

PHÂN TÍCH ĐỘ TIN CẬY KẾT CẤU DỰA TRÊN HÀM TRẠNG THÁI GIỚI HẠN VÀ PHƯƠNG PHÁP MÔMEN THỨ HAI BẬC NHẤT (FOSM)

STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS BASED ON LIMIT STATE FUNCTIONS AND THE FIRST-ORDER SECOND-MOMENT (FOSM) METHOD

➔ **ThS. Võ Thành Nam** - Khoa Kỹ thuật công trình, Trường Đại học Tôn Đức Thắng, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam. Email: vothanhnam@tdtu.edu.vn

➔ **TS. Phạm Hải Chiến** - Khoa Kỹ thuật công trình, Trường Đại học Tôn Đức Thắng, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam. Email: phamhaichien@tdtu.edu.vn - ĐT: 0918040904

Tóm tắt: Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết của phương pháp thiết kế kết cấu theo độ tin cậy, tập trung vào khái niệm trạng thái giới hạn và hàm trạng thái giới hạn. Mối quan hệ giữa sức kháng và hiệu ứng tải trọng được mô tả dưới dạng các biến ngẫu nhiên, từ đó xác định xác suất phá hoại của kết cấu. Do khó khăn trong việc tính toán trực tiếp xác suất phá hoại, chỉ số độ tin cậy β được sử dụng như một đại lượng thay thế để đánh giá mức độ an toàn. Phương pháp mômen thứ hai bậc nhất (FOSM) được trình bày như một công cụ hiệu quả để xác định chỉ số độ tin cậy. Đối với hàm trạng thái giới hạn tuyến tính, β được xác định trực tiếp từ giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của các biến ngẫu nhiên. Đối với trường hợp phi tuyến, hàm trạng thái được tuyến tính hóa bằng khai triển Taylor bậc nhất tại giá trị trung bình, cho phép tính toán β một cách xấp xỉ. Các ví dụ minh họa cho thấy tính khả thi của phương pháp đối với các bài toán kết cấu thép và bê tông cốt thép. Kết quả nghiên cứu khẳng định phương pháp FOSM là một công cụ đơn giản, hiệu quả và có ý nghĩa thực tiễn trong phân tích độ tin cậy kết cấu, đồng thời là nền tảng cho các phương pháp nâng cao trong thiết kế theo độ tin cậy.

Từ khóa: Độ tin cậy kết cấu, hàm trạng thái giới hạn, chỉ số độ tin cậy, phương pháp FOSM, xác suất phá hoại.

1. Mở đầu

Khái niệm “phá hoại” (failure) trong kỹ thuật kết cấu từ lâu đã được thừa nhận là không có một định nghĩa duy nhất và tuyệt đối. Một kết cấu có thể được coi là bị phá hoại khi nó không còn đáp ứng được chức năng dự kiến ban đầu; tuy nhiên, việc xác định “chức năng” này trong thực tế thường mang tính chủ quan và phụ thuộc vào mục tiêu khai thác [1]. Chẳng hạn, đối với một dầm thép đơn giản, trạng thái phá hoại có thể được nhận diện theo nhiều tiêu chí khác nhau như: chuyển vị vượt quá giới hạn cho phép, hình thành khớp dẻo, mất ổn định tổng thể, hoặc mất ổn định cục bộ của bản cánh và bản bụng. Sự đa dạng trong các tiêu chí này cho thấy rằng khái niệm phá hoại không phải là một trạng thái duy nhất, mà phụ thuộc vào cách tiếp cận và yêu cầu đánh giá cụ thể.

Abstract: This paper presents the theoretical framework of reliability-based structural design, focusing on the concepts of limit states and limit state functions. The relationship between resistance and load effects is modeled using random variables, enabling evaluation of the probability of failure. Due to the complexity of directly calculating failure probability, the reliability index β is adopted as a practical measure of structural safety. The First-Order Second-Moment (FOSM) method is introduced as an efficient approach for evaluating the reliability index. For linear limit state functions, β can be directly determined from the mean values and standard deviations of the random variables. For nonlinear cases, the limit state function is linearized using a first-order Taylor series expansion at the mean values, allowing an approximate evaluation of β . Illustrative examples demonstrate the method's applicability to both steel and reinforced concrete structures. The results indicate that the FOSM method is a simple and effective tool for reliability analysis in structural engineering, and it provides a fundamental basis for more advanced reliability-based design methods.

Keywords: Structural reliability, limit state function, reliability index, FOSM method, probability of failure.

