

# Dự báo tuổi thọ cầu giàn thép cũ theo chỉ số độ tin cậy có xét đến yếu tố ăn mòn tiết diện tại khu vực miền Trung Việt Nam

■ GVC. TS. NGUYỄN DUY THẢO

Trường Đại học Bách khoa (Đại học Đà Nẵng)

Email: <sup>(\*)</sup>ndthao@dut.udn.vn

**TÓM TẮT:** Bài báo giới thiệu các kết quả dự báo tuổi thọ công trình cầu giàn thép cũ theo chỉ số độ tin cậy, có xét đến yếu tố ăn mòn tiết diện của môi trường tại khu vực miền Trung, Việt Nam. Phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để mô hình hóa ứng xử cầu giàn thép chịu tĩnh tải và hoạt tải khai thác. Ba mức hoạt tải HL93, 0,65HL93 và 0,5HL95 với nhiều độ lệch khác nhau trong mỗi mức được mô phỏng số tác dụng lên kết cấu cầu giàn; tiến hành khảo sát hiện trạng cầu và xác định hệ số ăn mòn kết cấu thép do môi trường theo số liệu đo thực nghiệm tại hiện trường cầu; tiến hành phân tích, đánh giá độ tin cậy và dự báo tuổi thọ còn lại cầu giàn thép cũ ứng với các mức hoạt tải khai thác khác nhau. Các kết quả đạt được của bài báo có thể được tham khảo sử dụng trong công tác vận hành và quản lý cầu, là cơ sở để tính toán cấm biển hạn chế tải trọng qua cầu hoặc thiết kế gia cường kết cấu cầu.

**TỪ KHÓA:** Tuổi thọ khai thác, chỉ số độ tin cậy, độ lệch chuẩn, cầu giàn thép, ăn mòn thép.

**ABSTRACT:** This paper presents the results of the prediction service life of old steel truss bridges using the reliability index, considering the cross-sectional corrosion factor of the environment in the Central Region of Vietnam. The finite element method is used to model the response of steel truss bridge under static and live load. Three levels of HL93, 0,65HL93, and 0,5HL95 with different deviation at each level are simulated numerically on steel truss bridges. Conduct a survey on the current state of bridges and determine the corrosion coefficient of steel structures due to the environment according to experimental measurement data at the bridge site. Conduct an analysis, assessment of the reliability and prediction the remaining service life of old steel truss bridges under different operating live load levels. The results obtained in this paper can be used as a reference for bridge operation and management, and serve as

a basis for calculating signs to limit load on bridges or designing bridge structural reinforcement.

**KEYWORDS:** Service life, reliability index, standard deviation, steel truss bridge, steel corrosion.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xác định tuổi thọ còn lại của công trình cầu có thể thực hiện theo các dấu hiệu khác nhau như là: Hao mòn vật lý (vật thể), độ bền tĩnh hoặc động học của vật liệu có xét đến khuyết tật và hư hỏng và độ mỏi của vật liệu. Có rất nhiều phương pháp và cách tiếp cận để giải quyết vấn đề này. Các mô hình xác suất thống kê đã được đề xuất áp dụng để đánh giá tuổi thọ công trình dựa vào dữ liệu quan trắc [1-2], qua đó đánh giá tính năng kết cấu biến đổi theo thời gian do tác động khuếch tán của các tác nhân xâm thực bên ngoài. Trong công bố [3], tác giả đã giới thiệu cách dự báo tuổi thọ còn lại của bể chứa trụ thép có khuyết tật dạng vết nứt ở tấm đầu tiên thông qua tính toán số chu kỳ vận hành còn lại cho tới khi bị phá hoại. Trong lĩnh vực giao thông và công trình thủy, các tác giả [4-6] phân tích tuổi thọ mỏi của kết cấu thép từ kết quả đo đạc thực tế, có đưa vào các hệ số điều chỉnh lấy từ mô phỏng số và phương pháp Palmgren-Miner. Nhiều nghiên cứu cũng đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố ăn mòn do môi trường tới tuổi thọ của kết cấu công trình. Tác giả [7] xây dựng phương pháp và mô hình dự báo tuổi thọ cho các công trình cầu bê tông cốt thép ở ven biển Việt Nam theo sự xâm nhập clo. Trong [8] trình bày phương pháp tính toán dự báo tuổi thọ do carbonat hóa và xâm nhập ion clo dựa vào kết quả thí nghiệm hệ số carbonat hóa, độ chống thấm ion clo của bê tông trong một số công trình giao thông bằng bê tông cốt thép ven biển khu vực Đà Nẵng.

