

NGHIÊN CỨU XÁC SUẤT XUẤT HIỆN TÀU ĐI SAI LƯỜNG KHI LƯU THÔNG QUA CẦU CÓ XÉT THÊM ẢNH HƯỞNG CỦA BIẾN ĐỔI LÒNG CHỦ VÀ HỆ THỐNG CẢNH BÁO

Nguyễn Quốc Bảo^{a,*}

^a*Khoa Cầu Đường, Trường Đại học Xây dựng,
số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 23/06/2019, Sửa xong 07/10/2019, Chấp nhận đăng 08/10/2019

Tóm tắt

Nghiên cứu tính toán xác suất hư hỏng của công trình cầu sau khi va chạm với tàu thuyền đòi hỏi tính toán khả năng (xác suất) tàu đi sai luồng vận tải khi lưu thông trên sông. Việc xác định xác suất này đã được đề cập trong các tiêu chuẩn thiết kế cầu. Bài báo đề xuất bổ sung thêm hai hệ số điều chỉnh (hệ số xét đến hệ thống phát hiện va chạm và cảnh báo bằng tín hiệu cũng như hệ số xét đến sự thay đổi lòng chủ của sông qua các năm). Việc tính toán xác suất tàu đi sai luồng vận tải khi lưu thông qua một công trình cầu giả định đã minh chứng được sự cần thiết của việc bổ sung hai hệ số này vào công thức tính toán. Hơn nữa, mô phỏng số Monte-Carlo cũng được thực hiện và kết quả được so sánh với các dữ liệu lịch sử để khẳng định tính đúng đắn của công thức đề xuất.

Từ khoá: va tàu; cầu; xác suất; luồng vận tải; mô phỏng Monte-Carlo.

STUDY OF THE PROBABILITY OF VESSEL ABERRANCY WHEN THROUGHT BRIDGE WITH CONSIDERATION OF CHANGE OF RIVERBED AND COLLISION WARNING SYSTEM

Abstract

Studying the collapsed probability of bridge due to vessel collision requires calculus of the probability of vessel aberrancy, when vessels go wrong in the transport flow. This probability is addressed in the bridge design standards. This article proposes adding two adjustment factors (a coefficient referring to bridge collision warning system and a coefficient considering the change of riverbed). The calculation of the probability of vessel aberrancy, when vessels pass a hypothetical bridge, proved the necessity of adding these two coefficients to the calculation formula. Moreover, Monte-Carlo simulations are also performed and the results are compared with historical data to confirm the correctness of the proposed formula.

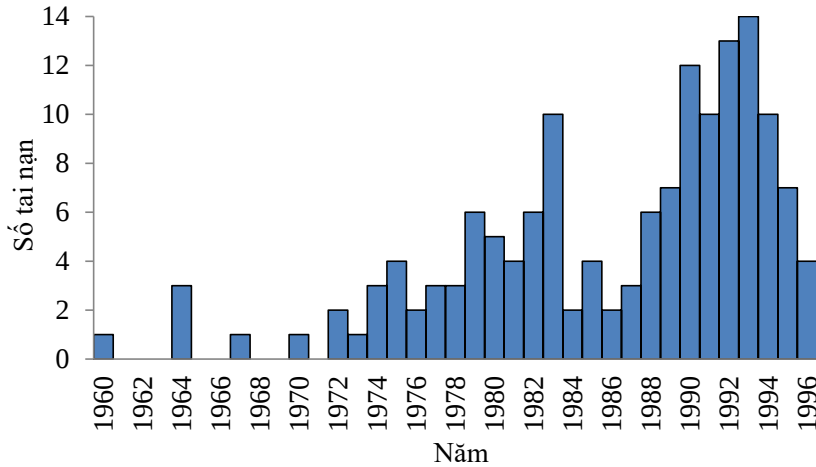
Keywords: vessel collision; bridge; probability; transport flow; Monte-Carlo simulation.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(1V\)-10](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(1V)-10) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Va chạm giữa tàu thuyền và công trình cầu được coi là sự cố nghiêm trọng trong giao thông đường thủy và hệ lụy của nó thường là những thiệt hại lớn về cả con người và tài sản (điển hình là những hư hỏng cục bộ của các bộ phận chịu lực dẫn đến các hư hỏng tổng thể và cuối cùng là sập cầu). Nghiên cứu [1] đã tập hợp và phân tích những vụ tai nạn giữa tàu, sà lan (sau đây gọi chung là tàu) và công trình cầu trong những năm 1960-1996 và tổng hợp như trên Hình 1. Qua đó có thể thấy các vụ tai nạn của cầu liên quan đến tàu có chiều hướng nghiêm trọng, thiệt hại về tài sản có xu hướng gia tăng.

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: baonq@nuce.edu.vn (Bảo, N. Q.)



