

CÁC YẾU TỐ NGẪU NHIÊN TRONG PHÂN TÍCH TÁC ĐỘNG VA TÀU VÀO TRỤ CẦU THÁI HÀ

Nguyễn Quốc Bảo^{a,*}

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

Lịch sử bài viết:

Nhận ngày 14/3/2017, Sửa xong 11/5/2018, Chấp nhận đăng 30/5/2018

Tóm tắt

Nghiên cứu tác động va tàu đến trụ cầu cần phân tích các yếu tố ngẫu nhiên đầu vào, phân tích khả năng va chạm và khả năng trụ cầu bị hư hỏng dưới tác dụng của lực va tàu. Bài báo này giới thiệu một phương pháp xác suất thống kê phân tích các yếu tố ngẫu nhiên đầu vào: chiều cao mực nước, vận tốc dòng chảy, vận tốc tàu, trọng tải tàu, kích thước tàu và góc va chạm. Dựa vào các số liệu quan trắc và nguyên lý entropy cực đại, hàm mật độ xác suất của biến chiều cao mực nước được thiết lập. Hàm mật độ này sau đó được so sánh với các số liệu thống kê.

Từ khoá: va tàu; trụ cầu; xác suất; yếu tố ngẫu nhiên.

SOURCE TERMS IN COLLISION ANALYSIS BETWEEN VESSELS AND BRIDGE PIERS OF THAI HA BRIDGE

Abstract

Risk analysis of bridge pier under collision vessel requires analysis of source terms, analysis of collision possibility and the possibility of pier to be damaged under vessel collision. This paper presents a stochastic framework in order to analyze the source terms: water level, flow velocity, vessel velocity, vessel load, vessel dimensions and collision angle. Based on the observed data and the maximum entropy principle, the probability density function of the water level is established. This density function is then compared with the statistic data.

Keywords: vessel collision; bridge pier; probability; source term.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(4\)-02](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(4)-02) © 2018 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Các công trình cầu vượt sông, biển (có yêu cầu thông thương) thường đối mặt với nguy cơ hư hỏng sau những vụ va tàu/xà lan (sau đây gọi chung là tàu) với trụ cầu tại những vị trí nhịp thông thuyền cũng như tại các vị trí trụ lân cận. Phân tích các vụ tai nạn trong quá khứ cũng như phân tích các nguy cơ tiềm ẩn cho thấy các nguyên nhân dẫn đến va chạm giữa tàu và trụ cầu có thể xuất phát từ một hoặc một vài yếu tố sau đây:

- Yếu tố con người (nguyên nhân chủ yếu): xuất phát từ tâm lý chủ quan của người lái tàu do thường xuyên qua lại trên tuyến sông, từ năng lực yếu kém của lái tàu hoặc thậm chí từ sự không tuân thủ luật giao thông đường thủy, ...

- Yếu tố thời tiết: sương mù hay nước sông dâng cao, chảy siết, ... cũng là những nguyên nhân dẫn đến va chạm.

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

- Yếu tố thay đổi dòng chảy: dưới tác động của xói-bồi tự nhiên, dòng chảy sẽ có 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 trụ cầu.

- Sự cố kỹ thuật: khi tàu bị chết máy đột ngột hoặc mất liên kết giữa tàu kéo và xà lan, ... xà lan hoặc tàu có khả năng mất kiểm soát dẫn đến khả năng va chạm với trụ cầu là không thể bỏ qua.