Nhìn chung, đối với kết cấu thép, phần lớn các nghiên cứu tập trung vào việc phân tích, đánh giá tuổi thọ còn lại của kết cấu do hiện tượng mỏi gây ra. Đối với kết cấu bê tông cốt thép, đại đa số nghiên cứu tập trung vào hướng phân tích ảnh hưởng yếu tố ăn mòn bê tông và cốt thép do các hiện tượng carbonat hóa và xâm nhập ion clo đến khả năng chịu lực và tuổi thọ còn lại của kết cấu công trình. Các nghiên cứu xác định tuổi thọ do ăn mòn tiết diện kết cấu giàn thép trong môi trường ở nước ta hầu như còn rất hạn

chế. Bài báo giới thiệu một số kết quả phân tích, dự báo tuổi thọ còn lại cầu giàn thép cũ theo chỉ số độ tin cậy, có xét đến yếu tố ăn mòn tiết diện theo thời gian tại khu vực miền trung Việt Nam. Trong đó, sự thay đổi tiết diện kết cấu giàn thép theo thời gian do ăn mòn được lấy theo quy luật suy giảm theo hàm mũ và được hiệu chỉnh theo số liệu khảo sát thực nghiệm tại hiện trường. Ba mức độ khai thác hoạt tải khác nhau HL93 0,65HL93 và 0,5HL93 được đánh giá thông qua chỉ số độ tin cậy  $\beta$  và từ đó đưa ra các dự báo về tuổi thọ khai thác công trình cầu.

**2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐÁNH GIÁ TUỔI THỌ KẾT CẤU THEO CHỈ SỐ ĐỘ TIN CẬY**

Trong các phương pháp thiết kế thông thường, các hệ số an toàn, hệ số vượt tải, hệ số vật liệu... thực chất là các giải pháp kỹ thuật để bù đắp lại những sai số ngẫu nhiên mà trong quá trình tính toán chưa xét đến hoặc không biết đến. Quan điểm tính toán kết cấu theo lý thuyết độ tin cậy cho kết quả sát với thực tế hơn cả vì có xét đến các sai lệch ngẫu nhiên của các tham số tính toán có trong thực tế. Để thuận lợi cho việc tính toán, trong ứng dụng thường sử dụng chỉ số độ tin cậy  $\beta$ .

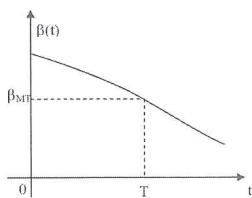
$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \tag{1}$$

Trong đó: S - Hiệu ứng tải trọng có giá trị kỳ vọng là  $\mu_S$  và độ lệch chuẩn  $\sigma_S$ ; R - Khả năng chịu lực của vật liệu, có giá trị kỳ vọng là  $\mu_R$  và độ lệch chuẩn là  $\sigma_R$ .