Hình 1. Tổng hợp tai nạn tàu-cầu từ năm 1960 đến năm 1996 [1]

Phân tích các nguy cơ xảy ra tai nạn cũng như các bài học trong quá khứ có thể tổng hợp các nhóm nguyên nhân chủ yếu dẫn đến tai nạn giữa tàu và công trình cầu như sau [2-4]:

- Nguyên nhân xuất phát từ yếu tố con người: đây là nguyên nhân chủ yếu dẫn đến các vụ tai nạn đường thủy giữa tàu và công trình cầu, chiếm từ 60% đến 85% các vụ tai nạn [5]. Nguyên nhân này thông thường xuất phát từ tâm lý chủ quan của lái tàu, hoặc từ năng lực yếu kém của lái tàu hoặc thậm chí từ sự không tuân thủ luật giao thông đường thủy, ...

- Nguyên nhân xuất phát từ yếu tố thay đổi dòng chảy: dưới tác động của hiện tượng xói-bồi tự nhiên, lòng chủ có thể xuất hiện những thay đổi nhất định khiến cho ngay cả dưới sự tập trung cao độ của người lái, tàu vẫn có khả năng va chạm vào kết cấu cầu. Ngoài ra, khi xuất hiện xói cục bộ tại vị trí mố trụ, các xoáy nước khiến cho việc kiểm soát tàu không còn dễ dàng nữa cũng là một nguyên nhân không thể bỏ qua.

- Nguyên nhân xuất phát từ yếu tố thời tiết: khi nước sông dâng cao (do bão, lũ lụt, ...) hay do sương mù dày đặc, ... thì việc điều khiển tàu sẽ trở nên khó khăn hơn và do đó cũng có thể dẫn đến tai nạn.

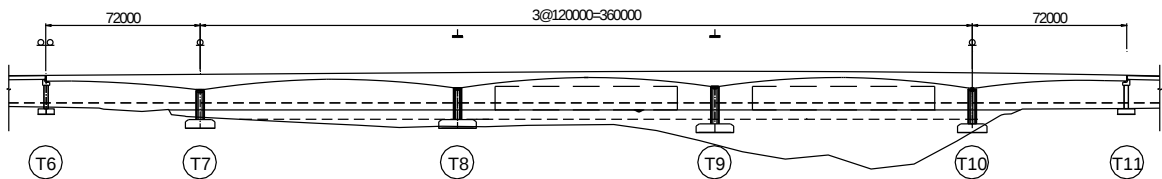
- Nguyên nhân xuất phát từ sự cố kỹ thuật: nếu vì một nguyên nhân nào đó tàu bị chết máy đột ngột hoặc có thể mất liên kết giữa tàu kéo và sà lan (dẫn đến sà lan trôi tự do), ... thì tàu rất có khả năng va chạm với công trình cầu.

Khi xảy ra va chạm thì kết cấu công trình cầu có thể xuất hiện những hư hỏng từ cục bộ (nứt, vỡ bê tông) cho đến những hư hỏng tổng thể và có thể kéo theo sự phá hủy hệ thống kết cấu chịu lực chính của công trình (mố, trụ và dầm chủ). Do vậy, việc nghiên cứu va chạm giữa tàu và công trình cầu được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước đặc biệt quan tâm, [6-18]. Tiêu chuẩn thiết kế cầu [3] và [4] đã giới thiệu công thức tính tần suất sập đổ trung bình năm của các bộ phận công trình cầu sau va chạm với tàu trong mục 3.14.5 và trong mục 13.5-phần 3.

Bài báo này tập trung phân tích, nghiên cứu xác suất tàu đi sai luồng vận tải, là một xác suất quan trọng dùng để tính toán xác suất phá hoại cầu sau khi va chạm với tàu. Để ứng dụng việc nghiên cứu này, bài báo đi theo hướng phân tích một công trình cầu liên tục giả định.

2. Giới thiệu chung về công trình cầu nghiên cứu

Cầu được giả thiết thiết kế với sơ đồ: $(39,1+4 \times 40+39,1)+(72+3 \times 120+72)+(39,1+4 \times 40+39,1)$ m. Tổng chiều dài cầu tính đến đuôi mố là 992,4 m. Cầu chính là cầu liên tục bằng bê tông cốt thép dự ứng lực thi công theo phương pháp đúc hẫng cân bằng, có sơ đồ nhịp là $(72+3 \times 120+72)$ m = 504 m, xem Hình 2. Cầu chính có 6 trụ trong đó: hai trụ T8 và T9 là trụ khung, các trụ còn lại bố trí gối. Cầu có hai nhịp thông thuyền tại nhịp N9 (T8-T9) và N10 (T9-T10). Cầu dẫn sử dụng dầm Super-T đúc sẵn, mỗi bờ gồm 6 nhịp.



