

Xác suất an toàn về bền trong thiết kế kết cấu dầm chịu uốn

Probability of safety in durability in design of bending beam structures

ThS. Lâm Hoàng Khang^{1,*}

¹ Trung tâm đào tạo thường xuyên, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây.

*Tác giả liên hệ: lamhoangkhang@mtu.edu.vn

■ Nhận bài: 24/01/2025 ■ Sửa bài: 22/02/2025 ■ Duyệt đăng: 07/03/2025

TÓM TẮT

Lý thuyết độ tin cậy được xây dựng và phát triển trên cơ sở các môn lý thuyết xác suất, thống kê toán học và lý thuyết các quá trình ngẫu nhiên. Tuy nhiên, trong thực tế có nhiều công trình xây dựng bị phá hoại trước thời gian dự tính. Do đó, độ tin cậy của kết cấu công trình được xác định bằng xác suất tin cậy, trong thực hành người ta thường sử dụng một trong các phương pháp sau đây: Phương pháp thực nghiệm, phương pháp tính theo sơ đồ điện và phương pháp tính theo cận. Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng chỉ số độ tin cậy β để tính xác suất an toàn về bền cho kết cấu dầm chịu uốn có tiết diện ngang hình chữ nhật chịu tải trọng tập trung P và tải trọng phân bố đều q . Xác suất an toàn về bền được xác định từ chỉ số giá trị β theo phân phối chuẩn.

Từ khóa: độ tin cậy, kết cấu công trình, xác suất an toàn, dầm nhiều nhịp, bảng phân phối.

ABSTRACT

Reliability theory is constructed and developed through the basis of probability theory, mathematical statistics, and random process theory. In reality, numerous construction projects have been destroyed ahead of schedule. The dependability of a construction structure is defined by its reliability probability. In practice, people commonly use one of the following methods: the experimental method, the diagram calculation method, and the bounded calculation method. In this study, the author employs the β reliability index to determine the safety probability of durability for beam structure featuring a rectangular cross-section that supports a concentrated load P and a uniformly distributed load q . The probability of safety regarding durability is ascertained from the β value index in accordance with the normal distribution.

Keywords: Reliability, structure, safety probability, multi-span beam, normal distribution.

1. GIỚI THIỆU

Độ tin cậy (ĐTC) của một công trình là yếu tố quan trọng để đảm bảo an toàn cho người sử dụng và môi trường xung quanh. Vì vậy, việc nghiên cứu và áp dụng các phương pháp và công nghệ để đánh giá và nâng cao độ tin cậy của công trình là cần thiết. Từ đó, chúng ta có thể đưa ra các biện pháp phòng ngừa và sửa chữa kịp thời để tránh các sự cố không mong muốn.

Hiện nay, trong tính toán các kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) thường được tính theo các trạng thái giới hạn làm việc [1-2]. Phương

pháp này đảm bảo sự an toàn cho kết cấu công trình, nó mang lại hiệu quả kinh tế và hợp lý hơn so với các phương pháp tính khác như theo một hệ số an toàn tổng hợp.

Nhiều nước đã sử dụng lý thuyết ĐTC trong việc tính toán kết cấu BTCT theo mô hình ngẫu nhiên và đã xây dựng các tiêu chuẩn thiết kế theo điều kiện của mỗi nước [3-4]. Đối với kết cấu công trình, tuổi thọ (TT) được đo bằng thang thời gian tính theo năm, được tính từ thời điểm công trình hoàn thành và đưa vào khai thác sử dụng cho đến khi chuyển sang trạng thái giới hạn [5]. Có

nhiều phương pháp xác định TT của kết cấu công trình như: Theo chỉ số ĐTC β , theo lý thuyết cơ học phá hủy hoặc theo quan điểm chịu mỗi của kết cấu [6-9], hoặc theo quan điểm tổn thương tích lũy [10].