Để khắc phục tình trạng không rõ ràng này, lý thuyết thiết kế kết cấu hiện đại đã đưa ra khái niệm trạng thái giới hạn (limit state). Trạng thái giới hạn được hiểu là ranh giới giữa hai miền làm việc: miền làm việc bình thường (thỏa mãn yêu cầu thiết kế) và miền làm việc không đạt yêu cầu [2]. Về mặt toán học, trạng thái này thường được biểu diễn thông qua một hàm trạng thái giới hạn, mô tả mối quan hệ giữa khả năng chịu lực của kết cấu và tác động của tải trọng.

Trong lĩnh vực công trình cầu, trạng thái phá hoại thường được hiểu là khi kết cấu không còn đủ khả năng chịu tải trọng khai thác [3], đặc biệt là tải trọng xe. Tuy nhiên, các trạng thái không mong muốn không chỉ giới hạn ở sự sụp đổ hoàn toàn mà còn bao gồm nhiều dạng khác như nứt, ăn mòn, biến dạng lớn, vượt quá khả năng chịu lực, hoặc mất ổn định.

Mỗi dạng biểu hiện này tương ứng với một trạng thái giới hạn riêng biệt và cần được xem xét độc lập trong quá trình thiết kế và đánh giá kết cấu.

Dựa trên bản chất và hậu quả của các trạng thái này, các trạng thái giới hạn trong kết cấu thường được phân thành ba nhóm chính: trạng thái giới hạn cường độ, trạng thái giới hạn sử dụng, và trạng thái giới hạn mỏi [2], [4].

Trạng thái giới hạn cường độ (strength limit states) liên quan trực tiếp đến khả năng chịu lực cực hạn của kết cấu. Đây là trạng thái mà tại đó kết cấu hoặc cấu kiện không còn khả năng chịu tải, dẫn đến phá hoại. Các dạng phá hoại điển hình bao gồm: vượt quá khả năng chịu mômen uốn, hình thành khớp dẻo, bê tông bị nén vỡ, phá hoại cắt, mất ổn định tổng thể hoặc cục bộ, cũng như phá hoại tại các liên kết như mối hàn. Do ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn, đây là nhóm trạng thái quan trọng nhất trong thiết kế kết cấu.

Ngược lại, trạng thái giới hạn sử dụng (service limit states) không nhất thiết dẫn đến sập đổ nhưng ảnh hưởng đáng kể đến khả năng khai thác, độ bền lâu và sự tiện nghi của công trình. Các biểu hiện phổ biến bao gồm độ võng vượt quá giới hạn cho phép, dao động quá mức, biến dạng dư, và sự xuất hiện của vết nứt. Mặc dù các trạng thái này không gây phá hoại tức thời, nhưng chúng có thể làm suy giảm tuổi thọ công trình và ảnh hưởng đến trải nghiệm người sử dụng.

Bên cạnh đó, trạng thái giới hạn mỏi (fatigue limit states) phản ánh sự phá hoại của vật liệu dưới tác dụng của tải trọng lặp lại theo thời gian. Trong trường hợp này, kết cấu có thể bị phá hoại ở mức tải nhỏ hơn nhiều so với tải trọng cực hạn do sự tích lũy hư hỏng vi mô. Quá trình mỏi thường bao gồm sự khởi đầu và phát triển của các vết nứt cho đến khi xảy ra đứt gãy hoàn toàn. Hiện tượng này đặc biệt quan trọng đối với các kết cấu thép, cốt thép chịu kéo, liên kết hàn và cáp dự ứng lực, trong đó biên độ tải trọng và số chu kỳ lặp lại là hai yếu tố chi phối chính.

Như vậy, việc sử dụng khái niệm trạng thái giới hạn cho phép mô tả một cách hệ thống và rõ ràng các điều kiện làm việc của kết cấu, từ đó tạo cơ sở khoa học cho việc thiết kế an toàn và kinh tế trong kỹ thuật công trình.

2. Hàm trạng thái giới hạn và độ tin cậy kết cấu

Hàm trạng thái giới hạn (limit state function) là công cụ cơ bản trong phân tích và thiết kế kết cấu theo độ tin cậy, cho phép mô tả một cách định lượng ranh giới giữa miền làm việc an toàn và miền phá hoại. Trong dạng tổng quát, hàm trạng thái giới hạn được biểu diễn dưới dạng hàm của các biến

ngẫu nhiên đặc trưng cho sức kháng và tải trọng:

$$g(R, Q) = R - Q \tag{1}$$

Trong đó, R là sức kháng (resistance) và Q là hiệu ứng tải trọng (load effect). Trạng thái làm việc của kết cấu được xác định như sau: $g > 0$: kết cấu an toàn; $g = 0$: trạng thái giới hạn; $g < 0$: phá hoại [1], [2].

