt khác, nhiều công trình được thiết kế một cách quá an toàn do lựa chọn hệ số an toàn quá lớn. Chính vì vậy, có thể nhận thấy mô hình thiết kế truyền thống

chưa đáp ứng được với yêu cầu trước mắt cũng như lâu dài đối với công trình.

Vì vậy, phương pháp thiết kế công trình nói chung, kết cấu công trình thủy lợi nói riêng theo lý thuyết độ tin cậy là cần thiết trong giai đoạn hiện nay. Để thực hiện mục tiêu trên, bài báo này giới thiệu một cách tiếp cận lý thuyết độ tin cậy để tính toán kết cấu công trình thủy lợi.

2. TÍNH TOÁN KẾT CẤU CÔNG TRÌNH THỦY LỢI THEO CHỈ SỐ ĐỘ TIN CẬY (β)

Công trình thủy lợi là loại công trình chịu tác động lớn của các yếu tố ngẫu nhiên. Các hàm tải trọng nói chung đều là ngẫu nhiên với sự chênh lệch phương sai rất lớn. Do đó, để tính toán kết cấu công trình thủy lợi, trước hết cần xác định được loại tải trọng tác dụng lên kết cấu cũng như xác định được đặc tính ngẫu nhiên của kết cấu, và mô tả bằng một hàm phân bố để phục vụ tính toán.

2.1. Phân loại tác động lên kết cấu công trình thủy lợi và đặc tính ngẫu nhiên của tác động

Tùy thuộc vào việc phân loại lực tác dụng lên

Ngày nhận bài: 14/8/2017

Ngày thông qua phản biện: 12/9/2017

Ngày duyệt đăng: 20/9/2017

kết cấu công trình thủy lợi mà có nhiều cách phân loại khác nhau:

- Xét mối quan hệ tương quan, có thể phân thành 2 loại: (1) Tác động độc lập; (2) Tác động ngẫu nhiên.
- Xét theo yếu tố thời gian, có thể phân thành 3 loại: (1) Tác động vĩnh cửu (thường xuyên); (2) Tác động tạm thời; (3) Tác động ngẫu nhiên.
- Xét theo không gian tác dụng, có thể phân thành: (1) Tác động cố định; (2) Tác động di động.
- Xét theo sự phản ứng đối với kết cấu, có thể phân thành: (1) Tác động trạng thái tĩnh; (2) Tác động trạng thái động.

Khi phân tích độ tin cậy của kết cấu, các tham số thống kê và mô hình phân phối xác suất của tác động, có thể căn cứ vào quan trắc thực tế hoặc số liệu thí nghiệm mà xác định theo phương pháp thống kê. Bằng cách quan sát n giá trị thí nghiệm và giá trị quan trắc x_i của biến số ngẫu nhiên $X: X_i(i=1,2,..., n)$, có thể tính toán giá trị trung bình μ_x , sai số tiêu chuẩn σ_x , hệ số biến dị δ_x của mẫu, theo các công thức sau:

$$\mu_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.1)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2} \quad (1.2)$$

$$\delta_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \quad (1.3)$$

Sau khi tiến hành kiểm nghiệm phân phối xác suất, xây dựng được các hàm phân bố. Trong tính toán kết cấu công trình thủy lợi, phân bố chuẩn, phân bố loga chuẩn và phân bố loại cực trị I là các loại phân bố thường được áp dụng. Các loại phân bố này đã được xây dựng thành công thức và lập bảng để tính toán, có rất nhiều trong các tài liệu về xác suất thống kê.

2.2. Cơ sở phương pháp tính toán kết cấu công trình thủy lợi theo chỉ số độ tin cậy

Có thể biểu diễn tác động của lực vào kết cấu qua hệ sau:

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (1.4)$$

Trong đó:

$g(*)$ là hàm số chức năng của kết cấu;

$X_i (i= 1,2,...,n)$ là biến số cơ bản và biến số phụ thêm.