Lý thuyết ĐTC và TT công trình được các tác giả quan tâm và nghiên cứu trong đó có Antti Saynajoki và cộng sự. Mục đích của nghiên cứu này là phân tích sự khác biệt giữa các kết quả của các nghiên cứu khác nhau và tìm hiểu xem liệu sự khác biệt có thể được giải thích là do sự khác biệt về sự lựa chọn phương pháp nghiên cứu [11]. Đánh giá ĐTC của kết cấu có vai trò quan trọng trong việc kiểm tra chất lượng công trình xây dựng. Trong lý thuyết ĐTC truyền thống, các đại lượng đầu vào trong bài toán đánh giá ĐTC được xem là các đại lượng ngẫu nhiên, mô tả bằng hàm mật độ xác suất. Dựa trên cơ sở lý thuyết xác suất - thống kê toán học và lý thuyết quá trình ngẫu nhiên, ĐTC của kết cấu đã được quy định trong tiêu chuẩn xây dựng của các nước. Tuy nhiên, qua thực tế, người ta nhận thấy các yếu tố tác động lên công trình ngày càng phức tạp, mang tính bất thường và không đủ điều kiện để xây dựng quy luật thống kê.

Hơn nữa các công trình xây dựng ngày càng có qui mô lớn, phức tạp về mặt kết cấu, sử dụng các loại vật liệu mới, đa dạng về tác động do đó đòi hỏi các chuyên gia phải nghiên cứu ĐTC, dự báo TT kết cấu công trình và mô hình hoá hệ thống kết cấu công trình theo lý thuyết ĐTC.

Lý thuyết xác suất đã được sử dụng để tạo ra các mô hình lý thuyết để xác định TT của các cấu kiện và kết cấu BTCT. Dựa trên ý tưởng về xác suất, nhóm tác giả đã đánh giá lại nhiều mô hình về đánh giá TT sử dụng của kết cấu BTCT nhưng các tác giả chưa đề cập về tác động của hư hỏng đến TT của công trình [12].

Một mô hình về khả năng đánh giá TT sử dụng của các công trình đang bị hư hỏng được trình bày trong nghiên cứu của Fabio et al. [13] dựa trên dữ liệu quan trắc. Mô hình này cũng có thể được sử dụng để thực hiện

các can thiệp để phục hồi công trình và lập kế hoạch bảo trì. Điều này được sử dụng để dự đoán TT của một trụ cầu và lựa chọn kích bản phù hợp để bảo trì và phòng ngừa hư hỏng. Việc sử dụng mô hình này để dự báo TT cũng khó khăn.

Theo lý thuyết xác suất, Fabio và cộng sự [14] đã xem xét TT sử dụng của kết cấu theo xác suất và lập kế hoạch bảo trì cho các công trình bê tông bị hư hỏng. Lúc đó, ĐTC biến đổi theo thời gian đối với các tính năng kết cấu phù hợp được tính toán. Kết quả của phân tích độ bền theo TT được sử dụng để xác định kích bản bảo trì phù hợp.

Các tác giả [15] định nghĩa gồm 3 loại TT: thiết kế, sử dụng và chức năng. Ngoài ra, nó liên quan đến vòng đời của kết cấu. Các tác giả đề xuất rằng ba loại TT được nêu trên phải được kết hợp hài hòa. TT của kỹ thuật không nên lớn hơn TT của kỹ thuật chức năng; tốt nhất là chúng phải tương đương hoặc bằng nhau. Ngoài ra, bài báo chưa nói về cách tính toán TT mà chỉ nói về các loại TT một cách tổng quát.

Tiêu chuẩn đưa ra các phương pháp dự đoán TT sử dụng của kết cấu và cấu kiện dựa trên các đặc điểm kỹ thuật và chức năng của chúng, cung cấp cơ sở chung, nguyên tắc và quy trình để thực hiện và tiến hành nghiên cứu. Trong nhiều trường hợp, việc sử dụng phương pháp hệ số để dự báo TT trong nhiều điều kiện khác nhau cũng gợi mở một cách đánh giá các hệ số của phương pháp hệ số, đặc biệt là những hệ số xem xét sự khác biệt giữa môi trường cụ thể [16].

Vào năm 2018, Nga đã phát hành một tài liệu hướng dẫn để xác định TT còn lại của các kết cấu nhà và công trình. Về cơ bản, tài liệu này đã đưa ra một phụ lục khuyến nghị về chỉ số ĐTC tối thiểu được thêm vào. Nó được tìm thấy trong tiêu chuẩn EN 1990-2010 Eurocode - Cơ sở thiết kế xây dựng [17].