Ngoài ra, hàm trạng thái giới hạn cũng có thể được biểu diễn dưới dạng không thứ nguyên nhằm thuận tiện cho phân tích:

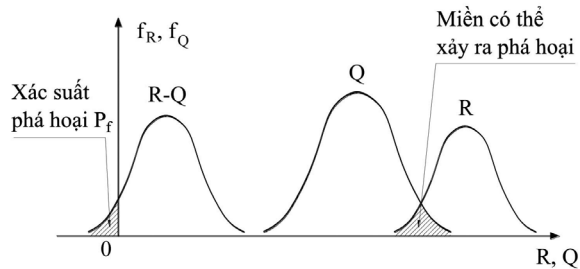
$$g(R, Q) = R/Q - 1 \tag{2}$$

Trong thực tế, trạng thái của kết cấu không chỉ phụ thuộc vào hai đại lượng R và Q, mà còn là hàm của nhiều biến ngẫu nhiên như tải trọng (tĩnh tải D, hoạt tải L, gió W, động đất E), đặc trưng vật liệu (giới hạn chảy F_y), và các thông số hình học (mômen chống uốn Z, mômen quán tính,...). Do đó, hàm trạng thái giới hạn tổng quát có thể viết dưới dạng $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ [1].

Trên cơ sở hàm trạng thái giới hạn, xác suất phá hoại P_f được định nghĩa là xác suất để kết cấu rơi vào miền phá hoại:

$$P_f = P(R - Q < 0) = P(g < 0) \tag{3}$$

Khi R và Q là các biến ngẫu nhiên liên tục, mỗi đại lượng được đặc trưng bởi hàm mật độ xác suất (PDF). Khi đó, hiệu $G = R - Q$ cũng là một biến ngẫu nhiên.



Hình 1. Hàm mật độ xác suất của tải trọng và sức kháng

Xác suất không phá hoại (xác suất an toàn) được định nghĩa:

$$P_s = P(R > Q) \text{ hoặc } P_s = P(Q < R) \tag{4}$$

Trong trường hợp R và Q độc lập, xác suất này có thể được biểu diễn dưới dạng tích phân:

$$P_s = \int_{-\infty}^{+\infty} f_R(r_i) \left[\int_{-\infty}^{r_i} f_Q(q_i) dq_i \right] dr_i \tag{5}$$

Từ đó, xác suất phá hoại được xác định:

$$P_f = 1 - P_s = P(R < Q) \tag{6}$$

Thay giá trị của P_s từ công thức (5)

$$\begin{aligned} P_f &= 1 - \int_{-\infty}^{+\infty} f_Q(q_i) \left[\int_{q_i}^{+\infty} f_R(r_i) dr_i \right] dq_i \\ &= 1 - \int_{-\infty}^{+\infty} f_Q(q_i) [1 - F_R(q_i)] dq_i \end{aligned} \tag{7}$$

Hoặc

$$P_f = \int_{-\infty}^{+\infty} F_R(q_i) f_Q(q_i) dq_i \quad (8)$$

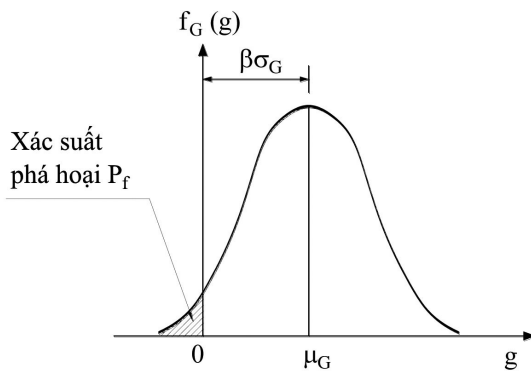
Tuy nhiên, việc giải các tích phân này trong thực tế là rất phức tạp, đặc biệt khi hàm trạng thái giới hạn phi tuyến hoặc số lượng biến lớn.

