

Đánh giá khả năng khai thác 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

■ GVC. TS. NGUYỄN DUY THẢO^(*); PGS. TS. VÕ DUY HÙNG

Trường Đại học Bách khoa (Đại học Đà Nẵng)

Email: ^(*)ndthao@dut.udn.vn

TÓM TẮT: Bài báo giới thiệu các kết quả đánh giá khả năng chịu hoạt tải 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. Cầu giàn thép được phân tích thông qua mô hình phần tử hữu hạn. Hoạt tải khai thác được mô phỏng số theo ba mức HL93, 0,65HL93 và 0,5HL95 với nhiều độ lệch khác nhau trong mỗi mức. Tiến hành khảo sát hiện trạng cầu và đề xuất quy luật hàm suy giảm tiết diện kết cấu thép do ăn mòn tại khu vực miền Trung, Việt Nam. Tiến hành phân tích, đánh giá độ tin cậy cầu giàn thép cũ sau hơn 70 năm sử dụng 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: Chỉ số độ tin cậy, độ lệch chuẩn, cầu giàn thép, ăn mòn thép, hoạt tải.

ABSTRACT: This paper presents the results of the live load capacity assessment 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 steel truss bridge is analyzed using the finite element method. The live load is simulated numerically at three levels of HL93, 0,65HL93 and 0,5HL95 with different deviation at each level. Conduct a survey on the current state of bridges and propose a degradation law of the cross-sectional area reduction of steel structures due to corrosion in the Central region of Vietnam. Conduct an analysis and assessment of the reliability of old steel truss bridges after more than 70 years of use 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 and posting load restriction signs or designing the reinforcement of the bridge structure.

KEYWORDS: Reliability index, standard deviation, steel truss bridge, steel corrosion, live load.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dưới tác động của hoạt tải khai thác và môi trường, công trình cầu không thể tránh khỏi xuống cấp và hư hỏng theo thời gian. Việc đánh giá mức độ an toàn và khả năng khai thác là vấn đề đang được quan tâm nghiên cứu ở cả trong và ngoài nước [1-5].

Các tác giả [6] trình bày kết quả nghiên cứu về sự xâm nhập clo gây ra ăn mòn cốt thép đối với các cầu bê tông cốt thép ven biển; xây dựng phương pháp và mô hình dự báo tuổi thọ công trình cầu bê tông cốt thép ở ven biển Việt Nam theo sự xâm nhập clo. Trong [7] giới thiệu cách tính toán dự báo tuổi thọ do carbonat hóa và xâm nhập ion clo dựa vào kết quả thí nghiệm xác định 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. Các nghiên cứu [8-9] phân tích tuổi thọ mỗi kết cấu thép dựa theo đường cong mỏi S-N theo phương pháp Palmgren - Miner trong điều kiện môi trường Việt Nam.

Có thể thấy rằng, phần lớn nghiên cứu tập trung vào việc phân tích, đánh giá kết cấu do ảnh hưởng yếu tố ăn mòn bê tông và cốt thép do carbonat hóa và xâm nhập ion clo đến khả năng chịu lực và tuổi thọ của cầu kiện, kết cấu công trình. Các nghiên cứu ảnh hưởng khả năng khai thác do ăn mòn tiết diện kết cấu giàn thép trong môi trường ở nước ta hầu như còn rất hạn chế. Trong nghiên cứu này giới thiệu một số kết quả phân tích, đánh giá khả năng chịu hoạt tải 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, quy luật suy giảm tiết diện kết cấu giàn thép do ăn mòn được lấy theo quy luật hàm mũ và được kiểm tra hiệu chỉnh theo số liệu đo thực nghiệm tại hiện trường công trình. 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 b và từ đó đưa ra các khuyến cáo về khả năng khai thác công trình cầu.

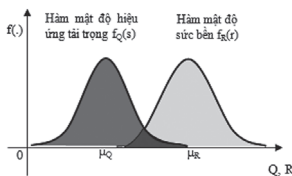
2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ TÍNH TOÁN KẾT CẤU THEO CHỈ SỐ ĐỘ TIN CẬY

Trong mô hình hóa kết cấu thường quan tâm đến 3 yếu tố cơ bản là tải trọng, tính chất vật liệu và kích thước hình học. Các tính chất đặc trưng về vật liệu, tải trọng, kích thước hình học của cấu kiện... phụ thuộc vào quá trình làm việc của con người và nhiều nhân tố ảnh hưởng khác, các thông tin thu thập không đầy đủ, không chính xác và không tuân theo một quy luật cụ thể. Do vậy, chúng tiềm ẩn tính ngẫu nhiên và không chắc chắn. Do vậy, việc phân tích tính toán kết cấu theo lý thuyết độ tin cậy sát với thực tế hơn cả vì nó 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 β , tương ứng với xác suất tin cậy P_s (hay là xác suất từ chối P_f).