Trong những năm gần đây, đã xuất hiện các công trình nghiên cứu và ứng dụng lý thuyết mờ trong xây dựng. Các nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá độ tin cậy và

tuổi thọ của công trình dựa trên các biến số không chính xác hoặc không rõ ràng [18].

Các ứng dụng lý thuyết mờ trong xây dựng công trình là một trong những lĩnh vực quan trọng trong nghiên cứu về ĐTC và TT của kết cấu công trình. Vì các công trình thường phải chịu tác động mạnh từ môi trường như sóng, gió, nhiễm mặn, và ăn mòn, nên việc đánh giá và nâng cao độ tin cậy và tuổi thọ của chúng là rất quan trọng [19-21].

Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng chỉ số ĐTC β để tính xác suất an toàn về bền cho kết cấu dầm chịu uốn có tiết diện hình mặt cắt ngang chữ nhật chịu tải trọng tập trung P và tải phân bố đều q .

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Thiết kế kết cấu theo chỉ số ĐTC:

Với giả thuyết X_1, \dots, X_n là độc lập và có phân phối chuẩn, chúng ta sử dụng phương pháp tuyến tính hóa hàm $M(X)$ theo khai triển Taylor bậc nhất, như sau (công thức 1):

$$M_{tt} = M(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*) + \sum_{i=1}^n (X_i - X_i^*) \left(\frac{\partial M}{\partial X} \right)_{X_i=X_i^*} \quad (1)$$

Trong đó:

M_{tt} : hàm tin cậy tuyến tính của M trong không gian vector biến ngẫu nhiên X .

$X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*$ là các giá trị hiện thời của biến chuẩn hóa không thứ nguyên X_i có giá trị trung bình là 0 và độ lệch chuẩn là 1.

$\left(\frac{\partial M}{\partial X} \right)_{X_i=X_i^*}$ Là đạo hàm từng phần của hàm số M theo X_i tại giá trị $X_i=X_i^*$.

Phương pháp FORM sẽ tìm điểm thiết kế MPP (Most Probable point) là điểm có mật độ xác suất hư hỏng lớn nhất nằm trên hàm trạng thái giới hạn $M_{tt}=0$. Như vậy, công thức (1) trở thành:

$$M_{tt} = M(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*) + \sum_{i=1}^n (X_i - X_i^*) \left(\frac{\partial M}{\partial X} \right)_{X_i=X_i^*} = 0$$

Khi đó giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của M_{tt} sẽ là:

$$\begin{aligned} \mu_{M_{tt}} &= M(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*) + \sum_{i=1}^n (\mu_{X_i} - X_i^*) \left(\frac{\partial M}{\partial X} \right)_{X_i=X_i^*} \\ \sigma_{M_{tt}}^2 &= \sum_{i=1}^n \sigma_{X_i}^2 x \left(\frac{\partial M}{\partial X} \right)_{X_i=X_i^*}^2 \end{aligned}$$

Và chỉ số ĐTC là:

$$\beta = \frac{\mu_{M_{tt}}}{\sigma_{M_{tt}}}$$

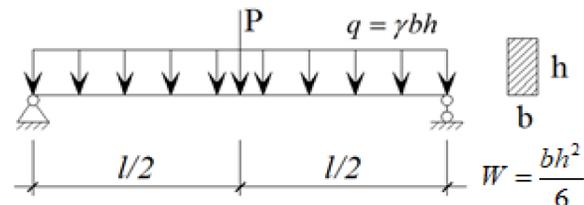
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ví dụ áp dụng:

Dầm đơn giản như Hình 1 có tiết diện chữ nhật kích thước $b \times h$ chịu lực tập trung P và trọng lượng phân bố đều q . Tính xác suất an toàn về bền của dầm, biết $[\sigma] = 20000 \text{ kN/m}^2$ và $l=6\text{m}$, $b=0,15\text{m}$, $h=0,2\text{m}$, $P=10\text{kN}$, $\gamma=6 \text{ kN/m}^3$; Với độ lệch quân phương của:

$$\hat{X}_P = 2\text{kN}; \hat{X}_\gamma = 0,05\text{kN/m}^3; \hat{X}_l = 0,03\text{m};$$

$$\hat{X}_h = 0,01\text{m}; \hat{X}_b = 0,005\text{m}$$



Hình 1. Dầm chịu uốn

3.2. Kết quả và thảo luận

Tiết diện giữa nhịp có momen uốn lớn nhất:

$$M_{\max} = \frac{Pl}{4} + \frac{ql^2}{8}$$

và ứng suất lớn nhất tại các điểm thuộc mép dưới của tiết diện giữa nhịp:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{3}{4} \left[\frac{2Pl}{bh^2} + \frac{\gamma l^2}{h} \right]$$

Quãng an toàn:

$$M = [\sigma] - \sigma_{\max}$$

Chỉ số độ cậy:

$$\beta = \frac{\bar{M}}{\sigma_M}$$

Với $\bar{M} = [\sigma] - \bar{\sigma}_{\max}$,

trong đó: $\bar{\sigma}_{\max} = 15810 \text{ kN} / \text{m}^2$

Vì $\bar{M} = f(P, \gamma, l, h, b)$ nên cần phải tính $X_{fP}; X_{f\gamma}; X_{fl}; X_{fh}; X_{fb}$ là các độ lệch quân phương thành phần. Độ lệch quân phương của yếu tố thứ i trong hàm f tính theo công thức:

$$\hat{X}_{fi} = \left| \frac{\partial f}{\partial X_i} \right| \times \hat{X}_i$$

Trong đó:

\hat{X}_i là độ lệch quân phương của riêng tham số i ,

$\left| \frac{\partial f}{\partial X_i} \right|$ là đạo hàm riêng ứng với trung bình của các tham số;

Ta tính được các giá trị đạo hàm:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial P} &= \frac{3}{4} \left[\frac{2l}{bh^2} \right] = \\ &= \frac{3}{4} \left[\frac{2 \times 6}{0,15 \times 0,2^2} \right] = 1500 (1 / \text{m}^2) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial f}{\partial \gamma} = \frac{3}{4} \left[\frac{l^2}{h} \right] = \frac{3}{4} \left[\frac{6^2}{0,2} \right] = 135 (m)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial l} &= \frac{3}{4} \left[\frac{2P}{bh^2} + \frac{2\gamma l}{h} \right] = \\ &= \frac{3}{4} \left[\frac{2 \times 10}{0,15 \times 0,2^2} + \frac{2 \times 6 \times 6}{0,2} \right] = 2770 (kN / \text{m}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial h} &= -\frac{3}{4} \left[\frac{2 \times 2Pl}{bh^3} + \frac{\gamma l^2}{h^2} \right] = \\ &= -\frac{3}{4} \left[\frac{2 \times 2 \times 10 \times 6}{0,15 \times 0,2^3} + \frac{6 \times 6^2}{0,2^2} \right] = \\ &= -154050 (kN / \text{m}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial b} &= -\frac{3}{4} \left[\frac{2Pl}{b^2 h^2} \right] = \\ &= -\frac{3}{4} \left[\frac{2 \times 10 \times 6}{0,15^2 \times 0,2^2} \right] = -100000 (kN / \text{m}^3) \end{aligned}$$

Suy ra:

$$\hat{X}_{fP} = \left| \frac{\partial f}{\partial P} \right| \times \hat{X}_P = 1500 \times 2 = 3000 (kN / \text{m}^2)$$

$$\hat{X}_{f\gamma} = \left| \frac{\partial f}{\partial \gamma} \right| \times \hat{X}_\gamma = 135 \times 0,05 = 6,75 (kN / \text{m}^2)$$

$$\hat{X}_{fl} = \left| \frac{\partial f}{\partial l} \right| \times \hat{X}_l = 2770 \times 0,03 = 83,1 (kN / \text{m}^2)$$

$$\hat{X}_{fb} = \left| \frac{\partial f}{\partial b} \right| \times \hat{X}_b = 100000 \times 0,005 = 500 (kN / \text{m}^2)$$

$$\hat{X}_{fh} = \left| \frac{\partial f}{\partial h} \right| \times \hat{X}_h = 154050 \times 0,01 = 1540,5 (kN / \text{m}^2)$$