Hình 2. Sơ đồ đoạn giữa cầu: phần cầu đúc hẫng

3. Xác suất xuất hiện tàu đi sai luồng vận tải tính theo ASSHTO LRFD 2012

Theo tiêu chuẩn thiết kế cầu [3, 4], cũng như phân tích trong [2], các nguy cơ tiềm ẩn có thể dẫn đến khả năng va chạm giữa tàu và công trình cầu có thể là sai lầm xuất phát từ người lái tàu, điều kiện thời tiết bất lợi, sự cố kỹ thuật hay sự thay đổi lòng chủ, ... Xác suất xuất hiện tàu đi sai luồng, PA , có thể được tính toán dựa trên công thức kinh nghiệm như sau [3, 4]:

$$PA = (BR) \cdot (R_B) \cdot (R_C) \cdot (R_{XC}) \cdot (R_D) \quad (1)$$

trong đó BR được hiểu là nguy cơ mất an toàn cơ sở; R_B là hệ số điều chỉnh có xét đến vị trí xây dựng cầu; R_C là hệ số điều chỉnh có xét đến tác động song song của dòng chảy so với hướng đi của tàu; R_{CX} là hệ số điều chỉnh có xét đến tác động vuông góc của dòng chảy so với hướng đi của tàu; R_D là hệ số điều chỉnh có xét đến mật độ của tàu lưu thông trên sông xung quanh vị trí xây dựng cầu.

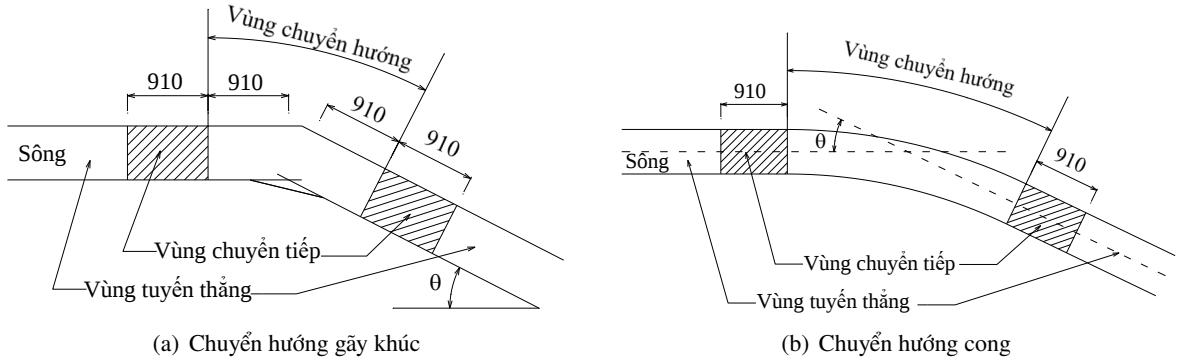
3.1. Nguy cơ mất an toàn cơ sở

Nguy cơ mất an toàn cơ sở, BR , được hiểu là khả năng tàu đi sai luồng và được hiệu chỉnh thông qua bốn hệ số điều chỉnh còn lại. Giá trị BR cho dưới đây được xác định từ các số liệu thống kê [3, 4]:

$$\begin{cases} BR = 0,6 \cdot 10^{-4} & \text{đối với tàu thủy} \\ BR = 1,2 \cdot 10^{-4} & \text{đối với sà lan} \end{cases} \quad (2)$$

3.2. Hệ số điều chỉnh R_B

Đối với các cầu nằm trong vùng tuyến thẳng, tàu có thể qua lại một cách dễ dàng nên hệ số điều chỉnh có xét đến vị trí xây dựng cầu R_B lúc này được lấy bằng 1 [3, 4]. Khi cầu được xây dựng trong vùng chuyển hướng, xem Hình 3, khả năng tàu đi chệch luồng vận tải là rất lớn, do chỉ xét riêng việc điều khiển tàu trong vùng này cũng khó hơn nhiều so với vùng tuyến thẳng, khi đó, hệ số điều chỉnh $R_B = 1 + \theta/45^\circ$ (trong đó θ là góc chuyển hướng) [3, 4]. Trong vùng chuyển tiếp, khả năng tàu đi chệch hướng luồng vận tải sẽ nhỏ hơn so với trong vùng chuyển hướng và lớn hơn so với vùng tuyến thẳng, do đó, hệ số điều chỉnh được lấy như sau: $R_B = 1 + \theta/90^\circ$ [3, 4].



