

Tối ưu giàn thép phi tuyến xét đến độ tin cậy sử dụng kết hợp thuật toán LPSS-EIS và tiến hóa vi phân cải tiến

Optimization of nonlinear steel trusses considering the structural reliability using LPSS-EIS and improved differential evolution algorithms

> TS MAI SỸ HÙNG

Khoa Công trình thủy, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,
Email: hungms@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Các tham số hình học và vật liệu của công trình cũng như tải trọng trong thực tế là các đại lượng không chắc chắn. Chính vì vậy, để việc thiết kế công trình phản ánh chính xác hơn đặc điểm làm việc thực tế của kết cấu, độ tin cậy của công trình được quan tâm nghiên cứu trong thời gian gần đây. Trong bài báo này, tác giả trình bày bài toán tối ưu giàn thép phi tuyến có xét đến điều kiện ràng buộc về xác suất phá hủy của công trình. Hàm mục tiêu là tổng khối lượng hệ giàn với biến thiết kế là biến liên tục trong một khoảng giá trị cho trước. Điều kiện ràng buộc tương ứng với các tổ hợp tải trọng cường độ và sử dụng. Xác suất phá hủy công trình được xác định sử dụng thuật toán xác suất kết hợp giữa 2 kỹ thuật lấy mẫu phân tầng một phần "Latin hóa" ("Latinized" Partially Stratified Sampling) (LPSS) và lấy mẫu quan trọng nâng cao (effective importance sampling) (EIS) và được đặt tên là LPSS-EIS. Quá trình tối ưu được thực hiện bằng thuật toán cải tiến tiến hóa vi phân (DE). Giàn thép không gian 72 thanh được nghiên cứu minh họa cho bài toán tối ưu được xây dựng.

Từ khóa: Tiến hóa vi phân; tối ưu; giàn thép; phân tích trực tiếp; xác suất; monte Carlo.

ABSTRACT

The geometric parameters and materials of the building as well as the loading in reality are uncertain quantities. Therefore, for the design of the project to more accurately reflect the actual working characteristics of the structure, structural reliability has attracted researchers recently. In this article, the author presented the optimization problem of nonlinear steel trusses to consider the conditions of the structural failure probability. The objective function is the total weight of the truss, while the design variables are the continuous variables in given value ranges. Constraints corresponding to the strength and serviceability load combinations. The structural failure probability is determined using "Latinized" Partially Stratified Sampling (LPSS) and Effective Importance Sampling (EIS) and is named LPSS-EIS. The optimal process is performed using an improved differential evolution (DE). A 72-bar steel truss is studied to illustrate the optimization problem developed.

Abstract: Differential Evolution; optimization; truss; advanced analysis; probability; monte Carlo.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu thép nói chung và hệ thống giàn thép nói riêng được sử dụng rộng rãi nhờ các ưu điểm vượt trội của vật liệu thép cả về khả năng chịu tải và biến dạng tốt. Đối với loại kết cấu này, do đặc tính phi tuyến của vật liệu thép và tính dễ mất ổn định khi chịu nén của cấu kiện thép, các phương pháp phân tích trực tiếp được quan tâm nghiên cứu và áp dụng ngày càng nhiều. Các phương pháp này cũng được sự chấp nhận rộng rãi trong các bộ tiêu chuẩn lớn như AISC LRFD [1], Eurocode [2], v.v... Tuy nhiên, so với vật liệu bê tông cốt thép, vật liệu thép có giá thành cao hơn rất nhiều. Để thiết kế hiệu quả và hợp lý các kết cấu thép, các phương pháp tối ưu được nghiên cứu áp dụng khá phổ biến và đem lại hiệu quả cao

[3-6]. Bài toán tối ưu cho hệ thống giàn thép sử dụng phân tích trực tiếp có tính phi tuyến rất cao xuất phát từ các ứng xử phi tuyến tính phi đàn hồi của công trình. Trong các trường hợp này, các thuật toán metaheuristic được ưu chuộng sử dụng do chúng có khả năng cân bằng hiệu quả trong việc tìm kiếm nghiệm tối ưu cục bộ và toàn cục. Một số thuật toán metaheuristic nổi tiếng như là: simulated annealing (SA) [7], thuật toán di truyền (genetic algorithm) (GA) [8], tìm kiếm hài hòa (harmony search) (HS) [9], tiến hóa vi phân (differential evolution) (DE) [10], v.v.