Giá trị  $\beta$  thể hiện giá trị trung bình của khoảng an toàn cách xa ranh giới an toàn (phá hoại) bao nhiêu lần độ lệch chuẩn của nó. Giá trị  $\beta$  càng lớn cho thấy độ tin cậy và xác suất an toàn càng cao nhưng giá thành xây dựng công trình càng lớn. Trong các tiêu chuẩn thiết kế cầu hiện nay thường chọn mức độ tin cậy thông qua chỉ số độ tin cậy mục tiêu  $\beta_{MT} = 3,5$ . Khi phân tích tuổi thọ có xét đến yếu tố ăn mòn của môi trường,  $\mu_S$  phụ thuộc thời gian, do đó chỉ số độ tin cậy  $\beta$  cũng là hàm số phụ thuộc thời gian  $t$  với giả thiết các đại lượng khác trong vế phải của công thức (1) không thay đổi. Khi đó, công thức (1) được viết lại như sau:

$$\beta(t) = \frac{R - S(t)}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \tag{2}$$

Trong đó: S(t) - Hàm ứng suất, phụ thuộc thời gian, thay đổi tương ứng với quy luật ăn mòn tiết diện; R - Giới hạn bền của vật liệu. Dựa vào sự thay đổi của  $\beta(t)$  theo thời gian có thể dự báo được tuổi thọ T của kết cấu theo  $\beta_{MT}$  như Hình 2.1.



Hình 2.1: Biểu đồ suy giảm  $\beta(t)$  theo thời gian do ăn mòn

**3. ĂN MÒN KẾT CẤU THÉP TẠI KHU VỰC MIỀN TRUNG**

Tác giả [9] đã giới thiệu mô hình ăn mòn gỉ thép của khí hậu ven biển miền Trung Việt Nam theo thời gian được biểu diễn dưới dạng hàm số mũ như sau:

$$\delta = \delta_0 \cdot e^{-\gamma t} \tag{3}$$

Trong đó:  $\delta_0$ ,  $\delta$  - Chiều dày ban đầu và chiều dày tại thời điểm  $t$  của kết cấu thép;  $\gamma$  - Hệ số ăn mòn có giá trị dao động trong phạm vi [0,002-0,004].

Trong nghiên cứu này, do công trình cầu giàn thép cũ cũng nằm trong khu vực miền Trung nên tác giả đề xuất sử dụng quy luật ăn mòn theo công thức (3) kết hợp với đo đạc thực nghiệm tại hiện trường để chuẩn hóa lại hệ số ăn mòn  $\gamma$  làm cơ sở nghiên cứu về suy giảm tiết diện kết cấu thép theo thời gian.

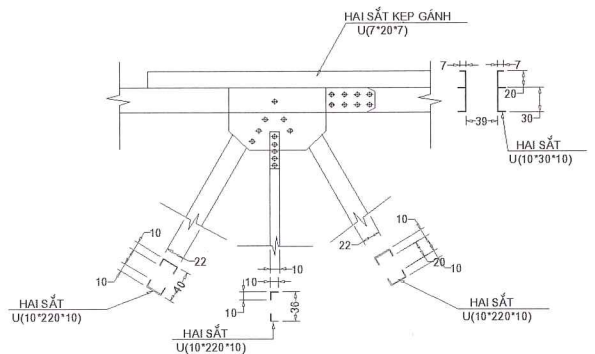
**4. KẾT QUẢ DỰ BÁO TUỔI THỌ CẦU GIÀN THÉP CŨ DO ĂN MÒN TẠI KHU VỰC MIỀN TRUNG, VIỆT NAM**

**4.1. Các thông số về cầu giàn thép**

Phân tích cầu giàn thép cũ tại km2+250, QL14E, tỉnh Quảng Nam (xây dựng năm 1951). Cầu có chiều dài 216 m, gồm 7 nhịp đơn giản, chiều dài nhịp mỗi  $L = 30,8$  m, khổ cầu 6,74 m. Sơ đồ, tiết diện thanh giàn được lấy theo hồ sơ quản lý cầu như Hình 4.1 - Hình 4.2.