Hình 3. Hệ số điều chỉnh R_B [3, 4]

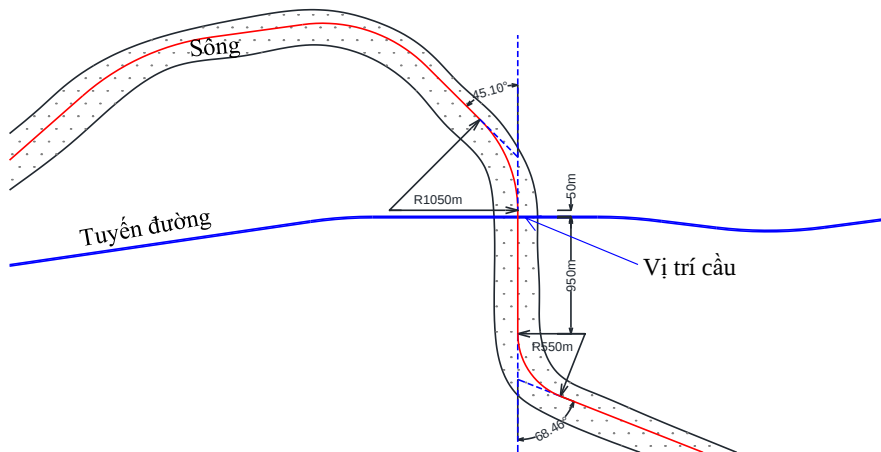
Công trình cầu trong bài báo được xây dựng qua sông như trên Hình 4. Khi xét theo hướng từ hạ lưu đi thượng lưu: cầu được xây dựng trong vùng tuyến thẳng (do khoảng cách từ vị trí xây dựng cầu đến điểm bắt đầu đường cong là 950 m, lớn hơn 910 m) (Hình 4). Vậy, hệ số điều chỉnh có xét đến vị trí xây dựng cầu [3, 4]:

$$R_B = 1 \quad (3)$$

Tuy nhiên, khi xét theo hướng ngược lại: cầu nằm trong vùng chuyển tiếp với góc chuyển hướng $\theta = 45,10^\circ$ (do khoảng cách từ vị trí xây dựng cầu đến điểm bắt đầu đường cong là 50 m, nhỏ hơn 910 m) (Hình 4). Vậy, hệ số điều chỉnh có xét đến vị trí xây dựng cầu được tính như sau [3, 4]:

$$R_B = 1 + \theta/90 = 1,501 \quad (4)$$

Như vậy, hệ số điều chỉnh R_B được lấy giá trị lớn nhất trong hai giá trị vừa tính được, $R_B = 1,501$.



Hình 4. Vị trí cầu

3.3. Hệ số điều chỉnh R_C và R_{CX}

Hệ số điều chỉnh R_C và R_{CX} là hai hệ số liên quan đến tác động của dòng chảy ảnh hưởng tới khả năng đi sai luồng vận tải, trong đó: R_C là hệ số có xét đến tác động của dòng chảy theo hướng song

song so với hướng đi của tàu và R_{CX} là hệ số có xét đến tác động của dòng chảy theo hướng vuông góc so với hướng đi của tàu. Các hệ số này được xác định trên cơ sở: khi vận tốc dòng chảy tăng thì việc kiểm soát tàu trở nên khó khăn hơn và được tính như sau, [3, 4]:

$$R_C = 1 + \frac{V_C}{0,5144 \cdot 10} \quad (5)$$

$$R_{CX} = 1 + \frac{V_{CX}}{0,5144} \quad (6)$$

trong đó V_C và V_{CX} lần lượt là vận tốc dòng chảy theo hướng song song và theo hướng vuông góc so với hướng đi của tàu; 0,5144 là hệ số chuyển đổi đơn vị.

Khi đi qua cầu, tàu thường di chuyển trên đường thẳng và gần như song song với hướng dòng chảy. Hơn nữa, việc xác định chính xác góc hợp bởi hướng dòng chảy và hướng di chuyển của tàu là khó khả thi. Vì vậy, bài báo giả thiết góc này bằng 5° , do vậy vận tốc $V_C = 1,733$ m/s và $V_{CX} = 0,152$ m/s. Các hệ số điều chỉnh có xét đến tác động của dòng chảy được tính như sau:

$$R_C = 1,337; \quad R_{CX} = 1,295 \quad (7)$$

3.4. Hệ số điều chỉnh R_D

Hệ số điều chỉnh R_D là hệ số có xét khả năng gặp nhiều tàu đồng thời lưu thông trên sông xung quanh vị trí xây dựng cầu, được xác định như sau, [3, 4]:

$$\begin{cases} R_D = 1,0 & \text{khi mật độ thấp} \\ R_D = 1,3 & \text{khi mật độ trung bình} \\ R_D = 1,6 & \text{khi mật độ cao} \end{cases} \quad (8)$$

- Mật độ thấp được áp dụng trong trường hợp hiếm gặp tàu đi qua, hoặc bất thành linh có tàu trong vùng lân cận vị trí cầu,

- Mật độ trung bình áp dụng khi thỉnh thoảng gặp tàu đi qua, hoặc bất thành linh có tàu trong vùng lân cận vị trí cầu,

- Mật độ cao áp dụng khi thường xuyên bắt gặp tàu thuyền qua lại vùng lân cận vị trí cầu.

Đối với công trình cầu này thì mật độ là trung bình nên $R_D = 1,3$. Như vậy, khả năng đi sai luồng vận tải, PA , có thể được tính theo phương trình (1) như sau: Đối với tàu thủy: $PA = 2,027 \cdot 10^{-4}$; Đối với sà lan: $PA = 4,054 \cdot 10^{-4}$.