Do khó khăn trong việc tính trực tiếp P_f chỉ số độ tin cậy β được sử dụng như một đại lượng thay thế. Chỉ số này được định nghĩa là khoảng cách chuẩn hóa từ giá trị trung bình của hàm trạng thái giới hạn đến ranh giới phá hoại:

$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g} \quad (9)$$

Trong trường hợp R và Q phân phối chuẩn [5]:

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}} \quad (10)$$



Hình 2. Định nghĩa chỉ số độ an toàn

Mối quan hệ giữa xác suất phá hoại và chỉ số độ tin cậy được xác định thông qua hàm phân phối chuẩn:

$$P_f = \Phi(-\beta) \text{ hoặc } \beta = -\Phi^{-1}(P_f) \quad (11)$$

Bảng 1. Chỉ số độ tin cậy β và xác suất phá hoại P_f

P_f	10-1	10-2	10-3	10-4	10-5	10-6	10-7	10-8	10-9
β	1,28	2,33	3,09	3,71	4,26	4,75	5,19	5,62	5,99

Để thuận tiện cho tính toán, các biến ngẫu nhiên thường được chuẩn hóa:

$$Z_R = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R}; Z_Q = \frac{Q - \mu_Q}{\sigma_Q} \quad (12)$$

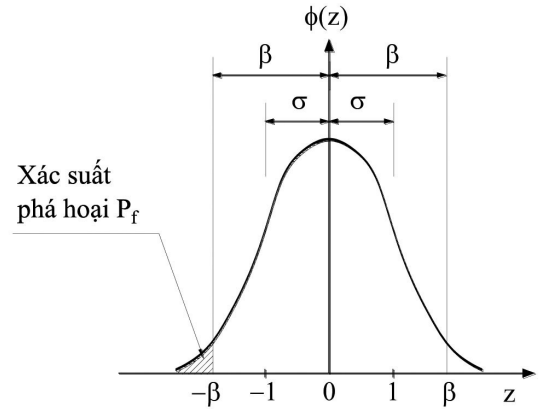
Biến Z_R và Z_Q được gọi là các biến suy giảm (reduced variables). Khi đó, R và Q có thể biểu diễn dưới dạng sau:

$$R = \mu_R + Z_R \sigma_R \quad (13)$$

$$Q = \mu_Q + Z_R \sigma_Q \quad (14)$$

Khi đó, hàm trạng thái giới hạn được viết lại:

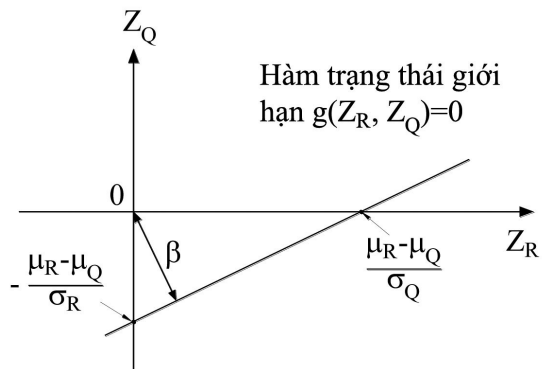
$$g(Z_R, Z_Q) = \mu_R + Z_R \sigma_R - \mu_Q - Z_R \sigma_Q = (\mu_R - \mu_Q) + Z_R \sigma_R - Z_R \sigma_Q \quad (15)$$



Hình 3. Hàm PDF của phân phối chuẩn chuẩn hóa

Trong không gian chuẩn hóa, chỉ số độ tin cậy có thể được hiểu là khoảng cách hình học từ gốc tọa độ đến bề mặt $g=0$:

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}} \quad (16)$$



Hình 4. Định nghĩa chỉ số β theo biến suy giảm

Như vậy, việc sử dụng hàm trạng thái giới hạn kết hợp với chỉ số độ tin cậy β cung cấp một khuôn khổ toán học chặt chẽ và hiệu quả để đánh giá an toàn kết cấu trong điều kiện có xét đến tính ngẫu nhiên của tải trọng và sức kháng. Phương pháp này cho phép thay thế việc tính toán trực tiếp xác suất phá hoại bằng các đại lượng dễ xử lý hơn, đồng thời vẫn đảm bảo độ chính xác cần thiết trong thiết kế kỹ thuật.

3. Phương pháp FOSM (First-Order Second-Moment) trong đánh giá độ tin cậy

Phương pháp mômen thứ hai bậc nhất (FOSM – First-Order Second-Moment) là một trong những phương pháp cơ bản và được sử dụng để xác định chỉ số độ tin cậy của kết cấu. Nguyên lý của phương pháp này dựa trên việc xấp xỉ hàm trạng thái giới hạn bằng khai triển Taylor bậc nhất và sử dụng các đặc trưng thống kê bậc hai (giá trị trung bình và phương sai) của các biến ngẫu nhiên.