Nếu chỉ có 2 biến tổng hợp là cường độ kết cấu R và phản ứng của kết cấu S , thì điều kiện an toàn của kết cấu được biểu diễn bằng hàm: $R-S \geq 0$

Để thuận lợi khi tính toán độ tin cậy của kết cấu nói chung và độ tin cậy kết cấu công trình thủy lợi nói riêng, thường dùng chỉ số độ tin cậy (β) để đánh giá. Công thức như sau:

$$\beta = \Phi^{-1}(1 - P_f) \quad (1.5)$$

Trong đó:

$\Phi^{-1}(\bullet)$ là nghịch đảo của hàm số phân phối chuẩn chuẩn hóa;

P_f là xác suất phá hủy của kết cấu.

Để dễ dàng trong việc tính toán chỉ số độ tin cậy của kết cấu công trình thủy lợi, thường phân thành 3 trường hợp để tính toán: (1) Trường hợp đơn giản; (2) Trường hợp phi tuyến; (3) Trường hợp tổng quát. Trường hợp được xem là đơn giản khi các biến cơ bản của kết cấu $X_i (i=1,2,...,n)$ được xem là có phân phối chuẩn và độc lập với nhau, khi đó nếu trạng thái giới hạn của kết cấu thủy công được xây dựng dưới dạng tổ hợp tuyến tính của các biến cơ bản, thì phương trình trạng thái giới hạn có dạng:

$$a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cdot X_i = 0 \quad (1.6)$$

Nếu xác định được giá trị trung bình và độ

lệch chuẩn của các biến cơ bản X_i (μ_i và σ_i), thay vào công thức (1.4) tính được chỉ số độ tin cậy (β):

$$\beta = \frac{a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cdot \mu_{x_i}}{(\sum_{i=1}^n (a_i \cdot \sigma_{x_i})^2)^{1/2}} \quad (1.7)$$

Trường hợp được xem là phi tuyến nếu trạng thái giới hạn của kết cấu có quan hệ phi tuyến với các biến cơ bản X_i ($i = 1, 2, \dots, n$) có phân phối chuẩn và độc lập với nhau. Phương trình trạng thái giới hạn của kết cấu công trình thủy lợi không có dạng tuyến tính, phương trình trạng thái giới hạn có dạng:

$$g(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n) = 0 \quad (1.8)$$

Xác định chỉ số độ tin cậy của kết cấu (β) bằng cách xác định gần đúng từ hệ phương trình:

$$g(x_1^*, x_1^*, \dots, x_n^*) = 0 \quad (1.9)$$

$$x_i^* = \mu_{x_i} - \alpha_i \cdot \beta \cdot \sigma_{x_i} \quad (1.10)$$

$$\alpha_i = \frac{\sigma_{x_i} \left| \frac{\partial g}{\partial x_i} \right|_{x^*}}{\left[\sum_{i=1}^n \left(\sigma_{x_i} \left| \frac{\partial g}{\partial x_i} \right|_{x^*} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (1.11)$$

Trong đó:

x_i^* là điểm nghiệm toán thiết kế của X .

α_i là hệ số độ nhạy của X_i .

Trường hợp tổng quát, trạng thái giới hạn của kết cấu có quan hệ phi tuyến với các biến cơ bản X_i ($i = 1, 2, \dots, n$) có phân phối bất kỳ và độc lập với nhau. Có thể đưa về dạng phân phối chuẩn hóa tương đương cho các phân phối bất kỳ của các biến cơ bản theo các công thức, từ đó có thể xác định được chỉ số độ tin cậy của kết cấu (β) theo các công thức:

$$\sigma'_{x_i} = \varphi \left\{ \Phi^{-1} \left[F_{x_i}(x_i^*) \right] \right\} / f_{x_i}(x_i^*) \quad (1.12)$$