4. Một số nhận xét khi xác định xác suất xuất hiện tàu đi sai luồng

Việc xác định khả năng tàu đi sai luồng vận tải theo [3, 4] căn cứ trên nguyên nhân xảy ra, xuất phát từ: yếu tố con người, yếu tố thời tiết và các yếu tố liên quan đến sự cố kỹ thuật của tàu. Như vậy, công thức (1) được xây dựng dựa trên các yếu tố kể trên. Và do đó, nếu như các yếu tố được xét đến chưa đầy đủ so với thực tế thì phương trình (1) sẽ thiếu đi mức độ chính xác cần thiết. Có thể kể đến một số yếu tố khác có ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng tàu đi sai luồng vận tải như sau [10]:

Tầm nhìn: là một trong các yếu tố có ảnh hưởng lớn đến khả năng đi sai luồng vận tải, nhất là khi không có hệ thống dẫn đường, hệ thống phát hiện và cảnh báo va chạm. Khi tầm nhìn hạn chế thì khả năng tàu đi sai luồng là rất lớn. Đặc biệt, khi tầm nhìn xuống dưới 200 m trong điều kiện sương mù dày đặc thì khả năng đi sai luồng có thể lớn hơn hàng trăm lần so với điều kiện thông thường [10].

Trời tối: cũng là một trong các yếu tố có ảnh hưởng đến khả năng đi sai luồng, giống như yếu tố tầm nhìn. Nghiên cứu [11] đã chỉ ra rằng khả năng va chạm có thể tăng lên đến bốn lần khi lưu thông ban đêm so với ban ngày.

Gió: khi vận tốc gió tăng từ 6-8 m/s lên 11-14 m/s thì khả năng va chạm giữa tàu và trụ cầu có thể tăng lên đến ba lần [10].

Sự thay đổi lòng chủ: Đối với một số con sông, khi lưu lượng nước chảy là lớn hoặc rất lớn, lòng chủ tại vị trí xây dựng cầu có thể biến đổi theo năm. Điển hình tại Việt Nam có thể kể đến sông Hồng, sông Đà, sông Gianh, sông Đà Rằng, sông Đồng Nai, sông Cổ Chiên, ... Thực tế điều tra khảo sát cho thấy, vị trí lòng chủ của các con sông này thay đổi qua các năm. Khi đó, khả năng tàu thuyền đi sai luồng vận tải sẽ tăng lên do thay đổi thói quen của người lái tàu, được thể hiện qua hệ số điều chỉnh R_{LC} .

Hệ số điều chỉnh R_{LC} lấy chuẩn bằng 1 với trường hợp sông không có hoặc có rất ít biến động về lòng chủ theo các năm. Trong các trường hợp còn lại, hệ số này cần lấy lớn hơn 1 và khi có những thay đổi mạnh mẽ, cần tăng thêm giá trị của hệ số này. Hệ số này cần được xác định dựa vào dữ liệu lịch sử hoặc thực nghiệm. Tuy nhiên, trong bước đầu của nghiên cứu, hệ số này có thể được đề xuất như sau:

$$\begin{cases} R_{LC} = 1,0 & \text{khi không có sự thay đổi lòng chủ} \\ R_{LC} = 1,2 & \text{khi có sự thay đổi lòng chủ không nhiều} \\ R_{LC} = 1,4 & \text{khi có sự thay đổi lòng chủ nhiều} \\ R_{LC} = 2,0 & \text{khi có sự thay đổi lòng chủ mạnh mẽ} \end{cases} \quad (9)$$

Hệ thống phát hiện va chạm và cảnh báo bằng tín hiệu: giúp cho người lái tàu tăng mức độ tập trung, giảm thiểu tâm lý chủ quan, hạn chế sự không tuân thủ giao thông đường thủy, ... từ đó giảm khả năng tàu đi sai luồng vận tải [10, 19]. Khi nguyên nhân va chạm giữa tàu và công trình cầu phần lớn xuất phát từ yếu tố con người thì hệ thống cảnh báo bằng tín hiệu góp một phần đáng kể vào việc hạn chế tai nạn đường thủy, được thể hiện qua hệ số điều chỉnh R_{TH} .