Khi xảy ra va chạm, trụ cầu có thể gặp những hư hỏng nhỏ (như các vết nứt, vỡ bê tông) hoặc một số hư hỏng lớn có thể kéo theo sụp đổ toàn bộ kết cấu (đứt, gãy trụ hoặc hệ thống cọc). Một số sự cố điển hình về va chạm giữa tàu với kết cấu trụ cầu có thể kể đến như: (1) cầu Sunshine SkyWay (Mỹ) sập nhịp dẫn và hai nhịp chính sau khi bị tàu va vào trụ năm 1980, [1] (Hình 1); cầu Cửu Giang (Trung Quốc) sập khoảng 200 m chiều dài cầu sau khi va chạm với thuyền chở cát tại trụ dẫn ngày 15/6/2007, [2], cầu Queen Isabella Causeway (Mỹ) sập hai nhịp và một trụ cầu sau khi bị đâm bởi một tàu du lịch vào ngày 15/9/2001, [3], cầu Long Biên (Việt Nam) hư hỏng nặng trụ chống và sau khi bị đâm bởi một tàu chở cát năm 2009, [4], ... và gần đây là cầu Ghềnh (Việt Nam) sập hai nhịp chính vào trưa ngày 20/3/2016, [5] (Hình 2) hay tại nạn do một tàu chở cát đâm sập khoảng 2/3 cầu sông Hoàng (Thanh Hóa) vào ngày 27/7/2017, [6]. Các vụ va chạm này đã gây ra thiệt hại nghiêm trọng cả về tài sản lẫn tính mạng con người. Do vậy, vấn đề này được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước đặc biệt quan tâm, [7–22]. Trong tiêu chuẩn thiết kế cầu 22 TCN 272-05, [23], phần 3.14 được dành riêng để nói về những tác động cũng như các yêu cầu thiết kế đối với tải trọng va tàu. Các nghiên cứu nêu trên hầu hết tập trung vào việc phân tích tác động của lực va tàu đến trụ cầu khi xảy ra va chạm bằng một số phương pháp đơn giản, [15, 16, 21], hay sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn, [7, 9, 10, 22].



(a) Trước tai nạn

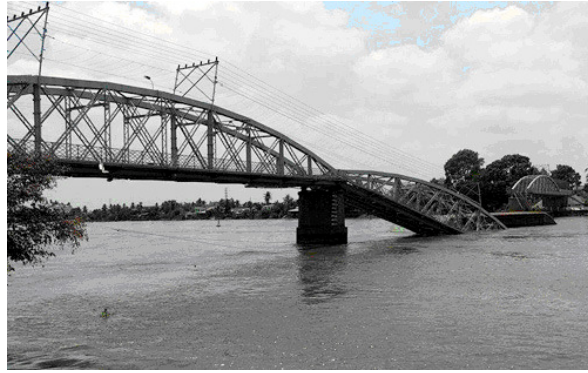
(b) Sau tai nạn

Hình 1. Cầu Sunshine Skyway trước và sau tai nạn, [1]

2. Độ tin cậy của trụ cầu khi xét đến va tàu

Một cách tổng quát, khi xét đến lực va tàu, có thể xác định độ tin cậy của trụ cầu thông qua ba bước cơ bản sau đây, [24, 25]:

- Khả năng (Xác suất) xuất hiện, P_{app} : Tần suất xuất hiện các tàu có kích thước và tải trọng lớn, tương đương với tải trọng thiết kế. Việc xác định xác suất này đòi hỏi phải có số liệu quan trắc tần suất xuất hiện các loại tàu, xà lan có kích thước khác nhau lưu thông trên sông. Tuy nhiên, do không có số liệu quan trắc, trong bài báo này giả thiết luôn luôn xuất hiện nguy cơ, $P_{app} = 100\%$. Khi đó, các yếu tố ngẫu nhiên đầu vào được xét đến bao gồm: chiều cao mực nước tại thời điểm phân tích, vận tốc dòng chảy tại vị trí trụ tương ứng với chiều cao mực nước, vận tốc tàu tại thời điểm va chạm, tải trọng tàu, kích thước hình học của tàu và hướng va tàu (khi xảy ra va chạm).



Hình 2. Sự cố cầu Ghềnh, thành phố Biên Hòa, [5]

