

MỘT PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY KẾT CẤU CÔNG TRÌNH BIỂN CỐ ĐỊNH BẰNG THÉP KHI CHỊU TẢI VƯỢT MỨC THIẾT KẾ

Vũ Đan Chính^{a,*}

^a*Khoa Xây dựng Công trình Biển và Dầu Khí, Trường Đại học Xây dựng, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Lịch sử bài viết:

Nhận ngày 12/1/2018, Sửa xong 9/5/2018, Chấp nhận đăng 30/5/2018

Tóm tắt

Kể từ khi công trình giàn khoan đầu tiên được xây dựng và đưa vào hoạt động năm 1984 ở mỏ Bạch Hổ, cho đến nay một bộ phận lớn các kết cấu công trình biển cố định bằng thép được sử dụng cho khai thác dầu khí ngoài khơi biển Việt Nam đã hết tuổi thọ thiết kế. Tuy nhiên, với thực trạng của ngành công nghiệp dầu khí thế giới nói chung và ở Việt Nam nói riêng trong những năm gần đây, nhu cầu nâng cấp, kéo dài tuổi thọ hay tái sử dụng các kết cấu công trình biển hiện trạng là xu hướng tất yếu. Từ đó đặt ra yêu cầu cần thiết phải phân tích đánh giá được khả năng còn có thể sử dụng của kết cấu khi cho phép chịu quá tải và chấp nhận có phá hủy cục bộ. Vấn đề này hiện đang được quan tâm nghiên cứu để bổ sung vào hệ thống tiêu chuẩn thiết kế trên thế giới. Bài báo giới thiệu một phương pháp của tác giả ứng dụng mặt phản ứng để đánh giá độ tin cậy của kết cấu công trình biển cố định bằng thép theo điều kiện chảy dẻo toàn phần khi kết cấu chịu tải trọng môi trường vượt mức thiết kế, kể đến ảnh hưởng ngẫu nhiên của các yếu tố hình học và vật liệu của kết cấu. Kết quả nghiên cứu có thể được áp dụng cho các công trình biển ở Việt Nam với các số liệu khảo sát hiện trạng.

Từ khóa: kết cấu công trình biển cố định bằng thép; độ tin cậy; tải trọng vượt mức thiết kế; mặt phản ứng.

A METHOD FOR RELIABILITY ASSESSMENT OF FIXED STEEL OFFSHORE STRUCTURES UNDER OVERLOADING

Abstract

Since the first offshore platform was built and operated at White Tiger field in 1984, up to now most of the fixed steel offshore structures used for oil and gas exploitation in Vietnamese seas have been at the end of the design life. However, to fit the reality of oil and gas industry in Viet Nam and in the world, the demand of upgrading, extending life or re-using the structures is becoming an inevitable trend. So, an important requirement is to assess the usability of the structures when allow to resist overloading and to accept the local damages. These problems have been researched to complement the design standard system in the world. This article introduces a method of the author using response surface for reliability assessment of the fixed steel offshore structures according to fully plastic condition when the structures resist over-design loading on account of the random of structural geometries and materials. The research results can be applied for offshore platforms in Viet Nam with current survey data.

Keywords: fixed steel offshore structures; reliability; overloading; response surfaces.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(4\)-04](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(4)-04) © 2018 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: chinhdxh@gmail.com (Chính, V. Đ.)

1. Đặt vấn đề

Khi kết cấu công trình biến cố định bằng thép chịu tải trọng vượt mức thiết kế thì có khả năng chuyển sang trạng thái làm việc phi tuyến. Một số phần tử kết cấu không còn thỏa mãn điều kiện bền trong giai đoạn đàn hồi theo quy định trong các tiêu chuẩn quy phạm mà chuyển dần sang giai đoạn chảy dẻo, tuy nhiên kết cấu tổng thể vẫn chưa biến hình và sụp đổ. Do đó, để đánh giá thực tế kết cấu còn có thể sử dụng được hay không khi chịu tải vượt mức thiết kế cần phân tích độ bền tổng thể [1]. Tuy nhiên, trong trường hợp có kể đến tính chất ngẫu nhiên của nhiều thông số như điều kiện môi trường, các đặc trưng hình học và vật liệu của kết cấu... , việc phân tích độ bền tổng thể để đánh giá độ tin cậy của kết cấu trở nên rất phức tạp với khối lượng tính toán rất lớn. Để khắc phục vấn đề này, bài báo đề xuất một phương pháp đánh giá độ tin cậy của kết cấu tổng thể khi chịu tải vượt mức thiết kế theo điều kiện chưa có tiết diện phần tử kết cấu chính nào đạt đến giới hạn chảy dẻo toàn phần, thông qua việc thiết lập quan hệ giữa hàm mật chảy Γ của các tiết diện đó và các đại lượng ngẫu nhiên nêu trên theo phương pháp mặt phản ứng.