Hệ số điều chỉnh R_{TH} lấy chuẩn bằng 1 với trường hợp không có hệ thống phát hiện và cảnh báo tín hiệu, trong trường hợp có hỗ trợ của hệ thống này, hệ số R_{TH} sẽ nhỏ hơn 1, thể hiện việc giảm khả năng tàu đi sai luồng vận tải [10, 20, 21]. Việc xác định hệ số này không đơn giản do khó có thể thu thập được số liệu liên quan. Sau khi tổng hợp các dữ liệu lịch sử [22], nếu tàu được trang bị hệ thống thông tin và hiển thị biểu đồ điện tử (ECDIS) thì khả năng tàu đi sai luồng giảm tới xấp xỉ 40%. Do vậy, trong bước đầu của nghiên cứu, hệ số này được đề xuất như sau:

$$\begin{cases} R_{TH} = 1,0 & \text{khi không có hệ thống phát hiện, cảnh báo} \\ R_{TH} = 0,6 & \text{khi có hệ thống phát hiện, cảnh báo bằng loa} \\ R_{TH} = 0,3 & \text{khi có hệ thống phát hiện, cảnh báo bằng loa, tín hiệu số} \end{cases} \quad (10)$$

Ở đây cảnh báo bằng tín hiệu số bao gồm các phương pháp truyền tin đến tàu, xử lý thông tin và phát tín hiệu cảnh báo trong phạm vi tàu.

Do vậy, công thức (1) có thể được viết lại như sau:

$$PA = (BR) \cdot (R_B) \cdot (R_C) \cdot (R_{XC}) \cdot (R_D) \cdot (R_{TH}) \cdot (R_{LC}) \quad (11)$$

Khả năng tàu đi sai luồng vận tải khi lưu thông qua công trình cầu trong bài báo, khi xét đến các trường hợp có hoặc không có sự thay đổi lòng chủ và hệ thống phát hiện và cảnh báo va chạm, được tính lại trong Bảng 1 và 2.

Bảng 1. Khả năng đi sai luồng đối với tàu thủy (PA)

		$PA \times 10^4$			
		Thay đổi lòng chủ			
		Không có	Có, không nhiều	Có, nhiều	Có, mạnh mẽ
Hệ thống phát	Không có	2,027	2,432	2,838	4,054
hiện va chạm và	Có, loa	1,216	1,459	1,703	2,432
cảnh báo sớm	Có, loa và tín hiệu số	0,608	0,730	0,851	1,216

Bảng 2. Khả năng đi sai luồng đối với sà lan (PA)

		$PA \times 10^4$			
		Thay đổi lòng chủ			
		Không có	Có, không nhiều	Có, nhiều	Có, mạnh mẽ
Hệ thống phát	Không có	4,054	4,865	5,676	8,108
hiện va chạm và	Có, loa	2,432	2,919	3,405	4,865
cảnh báo sớm	Có, loa và tín hiệu số	1,216	1,459	1,703	2,432

Với giả thiết công trình cầu nêu trên chưa thiết lập hệ thống phát hiện và cảnh báo va chạm nên hệ số R_{TH} được lấy bằng 1. Mặt khác, công trình này được giả thiết xây dựng vượt con sông có lưu lượng nước bình quân hàng năm rất lớn và lòng chủ có những biến động theo các năm. Do vậy, kiến nghị lấy hệ số $R_{LC} = 1,4$. Như vậy, xác suất tàu đi sai luồng vận tải khi đi qua công trình cầu nêu trên được tính lại theo công thức (11) như sau: Đối với tàu thủy: $PA = 2,838 \cdot 10^{-4}$; Đối với sà lan: $PA = 5,676 \cdot 10^{-4}$.

Theo các số liệu quan trắc và thu thập được từ nhiều công trình cầu trên thế giới [10], khả năng tàu đi sai luồng vận tải dao động trong khoảng từ $(0,4 \div 6,3) \cdot 10^{-4}$. Như vậy, xác suất tàu đi sai luồng vận tải đối với công trình cầu nêu trên được tính theo công thức (11) thiên về an toàn, ở cận trên so với các số liệu thống kê trong [10].

5. Độ nhạy của công thức

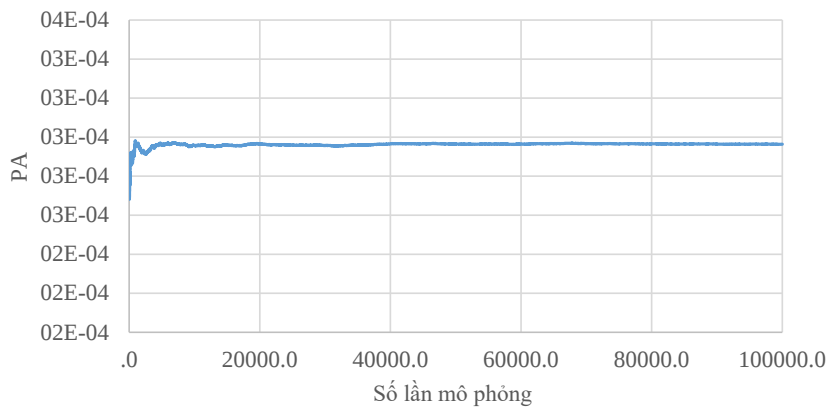
Để xác định được độ nhạy của công thức tính xác suất đi sai luồng vận tải, mô phỏng số Monte-Carlo được thực hiện với giả thiết $BR, R_B, R_C, R_{CX}, R_D, R_{TH}, R_{LC}$ là các thông số ngẫu nhiên. Cụ thể hơn: BR là biến ngẫu nhiên tuân theo quy luật phân phối đều trong đoạn $[0,6 \div 1,2] \cdot 10^{-4}$; R_B được tính thông qua góc chuyển hướng θ (được giả thiết là biến ngẫu nhiên tuân theo quy luật phân phối đều trong đoạn $[0^\circ \div 45^\circ]$, thu thập các công trình thực tế cho thấy góc này đều không lớn hơn 45° ; R_C, R_{CX} được tính thông qua vận tốc dòng chảy v và góc hợp bởi hướng dòng chảy và hướng di chuyển của tàu ϕ , trong đó v là biến ngẫu nhiên tuân theo quy luật phân phối chuẩn ($\mu_v = 1,74$) và ϕ là biến ngẫu nhiên tuân theo quy luật phân phối đều trong đoạn $[0^\circ \div 10^\circ]$; R_D là biến ngẫu nhiên tuân theo quy luật phân phối đều trong đoạn $[1 \div 1,6]$; R_{TH} là biến ngẫu nhiên tuân theo quy luật phân phối đều trong đoạn $[0,3 \div 1]$; R_{LC} là biến ngẫu nhiên tuân theo quy luật phân phối đều trong đoạn $[1 \div 2]$.