Bản chất của tải trọng tác dụng, kích thước hình học của kết cấu và đặc điểm của vật liệu là đại lượng không chắc chắn. Điều này khiến cho công trình luôn tồn tại một xác suất nhất định bị hư

hồng trong quá trình làm việc. Sự thiết kế không thích hợp có thể khiến cho tỉ lệ xác suất này cao lên và gây nguy hiểm hơn cho công trình. Vấn đề này đặc biệt cần lưu ý đối với các bài toán thiết kế tối ưu, do các nghiệm tối ưu thường rất sát với các điều kiện ràng buộc. Chính vì vậy, gần đây nhiều nghiên cứu về bài toán tối ưu có xét điều kiện ràng buộc là xác suất phá hủy của công trình được thực hiện [11-12]. Một điểm cần lưu ý đối với kết cấu giàn thép sử dụng phân tích trực tiếp là các trạng thái giới hạn của hư hỏng kết cấu khó được biểu diễn dưới dạng hàm toán học nên các phương pháp toán học để tính toán độ tin cậy như FORM và SORM thường cho sai số tương đối lớn. Chính vì vậy, các phương pháp lấy mẫu như MCS và LHS thường được sử dụng, nhưng chúng lại có nhược điểm là cần phải có một số lượng mẫu rất lớn. Vấn đề này càng trở nên nghiêm trọng khi kết hợp sử dụng giữa thuật toán metaheuristic và các phương pháp lấy mẫu do cả 2 lớp kỹ thuật này đều đòi hỏi số lần lặp lại phân tích kết cấu là rất nhiều.

Trong nghiên cứu này, tác giả phát triển một công cụ hiệu quả cho bài toán thiết kế tối ưu giàn thép phi tuyến xét đến xác suất phá hủy. Phương pháp tiến hóa vi phân cải tiến (EpDE) do Trung và Kim đề xuất [12] được sử dụng nhằm giảm thiểu số lần đánh giá điều kiện ràng buộc cũng như hiệu quả hơn trong việc tìm kiếm nghiệm tối ưu. Xác suất phá hủy của công trình được xác định sử dụng kết hợp giữa 2 kỹ thuật lấy mẫu phân tầng một phần "Latin hóa" ("Latinized" Partially Stratified Sampling) (LPSS) và lấy mẫu quan trọng nâng cao (effective importance sampling) (EIS) do Kim và Trương [13] đề xuất. Giàn thép không gian 72 thanh được nghiên cứu minh họa cho bài toán tối ưu được xây dựng.

2. THIẾT LẬP BÀI TOÁN TỐI ƯU KHỐI LƯỢNG GIÀN THÉP SỬ DỤNG PHÂN TÍCH TRỰC TIẾP

Hàm mục tiêu của bài toán là tối thiểu hóa tổng khối lượng hệ giàn như sau:

$$\text{Min } W(\mathbf{Y}) = \rho \sum_{i=1}^d \left(y_i \sum_{j=1}^{d_i} L_{ij} \right) \quad (1)$$

trong đó ρ là khối lượng riêng của vật liệu, $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_d)$ là vec tơ biến thiết kế cũng chính là diện tích tiết diện của các thanh dàn; d là số lượng biến thiết kế; d_i là số thanh dàn trong nhóm phần tử thanh thứ i ; L_{ij} là chiều dài của thanh dàn thứ j trong nhóm phần tử thứ i . Trong bài toán thiết kế có biến là biến liên tục thì biến thiết kế $y_i (i = 1, \dots, d)$ được chọn trong khoảng giá trị cho trước $[y_i^{low}, y_i^{up}]$.

Đối với tổ hợp trạng thái giới hạn cường độ, bằng việc sử dụng phân tích trực tiếp cho phép tính toán khả năng chịu tải của cả công trình. Sự an toàn của công trình được đánh giá một cách đơn giản thông qua so sánh giữa khả năng chịu tải và áp lực do tải trọng gây ra được thể hiện như sau:

$$C_k^{str} = 1 - \frac{R_k}{S_k} \leq 0, \quad (2)$$

trong đó R_k là khả năng chịu tải của kết cấu đối với tổ hợp tải trọng thứ k và S_k là hiệu ứng do tổ hợp tải trọng cường độ thứ k gây ra.