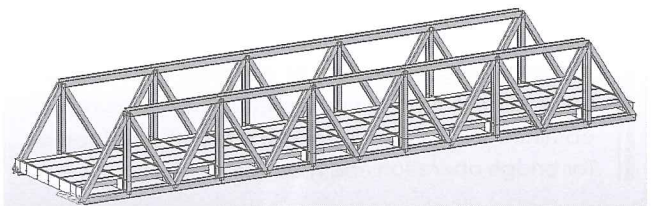
Hình 4.1: Cầu giàn thép cũ tại Quảng Nam

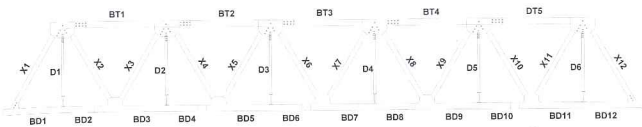


Hình 4.2: Kích thước tiết diện thanh giàn

**4.2. Mô phỏng số ứng xử cầu giàn**

Áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn để mô phỏng cầu giàn như Hình 4.3. Tiến hành phân tích ứng suất trong các thanh giàn thép ban đầu theo bài toán tiền định là thời điểm kết cấu giàn thép mới xây dựng năm 1951. Kết quả phân tích ứng suất trong các thanh giàn do tĩnh tải và hoạt tải với 3 cấp độ HL93 0,65HL93 và 0,5 HL93 được thống kê như Bảng 4.1.





Hình 4.3: Mô hình hóa cầu bằng phương pháp phân tử hữu hạn

Bảng 4.1. Ứng suất thanh giàn theo mô hình ban đầu

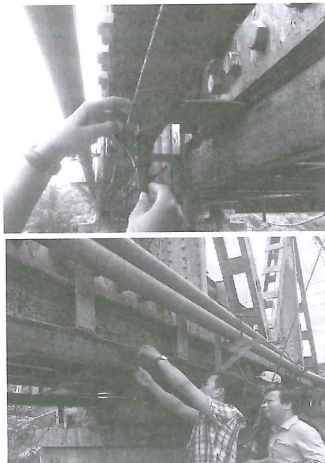
STT	Thanh giàn	Ứng suất $\sigma_{max}$ (KN/m <sup>2</sup> )		
		HL93	0,65HL93	0,5HL93
1	Biên trên - BT 3	-115,27	-98,39	-91,16
2	Biên dưới - BD 6	111,11	94,86	87,89
3	Thanh đứng - D 5	14,20	11,37	10,16
4	Thanh xiên - X 1	-77,16	-65,83	-60,98

Kết quả phân tích cho thấy: Ứng suất trong các thanh giàn là tương đối đồng đều. Giá trị ứng suất lớn nhất trong các thanh đều nhỏ hơn giới hạn bền:  $\sigma_{max} = 115,27 \text{ kN/m}^2 < [R] = 210,0 \text{ kN/m}^2$ . Để thiên về an toàn, chỉ xét sự suy giảm tiết diện do ăn mòn đối với các thanh giàn chịu lực bất lợi nhất (có ứng suất lớn nhất) là: BT 3; BD 6; D5; X 1.

### 4.3. Quy luật ăn mòn tiết diện thanh giàn thép

Do cầu giàn tại km2+250, QL14E, tỉnh Quảng Nam, tác giả đề xuất áp dụng quy luật ăn mòn kết cấu thép theo hàm mũ như công thức (3); với hệ số ăn mòn của môi trường được xác định trực tiếp tại vị trí cầu như sau:

Đo đạc thực nghiệm chiều dày của một số vị trí kết cấu thép tại hiện trường cầu cũ (thời điểm đo đạc khảo sát vào tháng 6/2022):