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

Trong đó: S - Hiệu ứng tải trọng tác dụng lên kết cấu, có kỳ vọng là μ_S và độ lệch chuẩn σ_S ; R - Khả năng chịu lực của vật liệu, có kỳ vọng là μ_R và độ lệch chuẩn là σ_R ; các đặc trưng thống kê của chúng được thành lập trên cơ sở số liệu thí nghiệm, quan sát và đo đạc.

Mô hình giao thoa thể hiện xác suất không an toàn như Hình 2.1.



Hình 2.1: Vùng giao thoa thể hiện xác suất không an toàn

Giá trị β cho biết trị trung bình của khoảng an toàn ($\mu_M = \mu_R - \mu_S$) nằm cách xa ranh giới an toàn/phá hoại bao nhiêu lần độ lệch chuẩn của nó ($\sigma_M = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$). Giá trị β càng lớn cho thấy độ tin cậy càng cao hay xác suất phá hủy càng thấp. Thông số β này không chỉ đơn thuần về an toàn kỹ thuật mà còn liên quan đến bài toán tối ưu và hiệu quả kinh tế. Trong các tiêu chuẩn thiết kế cầu hiện nay thường chọn mức độ tin cậy thông qua chỉ số độ tin cậy mục tiêu $\beta_{MT} = 3,5$.

3. ĂN MÒN KẾT CẤU THÉP DO MÔI TRƯỜNG

Ăn mòn kết cấu thép là sự phá hủy bề mặt do gỉ gây ra; các phần tử của kết cấu bị mất dần đi diện tích ban đầu và khi thời gian đủ dài kết cấu mất khả năng chịu lực. Theo các nghiên cứu của Lê Đức Vinh [10] đã đề cập đến việc xác định mô hình ăn mòn gỉ thép của khí hậu ven biển miền Trung Việt Nam, kết quả nghiên cứu theo dõi thống kê các kết cấu thép sử dụng dưới 10 năm, tốc độ ăn mòn trung bình khoảng 0,2 mm/năm, trên 30 năm tốc độ ăn mòn chỉ còn 0,08 mm/năm, từ đó đề xuất quy luật ăn mòn chiều sâu thép carbon theo thời gian được biểu diễn dưới dạng hàm số mũ như sau:

$$\delta = \delta_0 \cdot e^{-\gamma t} = \delta_0 \cdot e^{-(0,002+0,004)t} \quad (2)$$

Trong đó: δ_0 - Chiều dày ban đầu và chiều dày tại thời điểm t của kết cấu thép; γ - Hệ số ăn mòn.

Trong nghiên cứu này, các tác giả chọn quy luật ăn mòn theo công thức (2) làm cơ sở nghiên cứu về suy giảm tiết

diện kết cấu thép theo thời gian để tính toán kết cấu cầu giàn thép theo chỉ số độ tin cậy.

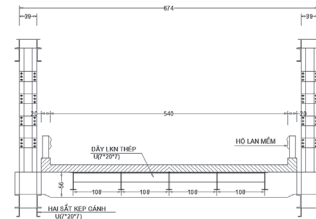
4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH TẠI CẦU GIÀN THÉP CŨ TẠI KHU VỰC MIỀN TRUNG, VIỆT NAM

4.1. Giới thiệu về cầu giàn thép

Cầu giàn thép cũ được khảo sát phân tích tại km2+250, QL14E trên địa bàn tỉnh Quảng Nam. Cầu có chiều dài 216 m, gồm 7 nhịp đơn giản, chiều dài nhịp mỗi L = 30,8 m, khổ cầu rộng 6,74 m. Các thông số kích thước mặt cắt ngang và tiết diện thanh giàn thép được khảo sát, thể hiện như Hình 4.1.



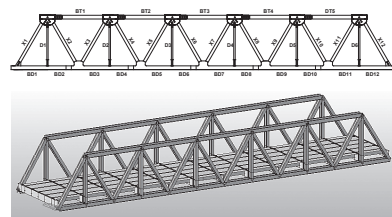
Hình 4.1: Cầu giàn thép cũ tại Quảng Nam



Hình 4.2: Kích thước cầu giàn thép cũ tại Quảng Nam

4.2. Phân tích tính toán ứng suất kết cấu nhịp

Tiến hành phân tích ứng suất trong các thanh giàn thép theo bài toán tiền định là thời điểm cầu mới xây dựng năm 1951 (năm đầu tiên bắt đầu tính ăn mòn). Ứng xử của kết cấu cầu dưới tác dụng của tĩnh tải bản thân, bản mặt cầu, các lớp phủ mặt cầu và hoạt tải HL93 được mô phỏng theo phương pháp phần tử hữu hạn như Hình 4.3 và kết quả như Bảng 4.1.