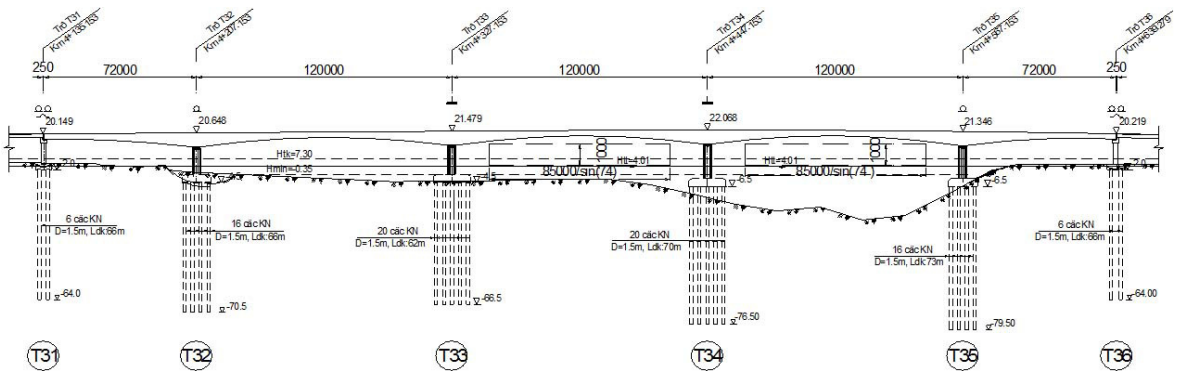
- Xác suất va chạm, P_{imp} : Phân tích và tính toán khả năng xảy ra va chạm giữa tàu và trụ cầu khi tàu đi qua vị trí xây dựng cầu.
 - Xác suất hư hỏng, P_{rup} : Trong trường hợp xảy ra va chạm, đánh giá khả năng hư hỏng của trụ cầu dưới tác động của lực va tàu.
- Như vậy, độ tin cậy của công trình có thể được định lượng thông qua xác suất P_f :

$$P_f = P_{app} \times P_{imp} \times P_{rup} \quad (1)$$

Việc xác định độ tin cậy nêu trên đòi hỏi việc phân tích, đánh giá các yếu tố ngẫu nhiên đầu vào, là những tham số quan trọng ảnh hưởng lớn đến kết quả. Bài báo này tập trung phân tích các yếu tố ngẫu nhiên (xây dựng hoặc đề xuất quy luật xác suất cho các yếu tố này) của công trình cầu Thái Hà.

3. Giới thiệu về công trình cầu Thái Hà

Cầu Thái Hà nằm trên tuyến đường bộ nối hai tỉnh Thái Bình - Hà Nam với đường cao tốc cầu Giẽ - Ninh Bình. Cầu chính là cầu liên tục bê tông cốt thép dự ứng lực thi công theo phương pháp đúc hẫng cân bằng. Sơ đồ nhịp là $(72 + 3 \times 120 + 72) \text{ m} = 504 \text{ m}$, xem Hình 3. Cầu chính có 6 trụ trong đó: hai trụ T33 và T34 là trụ khung, các trụ còn lại là trụ gối. Cầu được bố trí hai nhịp thông thuyền tại nhịp N34 (T33-T34) và N35 (T34-T35).



Hình 3. Bố trí chung cầu đúc hẫng cầu Thái Hà, [26]

4. Các yếu tố ngẫu nhiên

Như đã trình bày ở trên, các yếu tố đầu vào trong bài toán này gồm: chiều cao mực nước, vận tốc dòng chảy tại vị trí trụ, vận tốc tàu tại thời điểm va chạm, tải trọng và kích thước tàu, hướng va tàu (khi xảy ra va chạm). Các yếu tố này chính là các biến ngẫu nhiên.

4.1. Chiều cao mực nước

Cầu Thái Hà nằm ở hạ lưu trạm thủy văn Nhật Tảo khoảng 80m. Do vậy, số liệu tính toán chiều cao mực nước được lấy theo số liệu quan trắc tại trạm thủy văn này, số liệu chiều cao mực nước được thống kê từ năm 1999 đến năm 2012, chi tiết thể hiện trong Bảng 1.

Như vậy, chiều cao mực nước là một biến ngẫu nhiên liên tục. Hàm phân phối xác suất của biến ngẫu nhiên này có thể được xây dựng dựa trên nguyên lý entropy cực đại, [25, 27]:

$$p_{h_n}(h_n) = \exp(-\lambda_0 - \lambda_1 g_1(h_n) - \lambda_2 g_2(h_n)) \quad (2)$$

trong đó $p_{h_n}(h_n)$ là hàm mật độ xác suất của biến ngẫu nhiên chiều cao mực nước h_n ; $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ là các tham số Lagrangian; $g_1(h_n), g_2(h_n)$ là các thông tin có sẵn (các điều kiện ràng buộc).