Hình 4.4: Khảo sát đo đạc chiều dày thanh giàn

Trong khoảng thời gian khai thác từ năm 1951 đến năm 2022 ( $t = 71$  năm), với chiều dày ban đầu  $\delta_0 = 10$  mm (theo hồ sơ quản lý cầu) tại một số vị trí của thanh biên dưới và biên dưới đã bị gỉ sét ăn mòn sâu đến 2,327 mm và chiều dày thép còn lại  $\delta_{(t=71 \text{ năm})} = 7,673$  mm. Dựa vào các kết quả đo đạc hiện trường, kết hợp với công thức (3) có thể xác định được hệ số ăn mòn  $\gamma = 0,00373$ , từ đó xác định được quy luật suy giảm tiết diện thanh giàn thép do ăn mòn theo thời gian như sau:

$$\delta(t) = 10 \cdot e^{-0,00373t} \quad (4)$$

### 4.4. Dự báo tuổi thọ còn lại kết cấu nhịp cầu giàn thép tại km2+250, QL14E theo chỉ số độ tin cậy b

Áp dụng công thức (4) có thể xác định được chiều dày còn lại của các thanh giàn thép theo thời gian do môi trường ăn mòn như sau:

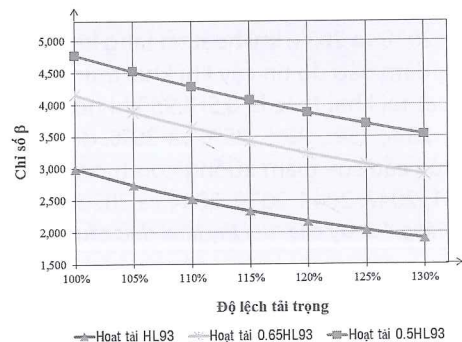
Bảng 4.2. Chiều dày các thanh còn lại sau khi ăn mòn

Năm	Thời gian	Chiều dày thanh (mm)		
	t (năm)	B. dưới/trên	Xiên	Đứng
1951	0	10,000	10,000	10,000
2024	73	7,617	7,617	7,617
2034	83	7,340	7,340	7,340
2044	93	7,070	7,070	7,070
2054	103	6,810	6,810	6,810
2064	113	6,560	6,560	6,560
2074	123	6,320	6,320	6,320

Tiến hành đánh giá độ tin cậy về điều kiện bền của từng thanh giàn trong hệ khi xem xét độ bền giới hạn theo phân phối chuẩn với độ lệch giới hạn bền 5%, độ lệch chuẩn của tải trọng theo các cấp hoạt tải HL93 và 0,5HL93 tương ứng lần lượt là 5%, 10%, 15%, 20%, 25% và 30%. Công thức xác định chỉ số độ tin cậy cầu giàn theo điều kiện bền như sau:

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\hat{\sigma}_R^2 + \hat{\sigma}_S^2}} \quad (5)$$

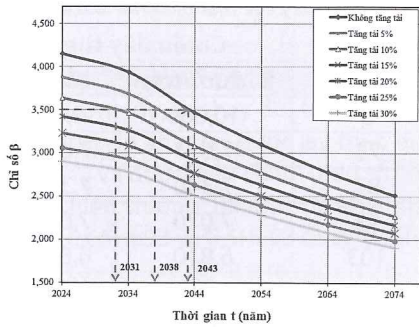
Trong đó:  $\bar{R}$  - Kỳ vọng về khả năng chịu lực (giới hạn bền);  $\bar{S}$  - Kỳ vọng về ứng suất;  $\hat{\sigma}_R$  - Độ lệch chuẩn của giới hạn bền;  $\hat{\sigma}_R = 5\%R_u = 0,05 \cdot 210,000 = 10,500 \text{ kN/m}^2$ ;  $\hat{\sigma}_S$  - Độ lệch chuẩn của ứng suất phụ thuộc vào tải trọng và sự suy giảm tiết diện thanh giàn do ăn mòn gây ra. Tiến hành mô hình hóa lại kết cấu nhịp cầu giàn với kích thước suy giảm tiết diện ở các thời điểm khảo sát khác nhau như Bảng 4.2 tương ứng với các mức độ tăng hoạt tải khác nhau (5 - 30%) để xác định ứng suất trong các thanh giàn tại các thời điểm khảo sát khác nhau. Áp dụng công thức (5) có thể xác định được chỉ số độ tin cậy  $\beta$  của hệ giàn.