Đối với tổ hợp trạng thái giới hạn sử dụng, điều kiện về chuyển vị được đảm bảo thông qua công thức sau:

$$C_{j,l}^{disp} = \frac{|\Delta_{j,l}|}{\Delta_{j,l}^u} - 1 \leq 0, \quad j = 1, \dots, nn \quad (3)$$

trong đó nn là số nút dàn được xét điều kiện chuyển vị, $\Delta_{j,l}$ và $\Delta_{j,l}^u$ là chuyển vị và giới hạn chuyển vị của nút thứ j tương ứng với tổ hợp trạng thái giới hạn sử dụng thứ l .

Điều kiện ràng buộc về xác suất hư hỏng của công trình như sau:

$$C^{prob} = \frac{P_f(\mathbf{X})}{P_a} - 1 \leq 0 \quad (4)$$

Trong đó $P_f(\mathbf{X})$ và P_a là xác suất hư hỏng của công trình và giá trị cho phép của nó; $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ là biến ngẫu nhiên của công trình.

Đối với bài toán tối ưu có điều kiện ràng buộc ở trên, để áp dụng các thuật toán meta-heuristic chúng ta cần sử dụng các kỹ thuật để xử lý các điều kiện ràng buộc. Trong nghiên cứu này, phương pháp hàm phạt được sử dụng do kỹ thuật này khá đơn giản và hiệu quả tốt cho hầu hết các loại ràng buộc khác nhau. Khi đó, hàm mục tiêu của bài toán được viết lại như sau:

$$W_{uncstr}(\mathbf{Y}) = (1 + \alpha_{str}\beta_1 + \alpha_{disp}\beta_2 + \alpha_{prob}\beta_3) \times W(\mathbf{Y}) \quad (5)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \sum (\max(C_k^{str}, 0)) \\ \beta_2 &= \sum \left(\sum_{j=1}^{nn} \max(C_{j,l}^{disp}, 0) \right) \\ \beta_3 &= \max(C^{prob}, 0) \end{aligned} \quad (6)$$

với α_{str} , α_{disp} và α_{prob} là các tham số phạt tương ứng với các điều kiện ràng buộc về cường độ, chuyển vị và xác suất hư hỏng của công trình. Giá trị của các tham số phạt được lấy giá trị đủ lớn nhằm loại bỏ các thiết kế bị vi phạm và chỉ còn lại các thiết kế thỏa mãn tất cả các điều kiện ràng buộc. Trong nghiên cứu này, các tham số phạt được lấy bằng 10000.

3. XÁC ĐỊNH XÁC SUẤT HƯ HỎNG SỬ DỤNG LPSS-EIS

Kỹ thuật lấy mẫu LPSS được Shields và Zhang [14] đề xuất vào năm 2016 bằng cách kết hợp các phương pháp lấy mẫu phân tầng một phần (partially stratified sampling) (PSS) và lấy mẫu phân tầng "Latin hóa" ("Latinized" stratified sampling) (LSS). PSS và LSS là các thuật toán cải tiến hiệu quả từ phương pháp lấy mẫu phân tầng (stratified sampling) và LHS. Do đó, LPSS hiệu quả mạnh mẽ trong việc giảm phương sai của các ước lượng thống kê. Các bước chính của LPSS để tạo mẫu của không gian N chiều Φ như sau:

Bước 1: Định nghĩa N và N_{mau} là số chiều và tổng số mẫu.

Bước 2: Chia không gian Φ thành N_s không gian con N_i chiều

$$\Theta_i (i = 1, \dots, N_s) \text{ thỏa mãn các điều kiện sau: (1) } \bigcup_{i=1}^{N_s} \Theta_i = \Phi, \quad (2)$$

$$\Theta_j \cap \Theta_k = \emptyset \text{ với } j \neq k, \quad (3) \sum_{i=1}^{N_s} N_i = N.$$

Bước 3: Chia các miền con $\Theta_i (i = 1, \dots, N_s)$ thành M_i tầng $\Omega_{ik} (k = 1, \dots, M_i)$ thỏa mãn điều kiện: $N_{mau} = M_i^{N_i} (i = 1, \dots, N_s)$.