Các thông tin có sẵn được sử dụng ở đây như sau:

$$\begin{cases} g_1(h_n) = \ln(h_n) \\ g_2(h_n) = [\ln(h_n - E_{\ln(h_n)})]^2 \end{cases} \quad (3)$$

Như vậy, các giá trị trung bình được xác định như sau:

- Kỳ vọng toán học của $\ln(h_n), E_{\ln(h_n)}$:

$$E_{\ln(h_n)} = \int \ln(h_n) \exp(-\lambda_0 - \lambda_1 \ln(h_n) - \lambda_2 [\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2) dh_n \quad (4)$$

Rời rạc hóa phương trình trên, ta có:

$$E_{\ln(h_n)} = \sum_{i=1}^{67} 0,1 \ln(h_n) \exp(-\lambda_0 - \lambda_1 \ln(h_n) - \lambda_2 [\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2) \quad (5)$$

$$h_n = 0,1(i-1) + 0,1/2 m$$

- Kỳ vọng toán học của $[\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2, E_{[\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2}$:

$$E_{[\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2} = \int [\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2 \exp(-\lambda_0 - \lambda_1 \ln(h_n) - \lambda_2 [\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2) dh_n \quad (6)$$

Rời rạc hóa phương trình trên, ta có:

$$E_{[\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2} = \sum_{i=1}^{67} 0,1 [\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2 \exp(-\lambda_0 - \lambda_1 \ln(h_n) - \lambda_2 [\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2) \quad (7)$$

Bảng 1. Số liệu thống kê chiều cao mực nước, [26]

TT	Cấp mực nước (cm)		Mực nước trung bình (cm)	Số lần xuất hiện	Tần suất xuất hiện (%)	TT	Cấp mực nước (cm)		Mực nước trung bình (cm)	Số lần xuất hiện	Tần suất xuất hiện (%)
1	0	0,1	0,05	526	0,00602	35	3,4	3,5	3,45	509	0,00583
2	0,1	0,2	0,15	984	0,01126	36	3,5	3,6	3,55	514	0,00588
3	0,2	0,3	0,25	1880	0,02152	37	3,6	3,7	3,65	506	0,00579
4	0,3	0,4	0,35	2760	0,03159	38	3,7	3,8	3,75	528	0,00604
5	0,4	0,5	0,45	3637	0,04162	39	3,8	3,9	3,85	526	0,00602
6	0,5	0,6	0,55	4278	0,04896	40	3,9	4	3,95	451	0,00516
7	0,6	0,7	0,65	4761	0,05449	41	4	4,1	4,05	484	0,00554
8	0,7	0,8	0,75	5051	0,05781	42	4,1	4,2	4,15	421	0,00482
9	0,8	0,9	0,85	5107	0,05845	43	4,2	4,3	4,25	397	0,00454
10	0,9	1	0,95	4914	0,05624	44	4,3	4,4	4,35	372	0,00426
11	1	1,1	1,05	4864	0,05567	45	4,4	4,5	4,45	367	0,0042
12	1,1	1,2	1,15	4587	0,0525	46	4,5	4,6	4,55	203	0,00232
13	1,2	1,3	1,25	4290	0,0491	47	4,6	4,7	4,65	235	0,00269
14	1,3	1,4	1,35	3934	0,04502	48	4,7	4,8	4,75	281	0,00322
15	1,4	1,5	1,45	3417	0,03911	49	4,8	4,9	4,85	241	0,00276
16	1,5	1,6	1,55	3026	0,03463	50	4,9	5	4,95	162	0,00185
17	1,6	1,7	1,65	2625	0,03004	51	5	5,1	5,05	153	0,00175
18	1,7	1,8	1,75	2384	0,02728	52	5,1	5,2	5,15	140	0,0016
19	1,8	1,9	1,85	2254	0,0258	53	5,2	5,3	5,25	90	0,00103
20	1,9	2	1,95	2042	0,02337	54	5,3	5,4	5,35	76	0,00087
21	2	2,1	2,05	1754	0,02007	55	5,4	5,5	5,45	102	0,00117
22	2,1	2,2	2,15	1503	0,0172	56	5,5	5,6	5,55	62	0,00071
23	2,2	2,3	2,25	1342	0,01536	57	5,6	5,7	5,65	37	0,00042
24	2,3	2,4	2,35	1081	0,01237	58	5,7	5,8	5,75	53	0,00061
25	2,4	2,5	2,45	962	0,01101	59	5,8	5,9	5,85	34	0,00039
26	2,5	2,6	2,55	948	0,01085	60	5,9	6	5,95	44	0,0005
27	2,6	2,7	2,65	852	0,00975	61	6	6,1	6,05	46	0,00053
28	2,7	2,8	2,75	580	0,00664	62	6,1	6,2	6,15	41	0,00047
29	2,8	2,9	2,85	629	0,0072	63	6,2	6,3	6,25	74	0,00085
30	2,9	3	2,95	663	0,00759	64	6,3	6,4	6,35	29	0,00033
31	3	3,1	3,05	522	0,00597	65	6,4	6,5	6,45	11	0,00013
32	3,1	3,2	3,15	560	0,00641	66	6,5	6,6	6,55	36	0,00041
33	3,2	3,3	3,25	787	0,00901	67	6,6	6,7	6,65	23	0,00026
34	3,3	3,4	3,35	627	0,00718						