Do đó tính được độ lệch quân phương của σ_{\max} , kí hiệu X_f

$$\begin{aligned} \hat{X}_f &= \sqrt{\hat{X}_{fP}^2 + \hat{X}_{f\gamma}^2 + \hat{X}_{fl}^2 + \hat{X}_{fh}^2 + \hat{X}_{fb}^2} = \\ &= \sqrt{3000^2 + 6,75^2 + 83,1^2 + 1540,5^2 + 500^2} = \\ &= 3410,3 (kN / \text{m}^2) \end{aligned}$$

Áp dụng công thức ta tính được xác suất an toàn của dầm:

$$\begin{aligned} P(\sigma_{\max} < [\sigma]) &= \Phi \left[\frac{[\sigma] - \sigma_{\max}}{\hat{X}_f} \right] = \\ &= \Phi \left[\frac{20000 - 15810}{3410,3} \right] = \Phi(1,23) \end{aligned}$$

Tra bảng $\Phi(1,23) = 0,8907$

→ Vậy xác suất an toàn về bền của dầm:
 $P(\sigma_{\max} < [\sigma]) = 0,8907 = 89,07\%$

4. KẾT LUẬN

Dựa vào các kết quả đã nêu trên dẫn đến một số kết luận như sau:

1. Từ kết quả tính toán ta thấy rằng, phương pháp tính toán kết cấu theo lý thuyết ĐTC có xét đến các ảnh hưởng của quá trình ngẫu nhiên, nghĩa là có xét đến những sai số ngẫu nhiên đối với các tham số tính toán như tải trọng, kích thước hình học,... qua đó ứng dụng lý thuyết ĐTC để tính toán TT của các cấu kiện, kết cấu phức tạp bằng cách đánh giá chi tiết mức độ an toàn lớn nhất cho từng loại, từng nhóm cấu kiện.

2. ĐTC của công trình xây dựng đề cập đến khả năng của công trình để hoạt động hiệu quả trong thời gian dài mà không gây ra

sự cố hoặc hỏng hóc. Điều này đòi hỏi việc đánh giá, dự đoán và quản lý các yếu tố có thể ảnh hưởng đến hiệu suất và an toàn của công trình. Nghiên cứu đã chứng minh rằng việc xây dựng và duy trì một hệ thống quản lý ĐTC chặt chẽ có thể giúp nâng cao ĐTC của công trình xây dựng.

3. Nghiên cứu về các tiêu chuẩn và quy trình đánh giá ĐTC: Cần tiếp tục nghiên cứu và phát triển các tiêu chuẩn và quy trình đánh giá ĐTC của công trình xây dựng. Điều này sẽ giúp tạo ra một khung pháp lý và quy trình chuẩn mực để đảm bảo rằng công trình được xây dựng và vận hành theo các tiêu chuẩn cao nhất.

4. Nghiên cứu về tối ưu hóa thiết kế công trình: Đối với các công trình xây dựng mới, cần tiếp tục nghiên cứu và phát triển các phương pháp tối ưu hóa thiết kế để đảm bảo ĐTC và TT cao. Các phương pháp này có thể bao gồm việc sử dụng vật liệu chất lượng cao, tối ưu hóa cấu trúc, áp dụng công nghệ xanh và bền vững, và đánh giá tác động môi trường.

5. Cần tiếp tục nghiên cứu và ứng dụng các công nghệ mới như trí tuệ nhân tạo (AI), Internet of Things (IoT), phân tích dữ liệu và học máy trong việc đánh giá ĐTC và TT của công trình. Các công nghệ này có thể cung cấp thông tin quan trọng và kịp thời về tình trạng hoạt động của công trình và giúp cải thiện quá trình quản lý và bảo trì.

6. Với tình hình biến đổi khí hậu ngày càng trầm trọng, cần tiếp tục nghiên cứu về tác động của thay đổi khí hậu lên ĐTC và TT của công trình xây dựng. Điều này sẽ giúp đưa ra các biện pháp phòng ngừa và thích ứng để đảm bảo rằng công trình có thể chịu đựng được tác động của thời tiết cực đoan và biến đổi môi trường.