3.1. Hàm trạng thái giới hạn tuyến tính

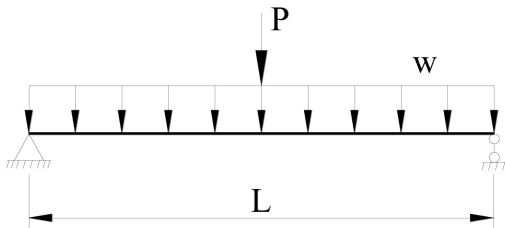
Xét một hàm trạng thái giới hạn tuyến tính có dạng $G(X_1, X_2, \dots, X_n) = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_n X_n = a_0 + \sum a_i X_i$ (17)

Trong đó a_i là hằng số và X_i là các biến ngẫu nhiên độc lập. Với giả thiết này, chỉ số độ tin cậy β có thể xác định trực tiếp từ giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của hàm G.

$$\beta = \frac{a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \mu_{X_i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i \sigma_{X_i})^2}} \quad (18)$$

Biểu thức trên cho thấy chỉ số β chỉ phụ thuộc vào hai đặc trưng thống kê cơ bản (mômen bậc nhất và bậc hai), do đó được gọi là phương pháp mômen thứ hai. Trong trường hợp các biến ngẫu nhiên độc lập và tuân theo phân phối chuẩn, phương pháp này cho kết quả chính xác và có thể liên hệ trực tiếp với xác suất phá hoại thông qua hàm phân phối chuẩn. Ngược lại, khi các biến không chuẩn, kết quả chỉ mang tính xấp xỉ.

Ví dụ, cho dầm chịu lực tập trung P và lực phân bố đều w [3]. Tải trọng là các biến ngẫu nhiên. Các giá trị danh định $w = w_n = 3,0$ k/ft; $P = P_n = 12,0$ k; $F_y = 36$ ksi. Hệ số biến sai: $V_w = 10\%$; $V_P = 11\%$; $V_F = 11,5\%$. Chiều dài $L = 18$ ft và mômen chống uốn $Z = 80$ in³ là không đổi. Hệ số độ lệch (bias factor) là ($\lambda_w = 1,0$; $\lambda_P = 0,85$; $\lambda_F = 1,12$).



Hình 5. Dầm thép chịu tải trọng tập trung và phân bố đều

Các thông số thống kê như sau

Tải phân bố đều: $\mu_w = \lambda_w w_n = 3,0$ k/ft = 0,25 k/in;

$\sigma_w = V_w \mu_w = 0,3$ k/ft = 0,025 k/in

Tải tập trung: $\mu_P = \lambda_P P_n = 10,02$ k; $\sigma_P = V_P \mu_P = 1,12$ k

Giới hạn chảy: $\mu_F = \lambda_F F_y = 40,3$ ksi; $\sigma_F = V_F \mu_F = 4,64$ k

Hàm trạng thái giới hạn:

$$g(P, w, F_y) = F_y Z - \frac{PL}{4} - \frac{wL^2}{8}$$

Thay L và Z, có hàm trạng thái giới hạn như sau $g(P, w, F_y) = 80F_y - 54P - 5832w$

Vì hàm trạng thái giới hạn là tuyến tính, giá trị β như sau:

$$\beta = \frac{80(40,3) - 54(10,2) - 5832(0,25)}{\sqrt{[(80)(4,64)]^2 + [(-54)(1,12)]^2 + [(-5832)(0,025)]^2}} = 3,01$$

3.2. Hàm trạng thái giới hạn phi tuyến

Trong thực tế, hàm trạng thái giới hạn thường có dạng phi tuyến theo các biến ngẫu nhiên. Khi đó, phương pháp FOSM sử dụng khai triển Taylor bậc nhất để tuyến tính hóa hàm tại một điểm xác định (thường là giá trị trung bình của các biến):

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) \approx g(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) + \sum_{i=1}^n (X_i - x_i^*) \frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)} \quad (19)$$

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) \approx g(\mu_{X_1}, \mu_{X_2}, \dots, \mu_{X_n}) + \sum_{i=1}^n (X_i - \mu_{X_i}) \frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{(\mu_{X_1}, \mu_{X_2}, \dots, \mu_{X_n})} \quad (20)$$

Sau khi tuyến tính hóa, hàm trạng thái giới hạn được đưa về dạng tuyến tính tương đương với (17), do đó có thể áp dụng lại công thức tính chỉ số độ tin cậy. Kết quả thu được:

$$\beta = \frac{g(\mu_{X_1}, \mu_{X_2}, \dots, \mu_{X_n})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i \sigma_{X_i})^2}} \quad (21)$$

trong đó

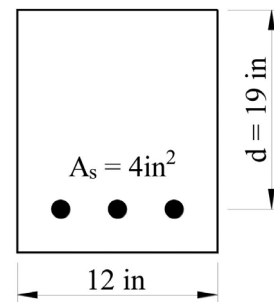
$$a_i = \frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{(\mu_{X_1}, \mu_{X_2}, \dots, \mu_{X_n})} \quad (21)$$