Phương pháp mặt phản ứng được đề xuất năm 1951 [2]. Mục đích của phương pháp là thiết lập một dạng xấp xỉ cho hàm nhiều biến khi đã biết một số hữu hạn giá trị thực của hàm tương ứng với các giá trị của biến với sai số chấp nhận được. Cho đến nay đã có nhiều nghiên cứu đề xuất xây dựng các mô hình mặt phản ứng phù hợp cho từng đối tượng trong lĩnh vực kỹ thuật cần nghiên cứu. Trong đó, tập trung vào hai vấn đề chính, thứ nhất là phương pháp lựa chọn dạng mặt phản ứng, thứ hai là lựa chọn giá trị biến cho các phép thử. Các mặt phản ứng cơ bản có thể biểu diễn bởi một số hàm như đa thức bậc 1, bậc 2 hay hàm mũ... và thường được xây dựng dựa trên lý thuyết phân tích hồi quy với một số kỹ thuật điển hình như phương pháp tổng bình phương nhỏ nhất, phương pháp Gauss-Markov, phương pháp đánh giá khả năng cực đại... [2-4].

Bài báo lựa chọn mô phỏng hàm mật chảy dạng đa thức bậc 2, là dạng thường được ứng dụng phổ biến khi kể đến ảnh hưởng tương tác của nhiều biến ngẫu nhiên. Các hệ số của hàm được xác định theo điều kiện tổng bình phương sai số đạt giá trị cực tiểu.

2. Điều kiện chảy dẻo của phần tử kết cấu công trình biến cố định bằng thép [5]

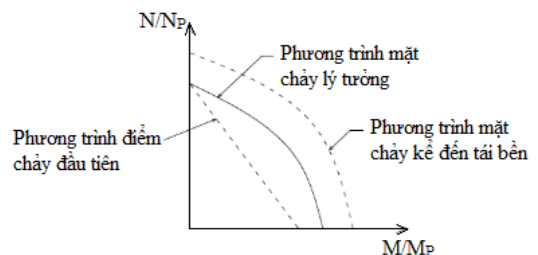
Điều kiện chảy dẻo của một tiết diện phần tử kết cấu được đánh giá thông qua mật chảy toàn phần của tiết diện đó. Trong trường hợp tổng quát, mật chảy của một tiết diện (Hình 1) được biểu diễn theo phương trình sau:

$$\Gamma = f\left(\frac{N}{N_P}, \frac{Q_y}{Q_{yP}}, \frac{Q_z}{Q_{zP}}, \frac{M_x}{M_{xP}}, \frac{M_y}{M_{yP}}, \frac{M_z}{M_{zP}}\right) - 1 \quad (1)$$

$-1 < \Gamma < 0$ tương ứng với điều kiện tiết diện kết cấu chưa chảy dẻo toàn phần. $\Gamma = 0$ với mọi véc tơ lực tương ứng với trạng thái chảy dẻo toàn phần. $\Gamma = -1$ tương ứng với trạng thái tiết diện không chịu ứng suất.

Với $N, Q_y, Q_z, M_x, M_y, M_z, N_P, Q_{yP}, Q_{zP}, M_{xP}, M_{yP}, M_{zP}$ tương ứng là các thành phần nội lực và nội lực giới hạn chảy dẻo toàn phần của tiết diện. Đối với hệ thanh, khi phân tích điều kiện chảy dẻo, ảnh hưởng của các thành phần lực cắt hai đầu thanh và mô men xoắn quanh trục được bỏ qua. Các thành phần lực dọc và mô men giới hạn dẻo được cho bởi công thức:

$$N_P = \sigma_Y A_P; \quad M_{yP} = \sigma_Y W_{yP}; \quad M_{zP} = \sigma_Y W_{zP} \quad (2)$$



Hình 1. Minh họa mật chảy trên một tiết diện thanh chịu lực dọc và mô men uốn

trong đó σ_Y là giới hạn chảy; A_P và W_{yP} và W_{zP} tương ứng là tiết diện chảy dẻo và các thành phần mô men kháng uốn dẻo quanh trục y và trục z , xác định theo các công thức khác nhau tùy thuộc vào hình dạng tiết diện.

Đối với tiết diện thanh ống đường kính ngoài D và đường kính trong d , điều kiện chảy dẻo toàn phần với mô hình vật liệu đàn dẻo lý tưởng được biểu diễn [5, 6]:

$$\Gamma = \frac{\sqrt{M_y^2 + M_z^2}}{M_P} - \cos\left(\frac{\pi N}{2 N_P}\right) = 0 \quad (3)$$

$$\text{với } M_P = \sigma_Y \left(\frac{D^3 - d^3}{6}\right); N_P = \sigma_Y \left(\frac{\pi D^2}{4} \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right)\right).$$

3. Xây dựng quan hệ giữa mặt chảy toàn phần của tiết diện phần tử kết cấu và các biến ngẫu nhiên

Thực tế có rất nhiều yếu tố ngẫu nhiên ảnh hưởng đến độ bền của kết cấu công trình biển cố định bằng thép. Trong bài báo chỉ xét đến các yếu tố ngẫu nhiên ảnh hưởng chính bao gồm tải trọng sóng tác dụng lên kết cấu, mô đun đàn hồi và giới hạn chảy của vật liệu, đặc trưng tiết diện phần tử kết cấu chính bao gồm các ống chính và cọc. Tải trọng sóng tác dụng lên kết cấu khỏi chân đế công trình biển cố định bằng thép xác định theo công thức Morison, xét trong trạng thái biển cực hạn và vượt mức thiết kế khi phân tích độ bền, với profile sóng được coi là quá trình ngẫu nhiên dừng, ergodic, trung bình không, được đặc trưng bởi hàm mật độ phổ hoặc các thể hiện theo thời gian xảy ra trạng thái biển đang xét. Mô đun đàn hồi và giới hạn chảy của thép được coi là đại lượng ngẫu nhiên do sai số chế tạo, không chịu ảnh hưởng bởi thời gian khai thác, với các đặc trưng xác suất được quy định trong tiêu chuẩn ISO 13623:2009.