Cuối cùng, các tham số Lagrangian $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ được xác định thông qua hệ phương trình:

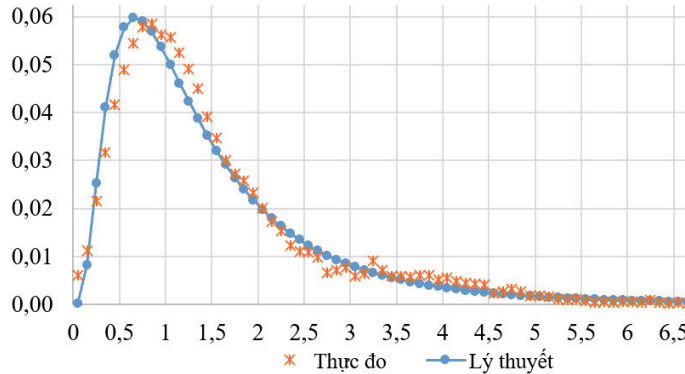
$$\begin{cases} \int \exp(-\lambda_0 - \lambda_1 \ln(h_n) - \lambda_2 [\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2) dh_n = 1 \\ \int \ln(h_n) \cdot \exp(-\lambda_0 - \lambda_1 \ln(h_n) - \lambda_2 [\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2) dh_n = E_{\ln(h_n)} \\ \int [\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2 \cdot \exp(-\lambda_0 - \lambda_1 \ln(h_n) - \lambda_2 [\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2) dh_n = E_{[\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2} \end{cases} \quad (8)$$

Dựa vào các số liệu thống kê trong Bảng 1, các thông số sau đây được xác định:

$$E_{\ln(h_n)} = 0,1643; E_{[\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2} = 0,5647 \quad (9)$$

$$\lambda_0 = 0,6332; \lambda_1 = 1; \lambda_2 = 0,8855 \quad (10)$$

$$p_{h_n}(h_n) = \exp\left(-0,6332 - \ln(h_n) - 0,8855[\ln(h_n) - E_{\ln(h_n)}]^2\right) \quad (11)$$



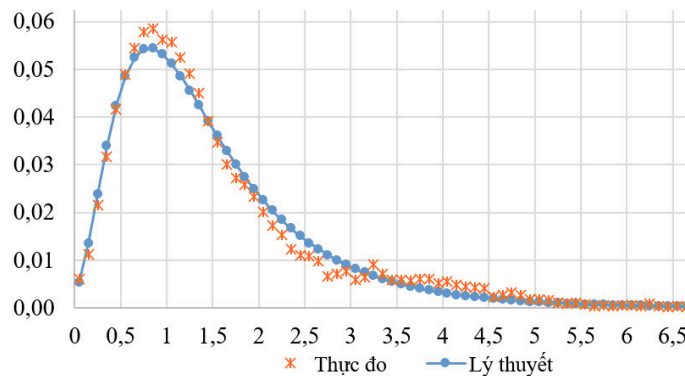
Hình 4. Mật độ xác suất thực nghiệm và lý thuyết của biến chiều cao mực nước