Trong đó, các đạo hàm riêng của hàm trạng thái giới hạn theo từng biến được đánh giá tại giá trị trung bình. Chỉ số β xác định theo cách này được gọi là chỉ số độ tin cậy FOSM, với các đặc trưng: sử dụng khai triển Taylor bậc nhất, sử dụng trung bình và phương sai, tuyến tính hóa tại kỳ vọng [1], [6].

Bảng 2. Thông số thống kê của dầm bê tông cốt thép

Mean	Nominal	λ	σ	V	
f_y	44 ksi	40 ksi	1,10	4,62 ksi	0,105
A_s	4,08 in ²	4 in ²	1,02	0,08 in ²	0,02
f'_c	3,12 ksi	3 ksi	1,04	0,44 ksi	0,14
Q	2052 k.in	2160 k.in	0,95	246 k.in	0,12

Xét dầm bê tông cốt thép có tiết diện như hình 6. Các biến ngẫu nhiên A_s (diện tích cốt thép chịu kéo), f_y (giới hạn chảy cốt thép) f'_c (cường độ chịu nén của bê tông) và Q (tổng mômen tác dụng) có thông số như bảng 2.



Hình 6. Tiết diện dầm bê tông cốt thép

Giá trị của d (khoảng cách từ thớ nén ngoài cùng đến trọng tâm cốt thép chịu kéo) và b (bề rộng tiết diện) là không đổi.

Khả năng chịu mômen của tiết diện tính theo công thức:

$$M = A_s f_y \left(d - 0,59 \frac{A_s f_y}{f'_c b} \right) = A_s f_y d - 0,59 \frac{(A_s f_y)^2}{f'_c b}$$

Hàm trạng thái giới hạn là:

$$g(A_s, f_y, f'_c, Q) = A_s f_y d - 0,59 \frac{(A_s f_y)^2}{f'_c b} - Q$$

Khai triển dãy Taylor hàm này:

$$\begin{aligned} g(A_s, f_y, f'_c, Q) &\approx \left[\mu_{A_s} \mu_{F_y} d - 0,59 \frac{(\mu_{A_s} \mu_{F_y})^2}{\mu_{f'_c} b} - \mu_Q \right] + \\ &+ (A_s - \mu_{A_s}) \frac{\partial g}{\partial A_s} \Big|_{(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q)} + \\ &+ (f_y - \mu_{F_y}) \frac{\partial g}{\partial f_y} \Big|_{(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q)} + \\ &+ (f'_c - \mu_{f'_c}) \frac{\partial g}{\partial f'_c} \Big|_{(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q)} + \\ &+ (Q - \mu_Q) \frac{\partial g}{\partial Q} \Big|_{(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q)} \end{aligned}$$

Đạo hàm hàm trạng thái giới hạn tại giá trị trung bình các biến ngẫu nhiên:

$$\begin{aligned} g(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q) &= \\ &= \mu_{A_s} \mu_{F_y} d - 0,59 \frac{(\mu_{A_s} \mu_{F_y})^2}{\mu_{f'_c} b} - \mu_Q = 851,0 \text{ (k.in)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_1 = \frac{\partial g}{\partial A_s} \Big|_{(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q)} &= \\ &= \left[f_y d - 0,59 \frac{(2A_s f_y)}{f'_c b} \right] \Big|_{(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q)} = 587,1 \text{ (k/in)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_2 = \frac{\partial g}{\partial f_y} \Big|_{(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q)} &= \\ &= \left[A_s d - 0,59 \frac{(2f_y A_s^2)}{f'_c b} \right] \Big|_{(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q)} = 54,44 \text{ (in}^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_3 = \frac{\partial g}{\partial f'_c} \Big|_{(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q)} &= \\ &= \left[0,59 \frac{(2A_s f_y)}{(f'_c)^2 b} \right] \Big|_{(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q)} = 162,8 \text{ (in}^3) \end{aligned}$$

$$a_4 = \frac{\partial g}{\partial Q} \Big|_{(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q)} = -1 \Big|_{(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q)} = -1$$

Thay vào công thức (21):