Đường kính và chiều dày các phần tử ống có sai số trong giai đoạn chế tạo, lắp dựng và ảnh hưởng ăn mòn do môi trường biển như sau:

- Sai số chế tạo được cho trong catalogue ống phụ thuộc vào kích thước và phương pháp chế tạo ống, theo API 5L, sai số đường kính cho phép lớn nhất là 4 mm, sai số chiều dày lớn nhất là 1,5 mm đối với ống hàn.

- Chiều dày ăn mòn do ô-xi hóa của các phần tử ống trên mặt nước đã được kể đến tùy theo tuổi thọ trong giai đoạn thiết kế, trong trường hợp gia hạn chiều dày ăn mòn thêm có thể được xác định ngoại suy theo năm dựa vào giới hạn ăn mòn cho phép. Phần kết cấu ngập dưới nước được chống ăn mòn bằng các a-nốt hy sinh theo nguyên lý điện hóa nên trong tính toán thiết kế coi là không bị ăn mòn, tuy nhiên trên thực tế khảo sát một số giàn, vấn đề ăn mòn này vẫn xảy ra khá phức tạp, không đều trên các phần tử ống. Trong trường hợp có số liệu khảo sát cụ thể, có thể xác định các đặc trưng xác suất ăn mòn theo năm và xem xét là đại lượng ngẫu nhiên để áp dụng phân tích đánh giá.

Sau đây, tác giả trình bày cách thiết lập hàm quan hệ giữa mặt chảy toàn phần và các yếu tố ngẫu nhiên nêu trên. Giả thiết mô đun đàn hồi và giới hạn chảy của vật liệu thép E , F_y , đường kính ngoài và chiều dày của các ống chính D_i và t_i ($i = 1 \div n$), với n là số phần tử kết cấu chính, là các đại lượng ngẫu nhiên phân phối chuẩn nằm trong một giới hạn sai số cho phép. Chiều cao sóng H_{\max} trong điều kiện môi trường biển của Việt Nam là đại lượng ngẫu nhiên có phân phối xác suất dạng Fisher-Tippet loại I [7], với giới hạn vượt mức thiết kế thường được xem xét tương ứng với chu kỳ lặp 100 năm đến 10000 năm theo các tiêu chuẩn hiện hành. Các đặc trưng xác suất của H_{\max} được xác định theo (4) và (5).

Kỳ vọng của H_{\max} :

$$\mu_{H_{\max}} = \int_{H_{\max}^{100}}^{H_{\max}^{10000}} H_{\max} \left(\frac{1}{\lambda_1} \exp\left(-\frac{H_{\max} - \lambda_1}{\lambda_2}\right) - \exp\left(-\frac{H_{\max}^T - \lambda_1}{\lambda_2}\right) \right) dH_{\max} \quad (4)$$

Phương sai của H_{\max} :

$$Var(H_{\max}) = \int_{H_{\max}^{100}}^{H_{\max}^{10000}} (H_{\max} - \mu_{H_{\max}})^2 \left(\frac{1}{\lambda_1} \exp\left(-\frac{H_{\max} - \lambda_1}{\lambda_2}\right) - \exp\left(-\frac{H_{\max}^T - \lambda_1}{\lambda_2}\right) \right) dH_{\max} \quad (5)$$

trong đó các hệ số λ_1 và λ_2 được xác định dựa trên số liệu H_{\max} theo thống kê, trong trường hợp đã có số liệu sóng tương ứng với chu kỳ lặp T1 và T2 thì λ_1, λ_2 có thể được xác định theo công thức:

$$\lambda_1 = \frac{H_{\max}^{T_2} \ln(-\ln(1 - \frac{1}{T_2})) - H_{\max}^{T_1} \ln(-\ln(1 - \frac{1}{T_1}))}{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T_2})) - \ln(-\ln(1 - \frac{1}{T_1}))} \quad (6)$$

$$\lambda_2 = \frac{H_{\max}^{T_2} - H_{\max}^{T_1}}{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T_2})) - \ln(-\ln(1 - \frac{1}{T_1}))}$$

Để đơn giản hóa, sử dụng phép đổi biến đưa các đại lượng ngẫu nhiên về dạng các biến chuẩn:

$$\bar{H}_{\max} = \frac{H_{\max} - \mu_{H_{\max}}}{\sqrt{Var(H_{\max})}}; \quad \bar{E} = \frac{E - \mu_E}{\sqrt{Var(E)}}; \quad \bar{F}_y = \frac{F_y - \mu_{F_y}}{\sqrt{Var(F_y)}}; \quad \bar{D}_{i_1} = \frac{D_{i_1} - \mu_{D_{i_1}}}{\sqrt{Var(D_{i_1})}}; \quad \bar{t}_{i_1} = \frac{t_{i_1} - \mu_{t_{i_1}}}{\sqrt{Var(t_{i_1})}} \quad (7)$$