Theo Hình 4, biểu đồ hàm mật độ lý thuyết theo phương trình (11) chưa thực sự phù hợp với số liệu quan trắc được. Do vậy, cần thiết phải hiệu chỉnh hàm mật độ như sau:

$$p_{h_n}(h_n) = \exp\left(-\lambda_0 - \lambda_1 \ln(h_n - h_0) - \lambda_2[\ln(h_n - h_0) - E_{\ln(h_n - h_0)}]^2\right) \quad (12)$$

trong đó h_0 là hiệu số của mode của hàm mật độ lý thuyết cần hiệu chỉnh và của hàm mật độ thực nghiệm, $h_0 = 0,25$. Làm tương tự như các bước trên, hàm mật độ sau hiệu chỉnh có dạng:

$$p_{h_n}(h_n) = \exp\left(-0,3774 - 1,0064 \ln(h_n - 0,25) - 1,466[\ln(h_n - 0,25) - E_{\ln(h_n - 0,25)}]^2\right) \quad (13)$$



Hình 5. Mật độ xác suất thực nghiệm và lý thuyết hiệu chỉnh của biến chiều cao mực nước

Hình 5 cho thấy hàm mật độ xác suất lý thuyết sau khi hiệu chỉnh, theo phương trình (13), phù hợp với mật độ xác suất thực nghiệm. Như vậy, chiều cao mực nước là một biến ngẫu nhiên liên tục tuân theo quy luật xác suất hàm mũ.

4.2. Vận tốc dòng chảy tại vị trí trụ

Vận tốc dòng chảy tại trụ T35 được tính theo công thức Sedi-Maninh, [28]:

$$v_s = \frac{1}{n} h^{2/3} i^{1/2} \quad (14)$$

trong đó v_s là vận tốc dòng chảy tại trụ T35 (m/s); n là hệ số nhám tính theo Maninh; h là chiều sâu dòng chảy tại trụ T35 (m), được tính thông qua chiều cao mực nước h_n ; i là độ dốc thủy lực. Như vậy, vận tốc dòng chảy là một biến ngẫu nhiên liên tục, phụ thuộc vào các biến n, h, i kể trên.

4.3. Vận tốc, tải trọng, kích thước tàu

Có thể giả thiết (trong thời điểm ban đầu khi số liệu thực nghiệm không đầy đủ) rằng vận tốc tàu tại thời điểm va chạm (nếu có) tuân theo quy luật phân phối đều.

Cũng như vậy, khi không có đủ số liệu thực tế, bước đầu giả thiết tải trọng tàu thực tế tuân theo quy luật phân phối chuẩn, kích thước tàu được giả thiết tuân theo quy luật phân phối đều.

4.4. Góc va chạm (Hướng va tàu)

Hướng va tàu hay góc va chạm được xác định là góc nhọn hợp bởi hướng theo chiều dọc tàu và phương dòng chảy tại thời điểm va tàu, nếu có. Do không có đầy đủ số liệu thống kê và giả thiết rằng góc va chạm độc lập với yếu tố tâm lý và mức độ tập trung của người lái tàu, bước đầu có thể chấp nhận giả thiết rằng góc va chạm là một biến ngẫu nhiên liên tục, tuân theo quy luật phân phối đều, trong đoạn $[0^\circ - 90^\circ]$. Có nghĩa là xác suất xảy ra va chạm là như nhau theo mọi góc.

Như vậy, các yếu tố ngẫu nhiên đã được xây dựng/đề xuất các hàm mật độ tương ứng, cụ thể trong Bảng 2.

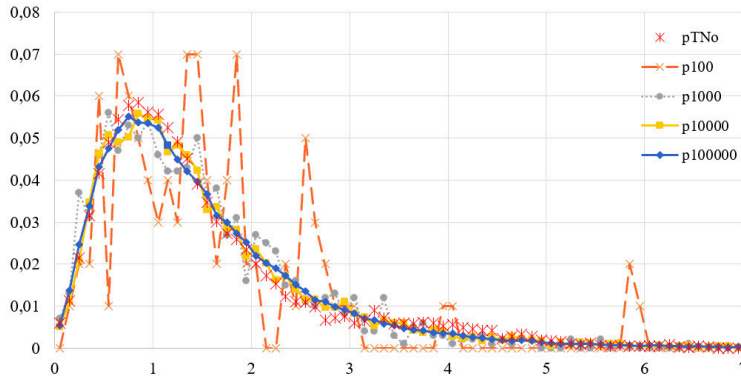
Bảng 2. Các biến ngẫu nhiên và quy luật phân phối xác suất