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{g(\mu_{A_s}, \mu_{F_y}, \mu_{f'_c}, \mu_Q)}{\sqrt{[(a_1)(\sigma_{A_s})]^2 + [(a_2)(\sigma_{F_y})]^2 + \\ &+ [(a_3)(\sigma_{f'_c})]^2 + [(a_4)(\sigma_Q)]^2}} \\ &= \frac{851,0}{\sqrt{[(587,1)(0,08)]^2 + [(54,44)(4,62)]^2 + \\ &+ [(162,8)(0,44)]^2 + [(-1)(246)]^2}} = 2,35 \end{aligned}$$

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày một cách hệ thống cơ sở lý thuyết của phương pháp thiết kế theo độ tin cậy trong kỹ thuật kết cấu, bắt đầu từ khái niệm trạng thái giới hạn đến việc xây dựng hàm trạng thái giới hạn và xác định xác suất phá hoại. Thông qua đó, mối quan hệ giữa sức kháng và hiệu ứng tải trọng được mô tả dưới dạng ngẫu nhiên, phản ánh đúng bản chất không chắc chắn của các yếu tố trong thực tế.

Trên cơ sở đó, chỉ số độ tin cậy β được giới thiệu như một đại lượng đặc trưng thay thế cho xác suất phá hoại, cho phép đánh giá mức độ an toàn của kết cấu một cách thuận tiện và hiệu quả hơn. Việc sử dụng không gian biến trạng thái và các biến chuẩn hóa đã cung cấp một cách nhìn trực quan và chặt chẽ về bài toán độ tin cậy.

Đặc biệt, phương pháp mômen thứ hai bậc nhất (FOSM) đã được trình bày như một công cụ thực hành quan trọng. Đối với các hàm trạng thái giới hạn tuyến tính, chỉ số độ tin cậy có thể được xác định trực tiếp từ các đặc trưng thống kê của biến ngẫu nhiên. Trong trường hợp hàm phi tuyến, việc tuyến tính hóa bằng khai triển Taylor bậc nhất cho phép đưa bài toán về dạng tương đương tuyến tính, từ đó tính toán β một cách xấp xỉ. Các ví dụ minh họa cho thấy phương pháp FOSM có khả năng áp dụng linh hoạt cho cả kết cấu thép và bê tông cốt thép.

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng do dựa trên xấp xỉ bậc nhất và chỉ sử dụng mômen bậc hai, phương pháp

FOSM có thể không đạt độ chính xác cao đối với các bài toán có tính phi tuyến mạnh hoặc khi các biến ngẫu nhiên không tuân theo phân phối chuẩn. Vì vậy, trong các nghiên cứu chuyên sâu hoặc các công trình có yêu cầu độ tin cậy cao, cần xem xét áp dụng các phương pháp tiên tiến hơn như FORM hoặc SORM.

Tóm lại, phương pháp FOSM vẫn là một công cụ hiệu quả, đơn giản và có ý nghĩa thực tiễn cao trong phân tích và thiết kế kết cấu theo độ tin cậy, đồng thời là nền tảng quan trọng cho việc phát triển và áp dụng các phương pháp phân tích độ tin cậy hiện đại hơn. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Ang, Alfredo và Tang, Wilson (2006). Probability Concepts

- in Engineering: Emphasis on Applications to Civil and Environmental Engineering. John Wiley & Sons, New York.
- [2] Nowak, Andrzej S. và Collins, Kevin R. (2012). Reliability of Structures. McGraw-Hill, New York.
- [3] Barker, Richard M. và Puckett, Jay A. (2021). Design of Highway Bridges: An LRFD Approach, 4th Edition. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- [4] Lộc, Nguyễn Hữu (2015). Thiết kế và phân tích hệ thống cơ khí theo độ tin cậy. Nhà xuất bản Đại học quốc gia TP. Hồ Chí Minh, TP. Hồ Chí Minh.
- [5] Thoft-Christensen, Palle và Baker, Michael J. (2012). Structural Reliability Theory and Its Applications. Springer-Verlag, New York.
- [6] Khôi, Phan Văn (2001). Cơ sở đánh giá độ tin cậy. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

GIÁ VẬT LIỆU XÂY DỰNG TĂNG, DOANH NGHIỆP KIẾN NGHỊ NƠI ĐIỀU KIỆN VAY

BÁO CÁO QUÝ I/2026 CỦA HIỆP HỘI DOANH NGHIỆP TP.HCM CHO THẤY, DÙ XUẤT KHẨU TĂNG TRƯỞNG TÍCH CỰC, CỘNG ĐỒNG DOANH NGHIỆP VẪN PHẢI ĐỐI MẶT VỚI NHIỀU ÁP LỰC TỪ CHI PHÍ NGUYÊN LIỆU, LOGISTICS, LÃI SUẤT VÀ BIẾN ĐỘNG ĐỊA CHÍNH TRỊ.