Thực hiện xấp xỉ mặt chẵn toàn phần (3) của tiết diện phần tử kết cấu chính đang xét theo một mặt chẵn tương đương biểu diễn dạng đa thức bậc 2:

$$\begin{aligned} \Gamma^{eq} = & \alpha_0 + \alpha_1 \bar{H}_{\max} + \alpha_2 \bar{F}_y + \alpha_3 \bar{E} + \sum_{i_1=1}^n \alpha_{i_1+3} \bar{D}_{i_1} + \sum_{i_1=1}^n \alpha_{i_1+n+3} \bar{t}_{i_1} + \beta_1 \bar{H}_{\max}^2 + \beta_2 \bar{F}_y^2 \\ & + \beta_3 \bar{E}^2 + \sum_{i_1=1}^n \beta_{i_1+3} \bar{D}_{i_1}^2 + \sum_{i_1=1}^n \beta_{i_1+n+3} \bar{t}_{i_1}^2 + \gamma_1 \bar{H}_{\max} \bar{F}_y + \gamma_2 \bar{H}_{\max} \bar{E} + \gamma_3 \bar{F}_y \bar{E} \\ & + \sum_{i_1=1}^n \gamma_{i_1+3} \bar{H}_{\max} \bar{D}_{i_1} + \sum_{i_1=1}^n \gamma_{i_1+n+3} \bar{H}_{\max} \bar{t}_{i_1} + \sum_{i_1=1}^n \gamma_{i_1+2n+3} \bar{F}_y \bar{D}_{i_1} + \sum_{i_1=1}^n \gamma_{i_1+3n+3} \bar{F}_y \bar{t}_{i_1} \\ & + \sum_{i_1=1}^n \gamma_{i_1+4n+3} \bar{E} \bar{D}_{i_1} + \sum_{i_1=1}^n \gamma_{i_1+5n+3} \bar{E} \bar{t}_{i_1} + \sum_{i_1=1}^{n-1} \gamma_{i_1+6n+3} \bar{D}_1 \bar{D}_{i_1+1} + \sum_{i_1=1}^{n-2} \gamma_{i_1+7n+2} \bar{D}_2 \bar{D}_{i_1+2} \\ & + \dots + \gamma_{6n+3+\frac{n(n-1)}{2}} \bar{D}_{n-1} \bar{D}_n + \sum_{i_1=1}^n \gamma_{i_1+6n+3+\frac{n(n-1)}{2}} \bar{D}_1 \bar{t}_{i_1} + \dots + \sum_{i_1=1}^n \gamma_{i_1+6n+3+\frac{n(n-1)}{2}+n(n-1)} \bar{D}_n \bar{t}_{i_1} \\ & + \sum_{i_1=1}^{n-1} \gamma_{i_1+6n+3+\frac{n(n-1)}{2}+n^2} \bar{t}_1 \bar{t}_{i_1+1} + \dots + \sum_{i_1=1}^{n-2} \gamma_{i_1+7n+2+\frac{n(n-1)}{2}+n^2} \bar{t}_2 \bar{t}_{i_1+2} + \dots + \gamma_{2n^2+5n+3} \bar{t}_{n-1} \bar{t}_n \end{aligned} \quad (8)$$

Mặt chẵn tương đương biểu diễn theo (8) sẽ có sai số so với mặt chẵn thực (3), do đó vấn đề đặt ra là xác định các hệ số của mặt chẵn tương đương sao cho các đặc trưng xác suất của (3) và (8) là

như nhau. Về bản chất (8) có dạng một phương trình hồi quy tuyến tính nhiều biến. Như đã giới thiệu ở Mục 1, dưới đây trình bày phương pháp xác định các hệ số của mặt chảy theo phân tích tổng bình phương sai số nhỏ nhất.

Đặt:

$$\begin{aligned} X_1 &= \bar{H}_{\max}; X_2 = \bar{F}_y; X_3 = \bar{E}; \dots; X_{i_1+3} = \bar{D}_i; \dots; X_{i_1+n+3} = \bar{t}_{i_1} \\ X_{2n+4} &= \bar{H}_{\max}^2; X_{2n+5} = \bar{F}_y^2; X_{2n+6} = \bar{E}^2; \dots; X_{i_1+2n+6} = \bar{D}_i^2; \dots; X_{i_1+3n+6} = \bar{t}_{i_1}^2 \\ X_{4n+7} &= \bar{H}_{\max} \bar{F}_y; X_{4n+8} = \bar{H}_{\max} \bar{E}; X_{4n+9} = \bar{F}_y \bar{E}; \dots; X_{i_1+4n+9} = \bar{H}_{\max} \bar{D}_i \\ X_{i_1+5n+9} &= \bar{H}_{\max} \bar{t}_{i_1}; \dots; X_{2n^2+9n+9} = \bar{t}_{n-1} \bar{t}_n \end{aligned} \quad (9)$$

Công thức (8) được viết:

$$\Gamma^{eq} = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \dots + \gamma_{2n^2+5n+3} X_{2n^2+9n+9} \quad (10)$$

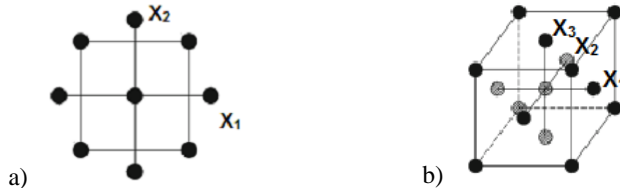
Thông qua một số phép thử m tương ứng với m bộ giá trị của Γ , đánh giá sai số tương ứng với mỗi phép thử như sau:

$$\varepsilon_k = \Gamma_k - \Gamma_k^{eq} \quad (k = 1 \div m) \quad (11)$$

Đặt $S = \sum_{k=1}^m (\Gamma_k - \varepsilon_k)^2$ là tổng bình phương sai số của hàm mặt chảy so với hàm mặt chảy tương đương qua m phép thử, để S đạt giá trị nhỏ nhất thì:

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha_0} = 0; \dots; \frac{\partial S}{\partial \alpha_{i_1+n+3}} = 0; \frac{\partial S}{\partial \beta_1} = 0; \dots; \frac{\partial S}{\partial \beta_{i_1+n+3}} = 0; \frac{\partial S}{\partial \gamma_1} = 0; \dots; \frac{\partial S}{\partial \gamma_{2n^2+5n+3}} = 0 \quad (12)$$

Biểu thức (12) là hệ phương trình đại số tuyến tính với số ẩn là số hệ số và bằng số phương trình. Nghiệm của phương trình chính là các hệ số của hàm mặt chảy tương đương cần xác định. Do S luôn đạt điều kiện nhỏ nhất nên tương ứng với số giá trị phép thử m tăng thì S hội tụ. Số phép thử m cần thiết được xác định khi sai số giữa S_{m-1} và S_m là chấp nhận được. Về lý thuyết, có thể lựa chọn giá trị của biến cho phép thử một cách bất kỳ, tuy nhiên để giảm khối lượng phép tính mà vẫn cho kết quả tốt, người ta thường lựa chọn giá trị của biến bao gồm giá trị trung bình, giá trị chặn trên, chặn dưới và các giá trị tại đó hàm đạt cực trị theo phương pháp Latin Square (Hình 2) [8].



Hình 2. Minh họa phương pháp lựa chọn biến theo phương pháp Latin Square
a) Hàm 2 biến (9 giá trị); b) Hàm 3 biến (15 giá trị)

4. Đánh giá độ tin cậy kết cấu theo điều kiện chảy dẻo toàn phần của các tiết diện phần tử

Mặc dù các biến ngẫu nhiên được coi là chuẩn, nhưng do tính chất quan hệ phi tuyến với các biến ngẫu nhiên này nên các giá trị mặt chảy Γ có thể không tuân theo luật phân phối chuẩn. Do đó, để

đánh giá độ tin cậy của kết cấu theo điều kiện chảy dẻo toàn phần của các tiết diện phần tử cần thực hiện mô phỏng Monte Carlo với số lượng phép thử đủ lớn. Theo [9], số phép thử cần thiết n_t được xác định:

$$n_t = \frac{100z_{e/2} \sqrt{\text{Var}(\Gamma)}}{e\mu_\Gamma} \quad (13)$$

trong đó e là sai số chấp nhận của phép thử và z_e là giá trị tương ứng với $P(z > z_{e/2}) = e/2$ với z là biến ngẫu nhiên có phân phối chuẩn.

Tương ứng với từng chiều cao sóng với số gia ΔH , sau khi xác định được mặt phản ứng cuối cùng, thực hiện mô phỏng Monte Carlo với số phép thử thỏa mãn (13). Độ tin cậy của tiết diện phần tử kết cấu chính thứ i được xác định tương ứng với chiều cao sóng đang xét như sau:

$$P_i = P(\Gamma_i < 0) = \frac{n_{ii}^{p1}}{n_{ii}} \quad (14)$$

với n_{ii}^{p1} là tổng số lần gieo thu được giá trị $\Gamma_i < 0$.

Với quan điểm coi kết cấu còn khả năng khai thác khi chưa có tiết diện phần tử kết cấu chính nào chảy dẻo toàn phần, độ tin cậy tổng thể của kết cấu được đánh giá:

$$P = \min(P_i) \quad (15)$$

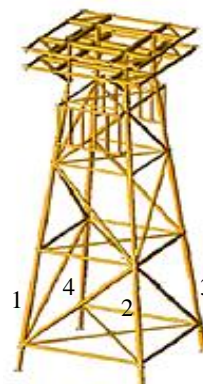
5. Ứng dụng kết quả nghiên cứu

Xét một kết cấu công trình biển cố định bằng thép 4 ống chính điển hình chịu tải trọng sóng khu vực mở Sư Tử Nâu (Hình 3) với các số liệu đầu vào được tóm tắt như sau:

Số liệu kết cấu: Kết cấu dạng jacket 4 ống chính, cọc đóng lồng trong ống chính, với các thông số chính cho trong Bảng 1. Liên kết nối đất được mô tả dạng ngàm giả định với chiều sâu bằng $7D_c$, D_c là đường kính ngoài của cọc.

Bảng 1. Tóm tắt số liệu khối chân đế

Hạng mục	Thông số
Chức năng	Giàn người ở
Thượng tầng	$20 \times 20 \times 9$ (m)
Trọng lượng thượng tầng	800 (T)
Ống chính	914×19 (mm)
Cọc	813×30 (mm)
Ống nhánh điển hình	609×16 (mm)



Hình 3. Kết cấu khối chân đế

Mác thép API 5L, Giới hạn chảy trung bình $\mu_{F_y} = 345$ MPa, Độ lệch chuẩn = $6\% \mu_{F_y}$; Mô đun đàn hồi trung bình $\mu_E = 2,1$ MPa, Độ lệch chuẩn = $5\% \mu_E$. Sai số đường kính ống lớn nhất là 4 mm, sai số chiều dày ống lớn nhất là 1,5 mm.