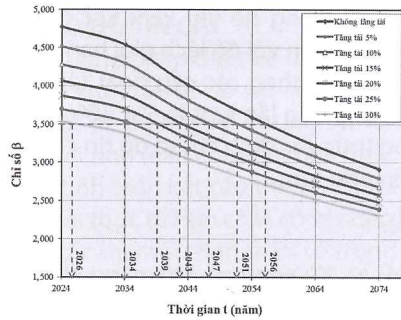
Hình 4.5: Chỉ số β cầu giàn - năm 2024

Kết quả xác định chỉ số độ tin cậy  $\beta$  của cầu giàn tại thời điểm năm 2024 thể hiện tại Hình 4.5 cho thấy: Tương ứng với mức hoạt tải khai thác HL93, chỉ số độ tin cậy  $\beta$  của hệ giàn  $< \beta_{MT} = 3,5$ . Như vậy, cầu không đảm bảo độ tin cậy khai thác với hoạt tải HL93. Đối với cấp hoạt tải khai thác 0,65HL93 và 0,5HL93, cầu đảm bảo độ tin cậy tương ứng với các mức độ lệch chuẩn của hoạt tải là khác nhau. Do vậy, ở phần tiếp theo chỉ thực hiện phân tích và dự báo tuổi thọ của cầu giàn theo các cấp hoạt tải 0,65HL93 và 0,5HL93.

Kết quả phân tích sự suy giảm chỉ số độ tin cậy  $\beta$  của cầu giàn theo thời gian do yếu tố ăn mòn và mức độ biến động tải trọng theo các mức tải trọng 0,65HL93 và 0,5HL thể hiện như Hình 4.6 và Hình 4.7.



Hình 4.6: Suy giảm chỉ số  $\beta$  theo thời gian (0,65HL93)



Hình 4.7: Suy giảm chỉ số  $\beta$  theo thời gian (0,5HL93)

Các kết quả ở Hình 4.6 - Hình 4.7, cho thấy: Ở mức hoạt tải khai thác là 0,65HL93, tuổi thọ khai thác của cầu theo chỉ số độ tin cậy là đến năm 2043; với mức hoạt tải khai thác thấp hơn là 0,5HL93, tuổi thọ khai thác của cầu có thể tăng lên đến năm 2056. Khi có sự biến động (gia tăng) về hoạt tải khai thác, tuổi thọ của cầu giảm đáng kể: Ở mức hoạt tải 0,65HL93, khi hoạt tải tăng lần lượt 5%, 10%, dự báo tuổi thọ khai thác của cầu suy giảm xuống còn tương ứng là năm 2038 và 2031; khi hoạt tải tăng lớn hơn 15% cầu giảm không đảm bảo độ tin cậy khi khai thác sử dụng. Ứng với mức hoạt tải khai thác là 0,5HL93 khi hoạt tải tăng lần lượt là 5%, 10%, 15%, 20%, 25% và 30%, dự báo tuổi thọ khai thác của cầu suy giảm xuống còn tương ứng lần lượt là năm 2051, 2047, 2043, 2039, 2034 và 2026 như Bảng 4.3.

Bảng 4.3. Dự báo tuổi thọ khai thác cầu giàn

STT	Chế độ khai thác	Hoạt tải 0,65HL93		Hoạt tải 0,5HL93	
		Tuổi thọ khai thác (năm)	Tuổi thọ còn lại (năm)	Tuổi thọ khai thác (năm)	Tuổi thọ còn lại (năm)
1	Không tăng hoạt tải	2043	19	2056	32
2	Tăng hoạt tải 5,0%	2038	14	2051	27
3	Tăng hoạt tải 10%	2031	7	2047	23
4	Tăng hoạt tải 15%	K. đảm bảo		2043	19
5	Tăng hoạt tải 20%	K. đảm bảo		2039	15
6	Tăng hoạt tải 25%	K. đảm bảo		2034	10
7	Tăng hoạt tải 30%	K. đảm bảo		2026	2