$$\mu'_{x_i} = x_i^* - \Phi^{-1} \left[F_{x_i}(x_i^*) \right] \sigma'_{x_i} \quad (1.13)$$

$$g(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = 0 \quad (1.14)$$

$$x_i^* = \mu'_{x_i} - \alpha_i \cdot \beta \cdot \sigma'_{x_i} \quad (1.15)$$

$$\alpha_i = \frac{\sigma'_{x_i} \left| \frac{\partial g}{\partial x_i} \right|_{x^*}}{\left[\sum_{i=1}^n \left(\sigma'_{x_i} \left| \frac{\partial g}{\partial x_i} \right|_{x^*} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (1.16)$$

trong đó:

μ'_{x_i} là giá trị trung bình trong phân phối chuẩn tương đương của biến ngẫu nhiên X_i

σ'_{x_i} là độ lệch chuẩn trong phân phối chuẩn tương đương của biến ngẫu nhiên X_i .

3. XÂY DỰNG CHỈ SỐ ĐỘ TIN CẬY CHO PHÉP VÀ SƠ ĐỒ KHỐI TÍNH TOÁN KẾT CẤU CÔNG TRÌNH THỦY LỢI

Cùng một công thức tính toán, nhưng giá trị chỉ số độ tin cậy cho phép của mỗi nước có thể khác nhau. Đối với những nước có trình độ khoa học công nghệ phát triển, giá trị các chỉ số này bé hơn so với các nước khác với công trình cùng cấp. Tác giả đề nghị cách xác định chỉ số độ tin cậy cho phép như sau:

Bước 1: Dựa theo TCVN về thiết kế kết cấu thủy công để chọn các loại kết cấu, hoặc cấu kiện điển hình làm đối tượng tính toán bao gồm: (1) Kết cấu thanh, dầm; (2) Kết cấu khối.

Bước 2: Trong mỗi nhóm kết cấu (hoặc cấu kiện kết cấu) như trên, xác định tổng trọng số trong cùng một nhóm bằng 1, tức là:

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1 \quad (1.17)$$

Bước 3: Xác định kích thước tối ưu nhất của kết cấu (hoặc cấu kiện) bằng cách sử dụng các giới hạn theo hệ số an toàn (hoặc ứng suất cho phép).

Bước 4: Tính toán nội lực kết cấu (hoặc cấu kiện) đã được tối ưu ở bước 3 theo mô hình xác suất. Từ đó tính toán ra β_{1i} của kết cấu (hoặc cấu kiện).

Bước 5: Xác định β_1 trung bình của nhóm kết cấu (hoặc cấu kiện trên)

Bước 6: Đối với nhiều kết cấu thủy công hoặc

cấu kiện kết cấu điển hình đã xây dựng cũng phân nhóm theo cấp an toàn kết cấu, lặp lại các bước trên xác định β_2 .

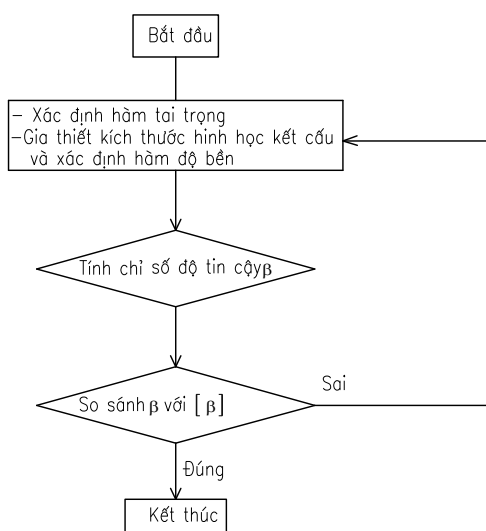
Bước 7: Xác định chỉ số độ tin cậy cho phép β bằng cách xem xét mối tương quan giữa an toàn và kinh tế dựa trên các chỉ số β_1, β_2 .