Số liệu môi trường: Độ sâu nước tương ứng với mực nước trung bình: 45,6 m; Mực nước: Cao nhất +2,0 m; Thấp nhất -2,5 m. Số liệu sóng xem ở Bảng 2 và 3.

Bảng 2. Số liệu sóng 100 năm

Thông số sóng	Hướng sóng							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Chiều cao sóng Max (m)	12,90	12,27	14,78	8,23	7,88	8,91	11,61	12,58
Chu kỳ của sóng (sec)	11,35	10,88	12,79	8,00	7,76	8,47	10,40	11,11

Bảng 3. Số liệu sóng 10 năm

Thông số sóng	Hướng sóng							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Chiều cao sóng Max (m)	9,23	8,78	10,58	5,89	5,64	6,38	8,31	9,00
Chu kỳ của sóng (sec)	8,97	8,59	10,11	6,32	6,13	6,69	8,21	8,78

Phân tích số liệu sóng vượt mức thiết kế

Theo số liệu Bảng 2 và 3, dựa trên Công thức (6) ta xác định được các hệ số và hàm phân phối xác suất Fisher-Tippet loại I của chiều cao sóng cực đại theo chu kỳ lặp như sau:

$$f(H_{\max}) = 0,152 \exp\left(-\frac{H_{\max} - 6,558}{1,787}\right) - \exp\left(-\frac{H_{\max} - 6,558}{1,787}\right)$$

Phân tích kết cấu chịu tải trọng sóng vượt mức thiết kế nằm trong phạm vi từ chu kỳ lặp 100 năm đến chu kỳ lặp giới hạn 10000 năm theo tiêu chuẩn, đặc trưng xác suất của chiều cao sóng nằm trong giới hạn này được xác định theo Công thức (4) và (5), kết quả $\mu_{H_{\max}} = 16 \text{ m}$ và $\sigma(H_{\max}) = 1,4 \text{ m}$.

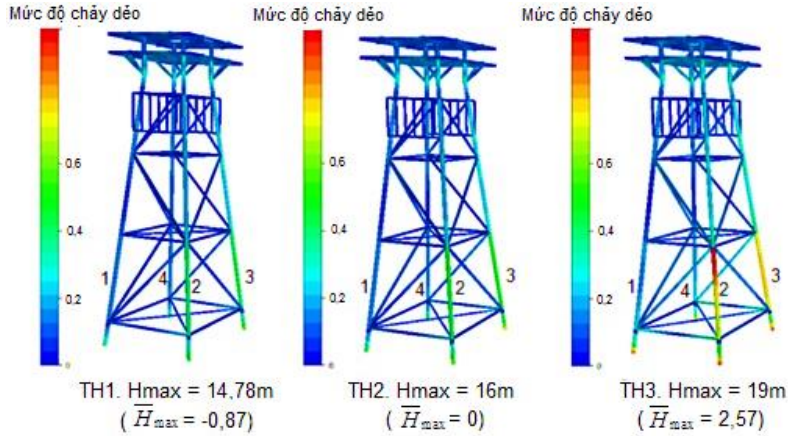
Thiết lập mặt chảy toàn phần của tiết diện phần tử kết cấu chính nguy hiểm nhất

Để giảm bớt độ phức tạp của ví dụ tính toán, trong bài báo chỉ xét đến tính chất ngẫu nhiên của tiết diện hình học 4 ống chính khoang cuối là bốn phần tử chịu lực lớn và có ảnh hưởng tương tác đáng kể, đánh số thứ tự từ 1 đến 4 (Hình 3). Xét đến cả yếu tố ngẫu nhiên của chiều cao sóng, giới hạn chảy và mô đun đàn hồi của vật liệu tổng số biến ngẫu nhiên là 11.

Kết quả phân tích kết cấu cho thấy tiết diện nguy hiểm nhất là tiết diện trên cùng của phần tử số 2 (Hình 4). Hàm mặt chảy tương đương của tiết diện này được khai triển theo Công thức (8) gồm 78 số hạng. Thực hiện gán giá trị cho các biến ngẫu nhiên tại các điểm đặc trưng của từng biến bao gồm giá trị trung bình, giá trị nhỏ nhất và lớn nhất của biến, bổ sung thêm các điểm của từng cặp biến tương ứng với giá trị giới hạn dẻo toàn phần của mặt chảy. Sử dụng phần mềm USFOS [4] để phân tích kết cấu, thu được giá trị của hàm mặt chảy của phần tử.

Bảng 4 trình bày kết quả điển hình của mặt chảy trên miền giá trị của \bar{H}_{\max} và giá trị mặt chảy tối hạn trên đường chéo giữa \bar{H}_{\max} và từng biến ngẫu nhiên còn lại. Các biến ngẫu nhiên khác cũng được gán các giá trị theo quy luật tương tự.