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích dự báo tuổi thọ cầu giàn thép cũ tại km2+250, QL14E, tỉnh Quảng Nam theo chỉ số độ tin cậy

có xét đến yếu tố suy giảm tiết diện do yếu tố ăn mòn do môi trường tại khu vực miền Trung Việt nam, một số kết luận có thể rút ra như sau:

- Dự báo được tuổi thọ khai thác cầu giàn ứng với các mức tải trọng khai thác khác nhau: Với mức tải trọng HL93, cầu không đảm bảo độ tin cậy trong khai thác; với mức tải trọng 0,65HL93, tuổi thọ khai thác còn lại là 19 năm; với mức khai thác là 0,5HL93, tuổi thọ khai thác còn lại là 32 năm.

- Tuổi thọ cầu phụ thuộc lớn vào chế độ khai thác và lượng xe quá tải qua cầu. Ở mức khai thác 0,65HL93 khi gia tăng thêm 5 - 10% hoạt tải, tuổi thọ còn lại của cầu suy giảm xuống còn (14 - 7) năm. Ở mức khai thác 0,5HL93 khi gia tăng thêm 5 - 30% hoạt tải, tuổi thọ còn lại của cầu suy giảm xuống còn (27 - 2) năm.

## Tài liệu tham khảo

[1]. Fabio Biondini & Elsa Garavalia, Markovian (19-22, June, 2005), *Modeling for Lifetime Prediction and Maintenance Planning of Deteriorating Structures*, ICOSSAR, Rome.

[2]. Fabio Biondini, Franco Bontempi, Dan M. Frangopol, Pier Giorgio Malerba (May, 2006), *Probabilistic Service Life Assessment and Maintenance Planning of Concrete Structures*, Journal of Structural Engineering ASCE.

[3]. Vũ Lệ Quyên (2021), *Tính toán tuổi thọ còn lại của bê tông cốt thép có khuyết tật dạng nứt tại bản dưới cùng của thành bể*, Tạp chí Khoa học kiến trúc và xây dựng, Trường Đại học kiến trúc Hà Nội, số 42.

[4]. Vũ Đàm Chinh, Đinh Quang Cường (2014), *Đánh giá ảnh hưởng của ứng suất tĩnh đến tuổi thọ mỏi của kết cấu công trình biển cố định bằng thép trong điều kiện biển Việt Nam*, Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng, Trường Đại học Xây dựng, số 21/10.

[5]. Cao Văn Lâm, Thân Đức Phúc (2018), *Dự đoán tuổi thọ còn lại của kết cấu nhịp thép theo lý thuyết mỏi thông qua kết quả thực nghiệm*, Tạp chí GTVT, số 12.

[6]. Nguyễn Hữu Hưng, Trần Thị Thu Hằng, Trần Minh Long (2007), *Đánh giá tuổi thọ mỏi còn lại của kết cấu nhịp cầu giàn thép thông qua kết quả đo*, Tạp chí Cầu đường Việt Nam, số 1+2.

[7]. Đào Văn Dinh (2014), *Dự báo tuổi thọ sử dụng kết cấu cầu bê tông cốt thép ở ven biển Việt Nam do xâm nhập Cl<sub>2</sub>*, Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học GTVT, Hà Nội.

[8]. Nguyễn Văn Tươi, Hồ Văn Quân, Trần Thế Truyền và cs (2018), *Dự báo tuổi thọ của kết cấu bê tông cốt thép theo tiêu chí ăn mòn cốt thép do carbonat hóa và xâm nhập ion Cl<sub>2</sub>*, Tạp chí GTVT, số 9.

[9]. Lê Đức Vinh (2006), *Phương pháp đánh giá chất lượng kết cấu công trình chịu tác động của khí hậu ven biển miền Trung Việt Nam theo lý thuyết độ tin cậy*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.

Ngày nhận bài: 22/02/2024

Ngày nhận bài sửa: 18/3/2024

Ngày chấp nhận đăng: 10/4/2024