7. Nghiên cứu về ĐTC và TT công trình xây dựng cần kết hợp các khía cạnh kỹ thuật, quản lý, công nghệ và tác động xã hội để đảm bảo rằng công trình xây dựng có thể tồn tại và hoạt động hiệu quả trong thời gian dài.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Đình Công, Nguyễn Duy Bản và Nguyễn Thị Thu Hương, Sàn sườn bê tông cốt thép toàn khối, NXB KH&KT, Hà Nội. 2006.
- [2] TCVN 5574-2018, Thiết kế Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép, 2018.
- [3]. Tiêu chuẩn châu Âu EN 1990:2002. Eurocode - Basis of structural design
- [4]. Andzej S. Nowalk, Kenvinr. Collins. Reliability of Structures. Mc Grow. Hill, 2000
- [5]. H. Quang, “Dự báo tuổi thọ cầu giàn thép tại km2+250, Quốc lộ 14E theo chỉ số độ tin cậy, xét đến sự thay đổi tiết diện do ăn mòn,” Luận văn Thạc sỹ, Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, 2019.
- [6]. Y. Chang, X. Wu, C. Zhang, ... and L. Xu, “Dynamic Bayesian networks based approach for risk analysis of subsea wellhead fatigue failure during service life,” *Reliability Engineering & System Safety*, 188, 454-462, 2019.
- [7]. N. V. Quyết, Cơ sở lý thuyết môi. Hà Nội: Nhà xuất bản Giáo dục, 2000.
- [8]. M. Krejsa, “Probabilistic reliability assessment of steel structures exposed to fatigue,” In Proceedings of Conference ESREL, 2013. London: Taylor & Francis Group, 2014, 2671-2679.
- [9]. S. Sankararaman, M. J. Daigle and K. Goebel, “Uncertainty quantification in remaining useful life prediction using first-order reliability methods,” *IEEE Transactions on Reliability*, No. 63, 2, 603-619, 2014.
- [10]. T. Đ. Phúc, “Dự đoán tuổi thọ còn lại của cầu trạ khúc theo lý thuyết môi,” Luận văn Thạc sỹ, Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, 2018.
- [11]. Antti Säynäjoki et al, “Can life-cycle assessment produce reliable policy guidelines in the building sector”, *Environ. Res. Lett*, 12 013001, 2017.
- [12]. Verma, S.K., Bhadauria, S.S., Akhtar, S. “Probabilistic Evaluation of Service Life for Reinforced Concrete Structures”, *Chinese Journal of Engineering*, 2014.

- [13]. Fabio B., Garavalia, E. Markovian “Modeling for Lifetime Prediction and Maintenance Planning of Deteriorating Structures”, *ICOSSAR, Rome*, 19-22, 2005.
- [14]. Fabio B., Bontempi, F., Frangopol, D.M., Malerba, P.G. “Probabilistic Service Life Assessment and Maintenance Planning of Concrete Structures”, *Journal of Structural Engineering*, 2006.
- [15]. R. Blok, F. V. Herwijnen, Service life and life cycle of building structures, University of Eindhoven, PO 513, 5600 MB Eindhoven, Netherlands.
- [16]. ISO 15686-2:2012(E), Buildings and constructed assets – Service life planning. Part2: Service life prediction procedures.
- [17]. EN 1990:2002, Eurocode - Basis of structural design, 2010.
- [18]. <https://moc.gov.vn/en/news/51270/ung-dung-ly-thuyet-mo-va-cac-huong-phat-trien-trong-nganh-xay-dung.aspx> [Truy cập 3/2/2025].
- [19]. P. H. Cường và các cộng sự, “Phân tích độ tin cậy về an toàn công trình thủy lợi việt nam”, *Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường - số 42 (9/2013)*
- [20]. Đ. V. Sĩ và các cộng tác, “Tính toán mức tăng tuổi thọ của kết cấu sau rung khử ứng suất dư theo các giả thuyết khác nhau” *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Tập 57 - Số 6 (12/2021)*
- [21]. N. L. Hương, “Tính độ tin cậy an toàn hệ thống công trình đầu mối ở hồ chứa” *Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường - số 44 (3/2014)*