Hình 4.3: Mô phỏng ứng xử cầu giàn thép

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

STT	Thanh giàn	Tung độ bao ứng suất (KN/m ²)		
		σ_{max}	σ_{min}	$\sigma_{xét}$
I	Thanh biên trên			
	BT 3	-15,386	-115,270	-115,270
II	Thanh biên dưới			
	BD 6	111,110	64,666	111,110
III	Thanh đứng			
	D 5	14,197	6,117	14,197
IV	Thanh xiên			
	X 1	-45,100	-77,160	-77,160

Kết quả phân tích ứng suất theo Bảng 4.1 cho thấy: Ứng suất lớn nhất trong các thanh giàn là tương đối đồng đều. $\sigma_{max} = 115,27 \text{ kN/m}^2 < [R] = 210,0 \text{ kN/m}^2$, tất cả các thanh giàn đều có ứng suất nhỏ hơn ứng suất cho phép. Với kết

quả ứng suất ở trên ta chỉ xét sự suy giảm tiết diện đối với các thanh giàn bất lợi nhất cụ thể các thanh có ứng suất lớn nhất: BT 3, BD 6, D5, X 1.

4.3. Khảo sát sự suy giảm tiết diện thanh giàn thép khi xét đến ăn mòn theo thời gian

Tiến hành khảo sát kích thước, đo đặc chiều dày của một số vị trí kết cấu giàn thép tại hiện trường cầu km2+250, QL14E, tỉnh Quảng Nam (tháng 6/2022).



Hình 4.4: Khảo sát đo đặc chiều dày thanh giàn

Kết quả đo đặc khảo sát hiện trường cho thấy: Tại các thanh biên trên và dưới, tình trạng gỉ thép do ăn mòn xuất hiện nhiều nhất. Trong khoảng thời gian khai thác từ năm 1951 đến năm 2022 (t = 71 năm), với chiều dày ban đầu $\delta_0 = 10 \text{ mm}$ (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 $\delta_{(t=71 \text{ năm})} = 7,673 \text{ mm}$. Dựa vào các kết quả đo đặc hiện trường, kết hợp với công thức (4) 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:

$$\delta(t) = 10 \cdot e^{-0,00373t} \quad (3)$$

4.4. Đánh giá khả năng khai thác kết cấu nhịp cầu giàn thép tại km2+250, QL14E theo chỉ số độ tin cậy b

Do bị ăn mòn, chỉ số độ tin cậy β của kết cấu nhịp đã giảm xuống. Cần phải đánh giá lại khả năng an toàn khai thác cầu giàn thép thông qua sự suy giảm b so với $\beta_{MT} = 3,5$. Mặt khác, tải trọng khai thác có xu hướng tăng do hiện tượng xe vận tải chở hàng vượt tải khá phổ biến. Điều đó cho thấy sự biến đổi tải trọng khai thác cầu cũng là yếu tố ngẫu nhiên cần được xem xét. Trên cơ sở đó, việc xác định chỉ số độ tin cậy β của cầu phải được xem xét cả 2 vấn đề là tải trọng biến động và sự suy giảm tiết diện kết cấu do môi trường ăn mòn. Thực hiện đánh giá độ tin cậy về bền của từng thanh giàn với độ lệch giới hạn bền 5%, độ lệch chuẩn của tải trọng theo các cấp tăng hoạt tải tương ứng là 5%, 10%, 15%, 20%, 25% và 30%.

Công thức xác định độ tin cậy cầu giàn theo độ bền:

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\hat{X}_R^2 + \hat{X}_S^2}} \quad (4)$$

Trong đó: \bar{R} - Kỳ vọng về khả năng chịu lực của thanh giàn (giới hạn bền); \bar{S} - Kỳ vọng về nội lực trong các thanh giàn do tính tải và hoạt tải gây ra; \hat{X}_R - Độ lệch chuẩn của giới hạn bền; xét về điều kiện bền: $\hat{X}_R^2 = \delta \cdot Ru$ (δ - Độ lệch giới hạn bền). $\hat{X}_R = 5\%Ru = 0,05 \cdot 210,000 = 10,500 \text{ kN/m}^2$; \hat{X}_S - Độ lệch chuẩn của ứng suất của cấu kiện đang xét 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 thời điểm hiện tại như Bảng 4.2

tương ứng với các mức độ tăng hoạt tải khác nhau (5 - 30%). Kết quả ứng suất trong các thanh giàn do tính tải và hoạt tải được tổng hợp ở Bảng 4.2.