Bước 4: Áp dụng LSS để tạo mẫu cho tầng $\Omega_{ik} (i = 1, \dots, N_s; k = 1, \dots, M_i)$.

Bước 5: Tạo mẫu của các không gian con $\Theta_i (i = 1, \dots, N_s)$ bằng cách nhóm ngẫu nhiên các mẫu của tầng $\Omega_{ik} (i = 1, \dots, N_s; k = 1, \dots, M_i)$.

Bước 6: Tạo mẫu cho không gian Φ bằng cách nhóm ngẫu nhiên các mẫu của các không gian con $\Theta_i (i = 1, \dots, N_s)$.

Bên cạnh đó, EIS được đề xuất bởi Trương và Kim [13]. Hàm trạng thái giới hạn của công trình chịu tải trọng khi sử dụng phân tích trực tiếp như sau:

$$G(X) = \frac{R_{xm}}{x_m} - 1 \quad (7)$$

Trong đó $X = (y_1, \dots, y_l, x_1, \dots, x_m)$ là vec-tơ biến ngẫu nhiên của hệ công trình với $y_i (i = 1, \dots, l)$ là biến ngẫu nhiên liên quan đến kích thước hình học của công trình và đặc tính của vật liệu và $x_i (i = 1, \dots, m)$ là biến ngẫu nhiên của tải trọng; R_{xm} là khả năng chịu tải của công trình xác định theo tải trọng tác dụng $x_m \cdot R_{xm}$ được xác định như sau: trạng thái chịu tải của công trình khi chịu các tải trọng (x_1, \dots, x_{m-1}) được xác định trước, sau đó trạng thái làm việc của hệ công trình khi chịu tải trọng x_m được tiếp tục tính toán.

Xác suất phá hủy của công trình P_f được xác định như sau dựa trên kỹ thuật IS:

$$P_{f,IS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(x_m^i) \quad (8)$$

Trong đó:

$$I(x_m^i) = \begin{cases} \frac{f_{x_m}(x_m^i)}{g_{x_m}(x_m^i)} & \text{khi } R_{xm}^i = R_{xm}(x_1^i, x_2^i, \dots, x_{m-1}^i) \leq x_m^i \\ 0 & \text{khi } R_{xm}^i = R_{xm}(x_1^i, x_2^i, \dots, x_{m-1}^i) > x_m^i \end{cases} \quad (9)$$

Sai số khi tính $P_{f,IS}$ có thể giảm thiểu bằng cách lặp lại nhiều lần quá trình tạo N mẫu x_m như sau:

$$P_{f,EIS} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k P_{f,IS}^j \quad (10)$$

Trong đó k là hệ số lặp trong EIS và $P_{f,IS}^j$ là giá trị của

$P_{f,IS}$ trong lần tạo mẫu thứ j của N mẫu x_m .

4. THUẬT TOÁN TIẾN HÓA VI PHÂN EPDE:

Thuật toán EpDE được Trương và Kim [12] xây dựng dựa trên thuật toán tiến hóa vi phân (DE). Trong EpDE, kỹ thuật đột biến 'DE/pbest/1' được áp dụng để tạo ra cá thể mới U như sau:

$$U_j = X_{pbest} + F \times (X_{r_1} - X_{r_2}) \quad (11)$$

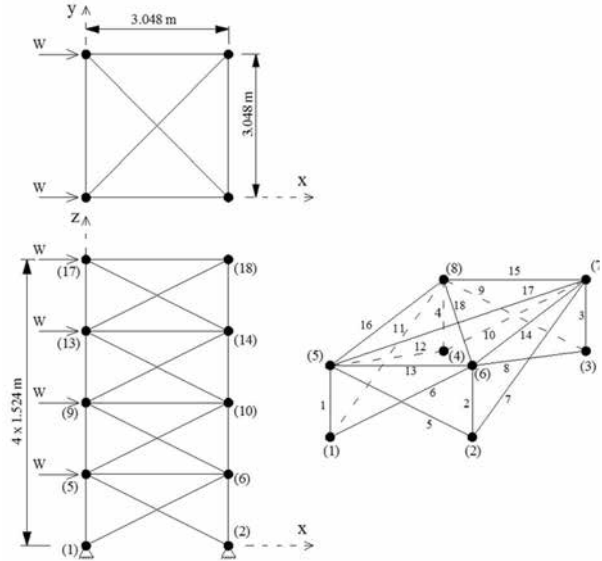
Với X_{pbest} là cá thể được lựa chọn ngẫu nhiên trong tổng 100% cá thể tốt nhất trong quần thể hiện tại. Giá trị p ở vòng lặp thứ k được xác định:

$$p(k) = A \times D^{\left(\frac{-B \times k - 1}{l_{ter_{max}} - 1} \right)} \quad (12)$$