Biến thiên của xác suất đi sai luồng vận tải của tàu thuyền theo số lần mô phỏng số Monte-Carlo được thể hiện trên Hình 5. Theo đó, số lần mô phỏng tối thiểu để đạt được độ chính xác cần thiết (xác

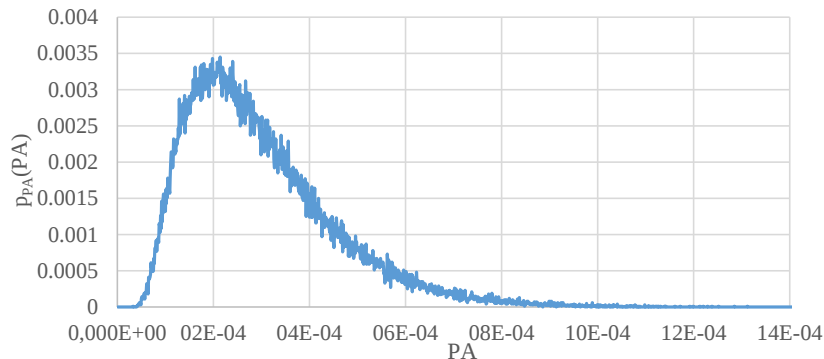
suất PA hội tụ) là khoảng 40000 lần. Hình 6 biểu diễn đồ thị hàm mật độ xác suất của biến PA . Khi gọi F là hàm phân phối của biến ngẫu nhiên PA , ta có:

$$\begin{cases} F^{-1}(3\%) = 0,955 \cdot 10^{-4} \\ F^{-1}(5\%) = 1,085 \cdot 10^{-4} \\ F^{-1}(95\%) = 5,925 \cdot 10^{-4} \\ F^{-1}(96,3\%) = 6,3 \cdot 10^{-4} \\ F^{-1}(97\%) = 6,535 \cdot 10^{-4} \\ F^{-1}(55,3\%) = 2,835 \cdot 10^{-4} \\ F^{-1}(93,8\%) = 5,675 \cdot 10^{-4} \end{cases} \quad (12)$$

Giá trị xác suất tàu đi sai luồng, tính theo (11), tương ứng với xác suất xuất hiện xấp xỉ 55,3% cho tàu thủy và 93,8% cho sà lan. Như vậy, khi xét thêm hai yếu tố lòng chủ và hệ thống cảnh báo thì xác suất hay nguy cơ mất an toàn có tăng lên và tiến đến cận lớn của nguy cơ mất an toàn dựa trên dữ liệu lịch sử [10].



Hình 5. Biến thiên của xác suất đi sai luồng theo số lần mô phỏng Monte-Carlo



Hình 6. Đồ thị mật độ của xác suất đi sai luồng

6. Kết luận

Để xác định được độ tin cậy của công trình cầu khi xét đến va chạm với tàu thuyền (được tính thông qua tần suất sụp đổ trung bình năm) thì cần thiết phải tính toán xác suất tàu đi sai luồng vận tải. Các tiêu chuẩn thiết kế cầu, [3, 4], có đưa ra công thức tính các xác suất kể trên. Tuy nhiên, các công thức trong tiêu chuẩn chưa kể đến sự xuất hiện của hệ thống phát hiện và cảnh báo va chạm hoặc sự thay đổi lòng chủ qua các năm.