Chỉ số độ tin cậy cho phép đối với kết cấu như bảng 1:

Bảng 1. Chỉ số độ tin cậy cho phép kết cấu công trình thủy lợi [1]

Cấp an toàn của kết cấu		Cấp I	Cấp II	Cấp III
Loại hình phá hoại	Phá hoại loại I (dẻo)	3,7	3,2	Loại hình phá hoại
	Phá hoại loại II (dòn)	4,2	3,7	

Để tính toán kết cấu công trình thủy lợi, cần phải xác định được chỉ số độ tin cậy theo phương pháp đã trình bày ở trên và theo các công thức từ 1.1 đến 1.16. Sau đó so sánh với chỉ số độ tin cậy cho phép xây dựng được từ bước 1 đến bước 7 với giá trị đề xuất như trong bảng 1. Nếu thỏa mãn các giá trị này thì bài toán kết cấu đã xác định được kích thước hình học và tính chất vật liệu của kết cấu (hay cấu kiện). Trường hợp không thỏa mãn thì quay lại bước ban đầu giả thiết lại kích thước hình học và tính chất vật liệu của kết cấu (hay cấu kiện) và tiếp tục tính toán cho đến khi thỏa mãn. Toàn bộ các bước nêu trên có thể xây dựng thành sơ đồ tính toán như dưới đây:



Hình 1. Sơ đồ phương pháp tính toán kết cấu công trình theo chỉ số độ tin cậy

4. KẾT LUẬN

Như đã nêu trên, ở Việt Nam hiện nay vẫn đang phổ biến sử dụng phương pháp thiết kế truyền thống. Mặc dù, phương pháp tính toán theo độ tin cậy cũng bắt đầu đã được nghiên cứu và giảng dạy trong các trường đại học và thậm chí đã có TCVN 9905-2014 Công trình thủy lợi-Yêu cầu thiết kế kết cấu theo độ tin cậy. Cũng đã có nhiều luận án, luận văn áp dụng lý thuyết này để tính toán trong lĩnh vực thủy lợi, giao thông, xây dựng, vv....Tuy nhiên, do hạn chế trong việc xây dựng cơ sở dữ liệu yếu tố ngẫu nhiên về tải trọng cũng như độ bền, và khó khăn nhất là lựa chọn cách tính toán nào, nên cho đến nay việc áp dụng lý thuyết độ tin cậy chưa thật sự phổ biến.

Bằng cách chọn phương pháp tính toán kết cấu công trình thủy lợi theo chỉ số độ tin cậy, tác giả đã đề cập đầy đủ từ việc lựa chọn mô hình lực tác động lên kết cấu công trình thủy lợi, phương pháp tính toán chỉ số độ tin cậy từ trường hợp đơn giản đến phức tạp. Đồng thời đã xây dựng các bước để xác định độ tin cậy cho phép và đề xuất giá trị này để sử dụng. Với các kết quả trên, tác giả hi vọng rằng sẽ phần nào góp phần phổ biến lý thuyết độ tin cậy vào tính toán kết cấu công trình thủy lợi trong điều kiện Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 9905:2014, Công trình Thủy lợi- Yêu cầu thiết kế kết cấu theo độ tin cậy.
- [2] Phạm Hồng Cường (2009). Nghiên cứu xây dựng phương pháp đánh giá chất lượng hệ thống công trình thủy nông theo lý thuyết độ tin cậy trong điều kiện Việt Nam. Luận án tiến sỹ kỹ thuật.
- [3] Nguyễn Văn Mạo (2000). Lý thuyết độ tin cậy trong thiết kế công trình thủy công. Bài giảng cao học. Đại học Thủy Lợi.
- [4] Trịnh Bốn, Lê Hòa Xương (1998). Thiết kế công. Nhà xuất bản Nông nghiệp.
- [5] EN 1990:2002. Eurocode – Basic of structure design.