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

Năm	Thanh giàn	T.gian t (năm)	Chiều dày (mm)
1951	Biên trên, dưới	0	10,00
	Thanh xiên		10,00
	Thanh đứng		10,00
2024	Biên trên, dưới	73	7,616
	Thanh xiên		7,616
	Thanh đứng		7,616

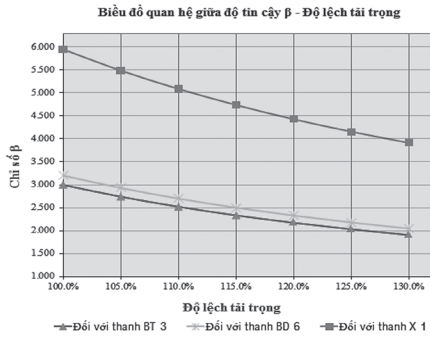
Bảng 4.3. Ứng suất các thanh-mức độ tăng hoạt tải

Trường hợp tải trọng	Ứng suất s_{max} (kN/m ²)			
	BT 3	BD 6	D 5	X 1
100%-HL93	145,1	140,2	18,1	96,9
105%-HL93	148,2	143,2	18,6	98,9
110%-HL93	151,4	146,2	19,1	101,0
115%-HL93	154,5	149,2	19,6	103,1
120%-HL93	157,6	152,3	20,1	105,2
125%-HL93	160,8	155,3	20,7	107,3
130%-HL93	163,9	158,3	21,2	109,4
100%-0,65HL93	123,1	119,0	14,4	82,2
105%-0,65HL93	125,2	120,9	14,7	83,5
110%-0,65HL93	127,2	122,9	15,1	84,9
115%-0,65HL93	129,2	124,9	15,4	86,3
120%-0,65HL93	131,3	126,8	15,8	87,6
125%-0,65HL93	133,3	128,8	16,1	89,0
130%-0,65HL93	135,4	130,8	16,4	90,3
100%-0,5HL93	113,7	109,9	12,8	75,9
105%-0,5HL93	115,3	111,4	13,1	76,9
110%-0,5HL93	116,9	112,9	13,4	78,0
115%-0,5HL93	118,4	114,4	13,6	79,0
120%-0,5HL93	120,0	115,9	13,9	80,1
125%-0,5HL93	121,6	117,5	14,1	81,1
130%-0,5HL93	123,1	119,0	14,4	82,2

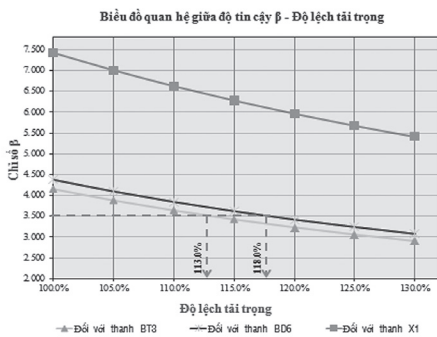
Áp dụng công thức (4) để xác định chỉ số độ tin cậy cho mỗi thanh giàn. Kết quả xác định chỉ số độ tin cậy β của toàn hệ cầu giàn theo các mức tải trọng thể hiện theo các Hình 4.5 - Hình 4.7.

Các kết quả nghiên cứu trên Hình 4.5 cho thấy thanh BT3 là bất lợi nhất vì có chỉ số độ tin cậy β thấp nhất. Độ tin cậy của toàn hệ bằng độ tin cậy của thanh BT3. Như vậy, độ tin cậy β của hệ giàn $< \beta_{MT} = 3,5$ nên cầu giàn thép tại km2+250, QL14E không đảm bảo độ tin cậy khai thác với hoạt tải HL93.