➔ PV

Theo Hiệp hội Doanh nghiệp TP.HCM, bước sang năm 2026, nền kinh tế Việt Nam duy trì đà tăng trưởng tích cực với kim ngạch xuất khẩu tăng 18,3%. Nhiều ngành hàng ghi nhận mức tăng trưởng khá như dệt may - da giày tăng khoảng 3%, linh kiện điện tử tăng 21%, gỗ mỹ nghệ tăng 5%, nông lâm thủy sản tăng 17%.

Tuy nhiên, phía sau những con số tích cực là hàng loạt khó khăn đang bủa vây doanh nghiệp. Những biến động địa chính trị, chi phí logistics tăng mạnh, áp lực lãi suất cao và thay đổi về chính sách thuế quốc tế đang khiến nhiều doanh nghiệp gặp khó trong việc duy trì sản xuất, giữ đơn hàng và đảm bảo dòng tiền.

Từ cuối tháng 2/2026, Mỹ giảm mức thuế cơ bản toàn cầu từ 20% xuống còn 10%, tạo ra cơ hội nhất định cho hàng hóa xuất khẩu Việt Nam trong ngắn hạn. Tuy nhiên, việc hàng hóa Trung Quốc cũng chịu cùng mức thuế khiến cạnh tranh ngày càng gay gắt.

Bên cạnh đó, việc Hội đồng châu

Âu đưa Việt Nam vào danh sách các quốc gia chưa hoàn tất cam kết về quản trị thuế cũng làm gia tăng rủi ro đối với doanh nghiệp khi giao dịch, vay vốn hoặc xuất nhập khẩu với các thị trường EU và OECD.

Trong bối cảnh chung đầy biến động, ngành vật liệu xây dựng đang chịu áp lực đặc biệt lớn. Theo khảo sát của Hiệp hội Doanh nghiệp TP.HCM, giá thép, xi măng, cát, đá xây dựng trong quý I/2026 tăng từ 10-30% so với cuối năm 2025. Riêng cát và đá xây dựng có loại tăng tới 30-40%.

Vật liệu xây dựng chiếm khoảng 60-70% tổng chi phí công trình. Giá đầu vào tăng nhanh trong khi việc cập nhật đơn giá, chỉ số giá và cơ chế điều chỉnh hợp đồng vẫn chậm hơn thực tế khiến nhiều doanh nghiệp xây dựng bị giảm lợi nhuận, đặc biệt với các hợp đồng trọn gói đã ký trước đó.

Không chỉ chịu áp lực chi phí, doanh nghiệp còn đối mặt nguy cơ chậm tiến độ do nguồn cung vật liệu bị gián đoạn, nhất là cát và đá xây dựng. Chi phí năng lượng, chi phí vận chuyển và giá dầu tăng cũng tiếp tục đẩy giá thành công trình lên cao.

Trước tình hình này, nhiều doanh nghiệp buộc phải chủ động dự trữ vật liệu, kiểm soát chi phí và điều chỉnh giải pháp thi công để thích ứng.

Theo khảo sát của Hiệp hội Doanh nghiệp TP.HCM, 54,5% doanh nghiệp cho rằng khó khăn lớn nhất hiện nay là giá nguyên liệu đầu vào tăng cao. Tiếp theo là lãi suất vay vốn cao với 47,7%, chi phí logistics tăng 41%, nhu cầu tiêu dùng suy giảm 31,8% và thiếu đơn hàng mới 27,3%.

Trước những áp lực này, Hiệp hội Doanh nghiệp TP.HCM kiến nghị ngân hàng nới điều kiện vay, kéo dài thời hạn tín dụng đối với doanh nghiệp xuất khẩu và giảm lãi suất xuống dưới 6%/năm.

Đồng thời Nhà nước giảm thuế thu nhập doanh nghiệp, đẩy nhanh hoàn thuế và cải cách thủ tục xuất nhập khẩu theo hướng giảm tiền kiểm, tăng hậu kiểm.

Thành phố cũng cần hoàn thiện hạ tầng và cơ chế phát triển logistics, hỗ trợ doanh nghiệp quảng bá, mở rộng thị trường, tiếp cận tiêu chuẩn quốc tế và tăng cường cảnh báo sớm về rủi ro thị trường. □