Trong đó D là số lượng cá thể trong quần thể; A và B là 2 tham số được cho trước. p đạt giá trị lớn nhất bằng A tại vòng tiến hóa đầu tiên và giảm dần. Như vậy, trong giai đoạn đầu, chương trình tối ưu có xu hướng khám phá trong quần thể nhằm kiểm tra các khu vực tiềm năng. Trong giai đoạn sau, chương trình có xu hướng sử dụng số lượng ít dần các cá thể tốt nhất trong quần thể nhằm tăng tốc độ hội tụ của quần thể. Điều này hoàn toàn phù hợp với đặc điểm hội tụ của quần thể trong quá trình tối ưu. Bên cạnh đó, trong EpDE, hệ số đột biến F được lấy bằng 0.7 và hệ số lai tạo CR nhận giá trị ngẫu nhiên trong khoảng $[0, 1]$.

5. TRƯỜNG HỢP NGHIÊN CỨU

Một giàn không gian 72 thanh với kích thước như trên Hình 1 sẽ được nghiên cứu trong phần này. Các thanh giàn được chia thành 16 nhóm tiết diện khác nhau là: (1) A_1-A_4 ; (2) A_5-A_{12} ; (3) $A_{13}-A_{16}$; (4) $A_{17}-A_{18}$; (5) $A_{19}-A_{22}$; (6) $A_{23}-A_{30}$; (7) $A_{31}-A_{34}$; (8) $A_{35}-A_{36}$; (9) $A_{37}-A_{40}$; (10) $A_{41}-A_{48}$; (11) $A_{49}-A_{52}$; (12) $A_{53}-A_{54}$; (13) $A_{55}-A_{58}$; (14) $A_{59}-A_{66}$; (15) $A_{67}-A_{70}$; (16) $A_{71}-A_{72}$. Các biến tối ưu là diện tích tiết diện thanh được lấy trong khoảng $[64.516, 22580.6]$ (mm²). Tải trọng gió được mô phỏng dưới dạng tải trọng điểm tại các nút giàn theo phương trục X . Tĩnh tải và hoạt tải được chuyển đổi thành tải trọng tập trung tại nút giàn. Khối lượng riêng của vật liệu là 2767.99 (kg/m³). Tổ hợp tải trọng cường độ được xem xét là: $(1.2Dn+1.6Ln)$ và $(1.2Dn+0.5Ln+1.7Wn)$, và tổ hợp sử dụng được xem xét là: $(1.0Dn+0.5Ln+0.7Wn)$. Giá trị hạn chế điều kiện chuyển vị là độ lệch tầng và lấy bằng $H/400$ với H là chiều cao tầng. Tổ hợp tải trọng xét đến xác suất hư hỏng của công trình là $(1.2Dn+0.5Ln+1.7Wn)$ với các thông số biến ngẫu nhiên được cho trong Bảng 1. Trong đó, Dn là tĩnh tải danh nghĩa, Ln là hoạt tải danh nghĩa và Wn là tải trọng gió danh nghĩa. Ba thuật toán EpDE-IHS-EIS, EADE và ANDE được sử dụng để so sánh. Kết quả tính toán của ba thuật toán này được cho trong tài liệu [13]. Điểm khác nhau giữa EpDE sử dụng trong bài báo này là kết hợp với kỹ thuật tính toán xác suất hư hỏng LPSS-EIS thay vì IHS-EIS trong tài liệu [13]. Các thông số hệ thống cho 3 thuật toán này được lấy như trong tài liệu [13]. Đối với LPSS và IHS, cỡ mẫu được lấy lần lượt bằng 64 và 200.