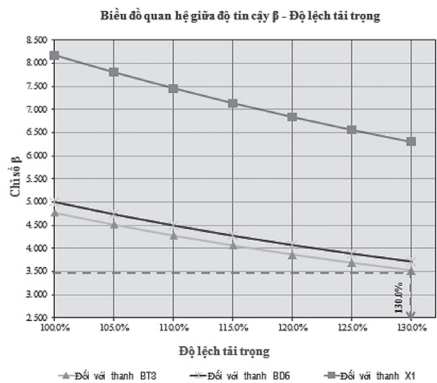
Các kết quả nghiên cứu trên Hình 4.6 thể hiện rằng: Ứng với mức hoạt tải khai thác 0,65HL93 và với giá trị mục tiêu $\beta_{MT} \geq 3,5$, thì cầu đảm bảo khai thác sử dụng với hoạt tải 0,65HL93 và cho phép mức tăng hoạt tải (độ lệch so với 0,65HL93) không vượt quá 13%. Tương tự, ứng với mức hoạt tải khai thác 0,5HL93 ở Hình 4.7 thì cầu đảm bảo khai thác sử dụng và cho phép mức tăng hoạt tải tối đa (độ lệch so với 0,5HL93) là 30%.



Hình 4.5: Chỉ số β cầu giàn - hoạt tải HL93



Hình 4.6: Chỉ số β của cầu giàn - hoạt tải 0,65HL93



Hình 4.7: Chỉ số β của cầu giàn - hoạt tải 0,5HL93

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích, đánh giá khả năng khai thác cầu giàn thép cũ có xét đến yếu tố suy giảm tiết diện do yếu tố ăn mòn tại khu vực miền trung Việt nam, một số kết luận có thể rút ra như sau:

- Khảo sát đo đạc hiện trạng cầu và đề xuất quy luật hàm suy giảm tiết diện kết cấu thép tại khu vực miền Trung Việt Nam do yếu tố ăn mòn gây ra. Trên cơ sở quy luật đó có thể sử dụng đánh giá độ tin cậy của kết cấu thép công trình.

- Đánh giá khả năng khai thác cầu giàn thép tại km2+250, QL14E, tỉnh Quảng Nam theo chỉ số độ tin cậy, cụ thể như sau: Cầu không đảm bảo độ tin cậy khai thác với hoạt tải HL93; ứng với mức hoạt tải 0,65HL93 cầu đảm bảo độ tin cậy trong quá trình khai thác với độ lệch (mức tăng thêm hoạt tải) không quá 13%; với mức hoạt tải 0,5HL93 cầu đảm bảo độ tin cậy khi khai thác với độ lệch hoạt tải tối đa không quá 30%.

- Các kết quả đạt được của bài báo có thể được tham khảo trong công tác quản lý vận hành khai thác cầu, làm cơ sở để đề xuất các giải pháp hạn chế tải trọng qua cầu hoặc tính toán gia cường tải trọng cho công trình cầu nhằm đảm bảo độ tin cậy trong suốt quá trình khai thác sử dụng cầu.

Tài liệu tham khảo

[1]. Nguyễn Duy Thảo, Võ Duy Hùng (2021), *Nghiên cứu hiệu chỉnh mô hình đánh giá khả năng chịu tải công trình cầu dựa vào số liệu đo đạc thực nghiệm trên mô hình toàn cầu*, Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 15 (7V), 36-48.

[2]. H. Tran-Ngoc, Leqia He, Edwin Reynders, S. Khatir, T. Le-Xuan, G. De Roeck, T. Bui-Tien, M. Abdel Wahab (2020), *An efficient approach to model updating for a multispan railway bridge using orthogonal diagonalization combined with improved particle swarm optimization*, Journal of Sound and Vibration 476, 115315.

[3]. AASHTO-LRFR (2011), *The manual for Bridge evaluation, 2th Edition*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, USA.

[4]. 22TCN 243-98 (1998), *Quy trình kiểm định cầu trên đường ô tô*, Bộ GTVT, Việt Nam.

[5]. Nguyễn Duy Thảo, Nguyễn Văn Mỹ, Lê Văn Lạc, Nguyễn Hoàng Vinh (2013), *Ứng dụng công nghệ "Wireless structural Bridge testing System" đánh giá khả năng chịu tải công trình cầu Nguyễn Tri Phương tại TP. Đà Nẵng, Phần 1: Cầu dẫn, dầm Super T, L=40 m*, Hội nghị Khoa học toàn quốc - Hạ tầng giao thông Việt Nam với phát triển bền vững, tr.329-336.

[6]. 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 Clo*, Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học GTVT, Hà Nội.

[7]. 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 Clo*, Tạp chí GTVT, số 09.

[8]. Vũ Đàm Chính, Đinh Quang Cường (10/2014), *Đánh giá ảnh hưởng của ứng suất tĩnh đến tuổi thọ môi 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 Hà Nội, số 21.

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

[10]. 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: 19/01/2024
Ngày nhận bài sửa: 27/02/2024
Ngày chấp nhận đăng: 18/3/2024