Bài báo đề xuất bổ sung thêm hai hệ số: hệ số điều chỉnh có xét đến sự xuất hiện của hệ thống phát hiện, cảnh báo bằng tín hiệu và hệ số điều chỉnh có xét đến sự thay đổi lòng chủ xung quanh vị trí xây dựng cầu. Kết quả của việc tính toán xác suất tàu đi sai luồng vận tải khi tàu lưu thông gần một cây cầu giả định cho thấy, xác suất này tăng lên đáng kể so với trường hợp không xét đến sự thay đổi lòng chủ, từ $2,027 \cdot 10^{-4}$ lên $2,838 \cdot 10^{-4}$ đối với tàu thủy và từ $4,054 \cdot 10^{-4}$ lên $5,676 \cdot 10^{-4}$ đối với sà lan.

Để xác định tính đúng đắn của công thức đề xuất, mô phỏng số Monte-Carlo đã được thực hiện với 100000 mô phỏng. Xác suất tàu đi sai luồng vận tải hội tụ sau khoảng 40000 lần mô phỏng. Giá trị xác suất tàu đi sai luồng đối với trường hợp trong bài báo tính theo công thức đề xuất tương ứng với xác suất xuất hiện xấp xỉ 55,3% cho tàu thủy và 93,8% cho sà lan. Kết quả cho thấy khi xét thêm hai yếu tố lòng chủ và hệ thống cảnh báo thì xác suất hay nguy cơ mất an toàn có tăng lên và tiến đến cận lớn của nguy cơ mất an toàn dựa trên dữ liệu lịch sử.

Tài liệu tham khảo

- [1] van Manen, S. E., Frandsen, A. G. (2017). Ship collision with bridges, review of accidents. *Proceedings of the International Symposium on Advances in Ship Collision Analysis*, Copenhagen, Denmark, 3–12.
- [2] Bảo, N. Q. (2018). Các yếu tố ngẫu nhiên trong phân tích tác động va tàu vào trụ cầu Thái Hà. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 12(4):14–22.
- [3] AASHTO (2012). *LRFD bridge design specifications*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [4] TCVN 11823:2017. *Tiêu chuẩn thiết kế cầu*. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [5] Manuel, L., Kallivokas, L. F., Williamson, E. B., Bomba, M., Berlin, K. B., Cryer, A., Henderson, W. R. (2006). *A probabilistic analysis of the frequency of bridge collapses due to vessel impact*. University of Texas at Austin. Center for Transportation Research (CTR) Austin, Texas.
- [6] Gianni, B. A. (2010). *Bridge security*. White paper, duostech.
- [7] Svensson, H. (2009). *Protection of bridge piers against ship collision*. *Steel Construction: Design and Research*, 2(1):21–32.
- [8] Louis, A. L. B., Conway, T. R. (1996). *A multiple discriminant analysis of vessel accidents*. *Accident Analysis & Prevention*, 28(4):501–510.
- [9] Gucma, L. (2009). Methods of ship-bridge collision safety evaluation. *Reliability: Theory & Applications*, 2(13).
- [10] Larsen, O. D. (1993). *Ship collision with bridges: The interaction between vessel traffic and bridge structures*. International Association for Bridge and Structural Engineering.
- [11] Fujii, Y., Yamanouchi, H., Mizuki, N. (1974). Some factors affecting the frequency of accidents in marine traffic. *Journal of Navigation*, 27(2):239–247.
- [12] Svensson, H. (2009). *Protection of bridge piers against ship collision*. *Steel Construction: Design and Research*, 2(1):21–32.
- [13] Tiên, L. Q. (2016). Nghiên cứu biện pháp bảo vệ trụ cầu trước va chạm với phương tiện thủy. *Tạp chí Giao thông vận tải*, 5:63–65.
- [14] Bảo, N. Q. (2015). Đánh giá độ tin cậy công trình cầu - Hiệu ứng dây chuyền. *Tạp chí cầu đường Việt Nam*, 3:13–19.

- [15] Pedersen, P. T., Valsgaard, S., Olsen, D., Spangenberg, S. (1993). [Ship impacts: bow collisions](#). *International Journal of Impact Engineering*, 13(2):163–187.
- [16] Henrik, G., Dan, O. (1998). *Ship collision analysis*. Rotterdam: Balkema.
- [17] Yanmaz, A. M. (2002). Dynamic reliability in bridge pier scouring. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 26(4):367–376.
- [18] Zolan, P. (2007). *Bridge design for marine vessel collision*. Louisiana Transportation Engineering Conference, Baton Rouge, Louisiana.
- [19] Bộ Giao thông vận tải (2015). <http://mt.gov.vn/tthc/tin-tuc/38812/quan-ly-bao-hieu-duong-thuy-tu-xa-theo-mo-hinh-nao.aspx>. Truy cập ngày 27/9/2018.
- [20] Baldauf, M., Hong, S.-B. (2016). [Improving and assessing the impact of e-navigation applications](#). *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 4:1–12.
- [21] AASHTO (1991). *Commentary for vessel collision design of highway bridges*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [22] Knott, M. P. E., Winters, M. P. E. (2016). *Ship and barge collisions with bridge over navigable waterways*. PIANC-World Congress Panama City, Panama.