Biến ngẫu nhiên	Quy luật phân phối xác suất
h_n : Chiều cao mực nước	Hàm số mũ
v_s : Vận tốc dòng chảy	Hàm phụ thuộc
v_t : Vận tốc tàu	Hàm phân phối đều
Trọng tải tàu	Hàm phân phối chuẩn
Kích thước tàu	Hàm phân phối đều
α : Góc va chạm	Hàm phân phối đều từ $[0^\circ - 90^\circ]$

5. Mô phỏng biến ngẫu nhiên

Như đã trình bày tại mục 2, việc xác định độ tin cậy của trụ cầu khi xảy ra va tàu được thực hiện thông qua tính toán ba xác suất: xác suất xuất hiện, xác suất va chạm và xác suất hư hỏng. Tính chính xác của bài toán phụ thuộc rất nhiều vào tính chính xác của từng xác suất kể trên, đồng thời cũng phụ thuộc vào các yếu tố đầu vào.

Trong bài báo này, mô phỏng số Monte-Carlo được thực hiện để phân tích, đánh giá độ nhạy của số lần thực hiện mô phỏng đến độ chính xác của phép tính. Các trường hợp tính với 100, 1000, 10000 và 100000 mô phỏng Monte-Carlo được thực hiện. Kết quả của 4 trường hợp này và kết quả quan trắc được thể hiện trong Hình 6 cho biến ngẫu nhiên chiều cao mực nước. Kết quả cho thấy 10000 mô phỏng là con số tối thiểu để cho kết quả đủ chính xác với các số liệu quan trắc.



Hình 6. Phân tích độ nhạy của số lần mô phỏng đến độ chính xác của phép tính

6. Kết luận

Đánh giá độ tin cậy của trụ cầu cần phân tích, xác định xác suất xuất hiện tàu lớn, khả năng tàu va chạm với trụ cầu và khả năng phá hoại của trụ cầu sau khi xảy ra va chạm. Bài báo này đã làm rõ các yếu tố ngẫu nhiên có tác động đến kết quả của bài toán độ tin cậy thông qua việc phân tích công trình cầu Thái Hà. Hàm mật độ xác suất của các biến ngẫu nhiên được xây dựng dựa vào các dữ liệu thu thập được dựa trên nguyên lý entropy cực đại hoặc phân tích và sau đó giả thiết trong trường hợp không có số liệu thực tế: chiều cao mực nước (tuân theo quy luật hàm số mũ), vận tốc dòng chảy (hàm phụ thuộc), vận tốc tàu (phân phối đều), trọng tải tàu (phân phối chuẩn), kích thước tàu (phân phối đều), góc va chạm (phân phối đều).

Mô phỏng số Monte-Carlo sau đó được thực hiện để xác định độ nhạy của số lượng mô phỏng đến tính chính xác của mô phỏng. Kết quả chỉ ra rằng cần tối thiểu 10.000 lần mô phỏng để cho kết quả phù hợp với số liệu quan trắc đối với biến chiều cao mực nước. Hàm mật độ xác suất tìm được cho thấy: xác suất để chiều cao mực nước lớn hơn mực nước thiết kế thông thuyền (4,01 m) bằng 3,44% là không nhỏ, cho thấy những rủi ro tiềm tàng của khả năng tàu va vào trụ cầu.

Như vậy, bước đầu tiên trong việc phân tích về mặt xác suất ảnh hưởng của va tàu đến trụ cầu đã hoàn thành thông qua xác định rõ các yếu tố ngẫu nhiên và hàm mật độ của các yếu tố này. Mức độ chính xác của việc xác định khả năng tàu va vào trụ cầu cũng như đánh giá hư hỏng của trụ cầu dưới tác dụng của lực va tàu (khi xảy ra va chạm) phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố ngẫu nhiên kể trên.