Thực hiện phân tích hồi quy với phương pháp đã trình bày ở mục trên để xác định 78 hệ số của 78 số hạng của hàm mặt chảy tương đương của phần tử theo kết quả mặt chảy thực của các phép thử, ta



Hình 4. Kết quả phân tích điều kiện chảy dẻo của kết cấu khi chịu các con sóng tương ứng với giá trị chiều cao sóng nhỏ nhất, trung bình và lớn nhất trong miền giá trị đang xét

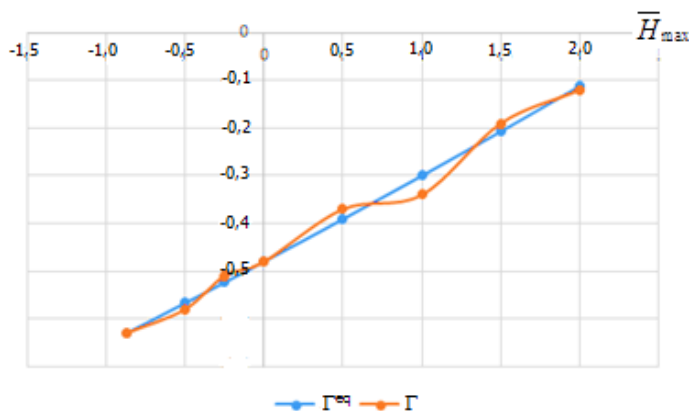
Bảng 4. Lựa chọn các giá trị điển hình của biến \bar{H}_{max} và kết quả của mặt chảy thực

\bar{H}_{max}	\bar{F}_y	\bar{E}	\bar{D}_1	\bar{D}_2	\bar{D}_3	\bar{D}_4	\bar{t}_1	\bar{t}_2	\bar{t}_3	\bar{t}_4	Γ
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,480
-0,87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,630
2,57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
1,42	-1,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
2,43	0	-2,43	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
2,43	0	0	-2,43	0	0	0	0	0	0	0	0,000
2,43	0	0	0	-2,43	0	0	0	0	0	0	0,000
2,43	0	0	0	0	-2,43	0	0	0	0	0	0,000
2,43	0	0	0	0	0	-2,43	0	0	0	0	0,000
2,21	0	0	0	0	0	0	-2,2	0	0	0	0,000
1,7	0	0	0	0	0	0	0	-1,7	0	0	0,000
2,21	0	0	0	0	0	0	0	0	-2,21	0	0,000
2,43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2,43	0,000

xác định được hàm mặt chảy tương đương như sau:

$$\begin{aligned}
 \Gamma^{eq} = & -0,480 + 0,176\bar{H}_{max} - 0,095\bar{F}_y - 0,005\bar{E} - 0,005\bar{D}_2 - 0,090\bar{t}_2 + 0,015\bar{t}_3 + 0,005\bar{t}_4 \\
 & + 0,004\bar{H}_{max}^2 - 0,035\bar{F}_y^2 - 0,005\bar{E}^2 - 0,005\bar{D}_2^2 - 0,010\bar{t}_2^2 - 0,025\bar{t}_3^2 - 0,005\bar{t}_4^2 - 0,078\bar{H}_{max}\bar{F}_y \\
 & - 0,008\bar{H}_{max}\bar{E} - 0,005\bar{H}_{max}\bar{D}_1 - 0,008\bar{H}_{max}\bar{D}_2 - 0,005\bar{H}_{max}\bar{D}_3 - 0,005\bar{H}_{max}\bar{D}_4 - 0,014\bar{H}_{max}\bar{t}_1 \\
 & - 0,015\bar{H}_{max}\bar{t}_2 - 0,021\bar{H}_{max}\bar{t}_3 - 0,012\bar{H}_{max}\bar{t}_4 - 0,010\bar{F}_y\bar{D}_2 - 0,020\bar{F}_y\bar{t}_2 - 0,050\bar{F}_y\bar{t}_3 \\
 & - 0,010\bar{E}\bar{D}_2 - 0,010\bar{E}\bar{t}_2 - 0,050\bar{E}\bar{t}_3 - 0,010\bar{E}\bar{t}_4 - 0,010\bar{D}_1\bar{t}_2 - 0,050\bar{D}_1\bar{t}_3 + 0,010\bar{D}_1\bar{t}_4 \\
 & + 0,010\bar{D}_2\bar{t}_2 - 0,050\bar{D}_2\bar{t}_3 + 0,010\bar{D}_2\bar{t}_4 + 0,010\bar{D}_3\bar{t}_2 - 0,050\bar{D}_3\bar{t}_3 + 0,010\bar{D}_3\bar{t}_4 + 0,020\bar{D}_4\bar{t}_2 \\
 & - 0,050\bar{D}_4\bar{t}_3 + 0,010\bar{D}_4\bar{t}_4 + 0,010\bar{t}_1\bar{t}_2 - 0,050\bar{t}_1\bar{t}_3 + 0,010\bar{t}_1\bar{t}_4 - 0,040\bar{t}_2\bar{t}_3 - 0,070\bar{t}_2\bar{t}_4 + 0,060\bar{t}_3\bar{t}_4
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Sai số giữa mặt chảy thực Γ và mặt chảy tương đương Γ^{eq} theo giá trị chiều cao sóng được minh họa trong Hình 5. Tổng bình phương sai số trên 78 phép thử là $4S = 0,0065$, tức là sai số trung bình trên một phép thử khoảng 0,001, có thể chấp nhận được.



Hình 5. Đồ thị biểu diễn tương quan kết quả mặt chảy tương đương Γ^{eq} và mặt chảy thực Γ theo trục chiều cao sóng

Đánh giá độ tin cậy của kết cấu khi chịu tải vượt mức thiết kế

Tương ứng với từng chiều cao sóng thực hiện mô phỏng Monte Carlo với số phép thử đủ lớn thỏa mãn độ chính xác kết quả là 99,9%, đánh giá độ tin cậy của kết cấu theo điều kiện chảy dẻo toàn phần. Kết quả đánh giá ứng với 3 chiều cao sóng vượt mức thiết kế cho trong Bảng 5 dưới đây.