Tài liệu tham khảo

- [1] Bridge Hunter (2018). <https://bridgehunter.com/fl/pinellas/old-sunshine-skyway>, truy cập ngày 28/2/2018.
- [2] China Whisper (2012). <http://www.chinawhisper.com/unnatural-deaths-of-china-bridges>, truy cập ngày 4/4/2012.
- [3] Bridge Hunter (2012). <http://bridgehunter.com/tx/cameron/bh42499>, truy cập ngày 4/4/2012.
- [4] Báo Mới (2010). <https://baomoi.com/tau-thuy-huc-do-tru-chong-va-cau-long-bien-ha-noi/c/2944571.epi>, truy cập ngày 13/2/2011.
- [5] VnExpress (2017). <https://vnexpress.net/tin-tuc/thoi-su/dam-sap-cau-ghenh-2-tai-cong-bo-tron-3372930.html>, truy cập ngày 6/6/2017.
- [6] VnExpress (2017). <https://vnexpress.net/tin-tuc/thoi-su/tau-cat-dam-sap-cau-song-hoang-hoat-dong-khong-phet-3619096.html>, truy cập ngày 16/10/2017.

- [7] Consolazio, G. R., Cowan, D. R. (2003). [Nonlinear analysis of barge crush behavior and its relationship to impact resistant bridge design](#). *Computers & Structures*, 81:547–557.
- [8] Gianni, B. A. (2010). *Bridge security*. White paper, duostech.
- [9] Glykas, A., Das, P. K. (2001). [Energy conservation during a tanker collision](#). *Ocean Engineering*, 28(4):361–374.
- [10] Gucma, L. (2009). *Methods of ship-bridge collision safety evaluation*. R&RATA # 2(13) part 1. (Vol. 2).
- [11] Holger, S. (2009). [Protection of bridge piers against ship collision](#). *Steel Construction*, 2(1):21–32.
- [12] Tiến, L. Q. (2016). Nghiên cứu biện pháp bảo vệ trụ cầu trước và chạm với phương tiện thủy. *Tạp chí Giao thông vận tải*, 5:63–65.
- [13] Louis, A. L. B., Conway, T. R. (1996). [A multiple discriminant analysis of vessel accidents](#). *Accident Analysis & Prevention*, 28(4):501–510.
- [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] Hoàng, N. Đ., Toàn, N. X. (2014). Phân tích dao động của trụ cầu sông Hàn chịu va đập của tàu thủy. *Tạp chí Khoa học & Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, 11:21–25.
- [16] Toàn, N. X., Phương, Đ. N. U. (2013). Phân tích dao động cầu cảng Thọ Quang chịu va đập của tàu thủy. *Tạp chí Khoa học & Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, 10:45–49.
- [17] Ole, D. L. (1993). *Ship collision with bridges: the interaction between vessel traffic and bridge structures*. International Association for Bridge and Structural Engineering.
- [18] Pedersen, P. T., Valsgard, S., Olsen, D., Spangenberg, S. (1993). [Ship impacts: Bow collisions](#). *International Journal of Impact Engineering*, 13(2):163–187.
- [19] Henrik, G., Dan, O. (1998). *Ship collision analysis*. Rotterdam: Balkema.
- [20] Yanmaz, A. M. (2002). Dynamic reliability in bridge pier scouring. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 26:367–375.
- [21] Yuan, P., Harik, I. E. (2008). [One-dimensional model for multi-barge flotillas impacting bridge piers](#). *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 23:437–47.
- [22] Zolan, P. (2007). Bridge Design for Marine Vessel Collision. *Louisiana Transportation Engineering Conference*, Baton Rouge, Louisiana.
- [23] 22 TCN 272-05 (2005). *Tiêu chuẩn thiết kế cầu*, Hà Nội.
- [24] Mébarki, A., Nguyen, Q. B., Mercier, F., Ami Saada, R., Reimeringer, M. (2008). [Reliability analysis of metallic targets under metallic rod impact: towards a simplified probabilistic approach](#). *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 21(5),518–527.
- [25] Nguyen, Q. B., Mébarki, A., Ami Saada, R., Mercier, F., Reimeringer, M. (2009). [Integrated probabilistic framework for domino effect and risk analysis](#). *Advances in Engineering Software*, 40(9):892–901.
- [26] Tedi (2015). Hồ sơ thiết kế bản vẽ thi công cầu Thái Hà.
- [27] Kapur, J. N. (1989). *Maximum entropy models in sciences and engineering*. Wiley Eastern, New Delhi.
- [28] Tedi (2006). Sổ tay tính toán thủy văn, thủy lực cầu đường.