Bảng 5. Kết quả hàm mật chảy tương ứng với giá trị của \bar{H}_{max}

\bar{H}_{max} (m)	Số phép thử	μ_{Γ}	Var(Γ)	$P(\Gamma < 0)$
18	20674	-0,313	0,029	$\approx 1,0000$
18,8	21134	-0,205	0,013	0,9990
19,1	21927	-0,155	0,008	0,9900

Theo quy định của các tiêu chuẩn hiện hành, kết cấu chỉ được tính toán thiết kế với tác động của con sóng có chu kỳ lặp 100 năm, trong ví dụ này tương ứng với chiều cao sóng lớn nhất là 14,78 m (Bảng 2). Tuy nhiên, theo phương pháp đánh giá đã đề xuất trong báo cáo này cho phép kết cấu có thể chịu được con sóng lớn hơn. Cụ thể theo kết quả tính toán trong Bảng 5 kết cấu luôn đảm bảo an toàn với con sóng chiều cao nhỏ hơn hoặc bằng 18 m và có thể chịu được con sóng lên đến 19,1 m với độ tin cậy là 0,99.

6. Kết luận, kiến nghị

Việc phân tích độ tin cậy kết cấu công trình biển cố định bằng thép làm việc phi tuyến khi chịu tải trọng vượt mức thiết kế với số lượng biến ngẫu nhiên lớn là rất phức tạp và sẽ gặp phải khó khăn đáng kể khi thực hiện theo các phương pháp truyền thống như phân tích độ tin cậy bậc 1, bậc 2 hay mô phỏng Monte Carlo trực tiếp. . .

Bài báo đã đề xuất một phương pháp đánh giá độ tin cậy của kết cấu công trình biển cố định bằng thép khi chịu tải vượt mức thiết kế dựa trên phân tích độ tin cậy của các tiết diện phần tử kết cấu chính theo điều kiện chảy dẻo toàn phần. Trong đó, hàm mật chảy dẻo toàn phần của mỗi tiết diện được xấp xỉ bởi một hàm tương đương dạng đa thức bậc 2 phụ thuộc vào các biến ngẫu nhiên. Các hệ số của hàm tương đương được xác định dựa trên phương pháp cực tiểu hóa tổng bình phương sai số giữa các giá trị mật chảy thực và giá trị của mật chảy tương đương với số lượng phép thử đủ lớn. Mỗi phép thử tương ứng với một lần phân tích kết cấu phi tuyến, có thể được thực hiện bởi các chương trình tính toán chuyên dụng như phần mềm USFOS [4].

Phương pháp này có ưu điểm là cho phép đánh giá độ tin cậy của hệ thống thông qua độ tin cậy của phần tử dựa trên một mối quan hệ xác định giữa đặc trưng độ bền với các thông số ngẫu nhiên, làm giảm đáng kể khối lượng tính toán mà kết quả vẫn đảm bảo độ chính xác nhất định, có thể đánh giá và điều khiển được sai số. Để giảm tối đa sai số, việc lựa chọn dạng hàm xấp xỉ, số lượng phép thử và giá trị thử của các biến mang tính quyết định. Do đó vấn đề này cần tiếp tục được nghiên cứu thêm trong thời gian tới.

Khi có các số liệu khảo sát thực tế tin cậy, có thể áp dụng phương pháp này như một căn cứ để đánh giá nâng cấp, kéo dài tuổi thọ hay tái sử dụng các công trình biển cố định bằng thép trong điều kiện Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- [1] Cường, Đ. Q., Chỉnh, V. Đ., Anh, B. T., Tuấn, Đ. Đ. (2015). Nghiên cứu đánh giá lại sự rung lắc của các kết cấu công trình DKI bằng thép móng cọc trên nền san hô dựa trên trạng thái giới hạn phá hủy lũy tiến. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng*, 9(3):74–79.
- [2] Box, Draper (1987). *Empirical model building and response surface*. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA.
- [3] Kathleen, M. C., Natalia, Y. K., Jeff, R. (2004). Response surface methodology. Technical report, Center for Computational Analysis of Social and Organizational Systems.
- [4] Shahidi, G., Pakzad, S. (2007). *Response surface model updating for nonlinear structures*.
- [5] Sorehde, T. H., Amdahl, J., Eberg, E., Hellan, O., Halmas, T. (1993). *A computer program progressive collapse analysis of steel offshore structures*. Theory Manual, Norway.
- [6] Ueda, Y., Rashed, S. M. H. (1990). Modern method of ultimate strength analysis of offshore structures. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 9(1):7–23.
- [7] FUGRO GEOS (2008). *Vietnam metocean criteria - premier oil Vietnam offshore PV*. Fugro GEOS Ltd.
- [8] Gorski, J. (2006). *Non-linear models of structures with random geometric and material imperfections simulation-based approach*. Wydawnictwo Politechniki Gdanskiej.
- [9] Hurtado, J. E., Barbat, A. H. (1998). [Monte Carlo techniques in computational stochastic mechanics](#). *Archives of Computational Methods in Engineering*, 5(1):3–30.