Hình 1. Giàn không gian 72 thanh

Bảng 1. Đặc tính của biến ngẫu nhiên

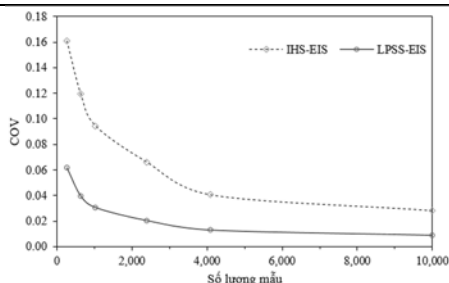
Loại	Biến ngẫu nhiên	Giá trị danh nghĩa	Trung bình/Danh nghĩa	COV	Dạng phân bố
Vật liệu	E	68.95 (GPa)	0.993	0.034	Lognormal
	F_y	172.375 (MPa)	1.10	0.06	Lognormal
Tiết diện	A_i	-	1.00	0.05	Normal
	I_i	-	1.00	0.05	Normal
Tải trọng	D	50 (KN)	1.05	0.10	Normal
	L	50 (KN)	1.00	0.25	Gumbel
	W	50 (KN)	0.92	0.37	Gumbel

Bảng 2 trình bày kết quả tối ưu tìm được của 4 thuật toán aeDE, ANDE, EpDE và thuật toán đề xuất. Kết quả tính toán cho thấy,

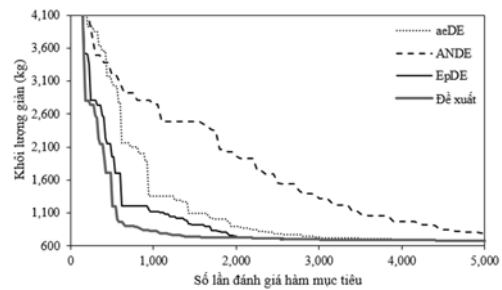
thuật toán được đề xuất có kết quả tối ưu tương tự như thuật toán EpDE sử dụng IHS-EIS. Điều này là hoàn toàn phù hợp với thực tế là giữa 2 thuật toán trên chỉ khác nhau về kỹ thuật sử dụng cho việc tính toán xác suất hư hỏng của công trình. Cụ thể là EpDE sử dụng IHS-EIS và thuật toán được đề xuất tìm được nghiệm tối ưu có khối lượng nhỏ nhất là 676.680 (kg), tốt hơn kết quả của aeDE là 680.780 và của ANDE là 777.680 (kg). Bên cạnh đó, thuật toán được đề xuất và EpDE sử dụng IHS-EIS cũng thể hiện sự ổn định tốt hơn so với aeDE và ANDE khi các giá trị về nghiệm tối ưu kém nhất và trung bình các lần tìm là tốt hơn. Số về số lần phân tích kết cấu, thuật toán được đề xuất tỏ ra vượt trội so với EpDE sử dụng IHS-EIS, aeDE và ANDE. Cụ thể, thuật toán được đề xuất chỉ sử dụng số lần phân tích kết cấu trung bình là 130334 (lần) bao gồm cả tính toán xác suất hư hỏng của công trình cho điều kiện ràng buộc về độ tin cậy. Số lần phân tích kết cấu trung bình của EpDE sử dụng IHS-EIS gấp đến 2.95 lần so với thuật toán được đề xuất. Kết quả của aeDE và ANDE cũng gấp đến 7.7 và 3.4 lần so với thuật toán được đề xuất. Điều này được giải thích là nhờ ưu điểm của LPSS-EIS so với IHS-EIS được xét cho nghiệm thiết kế tốt nhất thể hiện trên Hình 2. Hình 3 trình bày quá trình tối ưu của các nghiệm tốt nhất tìm được của các thuật toán.

Bảng 2. Kết quả tối ưu

Diện tích tiết diện các nhóm (mm ²)	aeDE (với IHS-EIS) [13]	ANDE (với IHS-EIS) [13]	EpDE (với IHS-EIS) [13]	Phương pháp đề xuất
1: A1 - A4	7477.1	7075.1	7669.2	7669.2
2: A5 - A12	1745.9	2053.5	1703	1703
3: A13 - A16	144.27	498.56	191.59	191.59
4: A17 - A18	173.08	82.232	237.05	237.05
5: A19 - A22	4608.9	4543.3	4673.1	4673.1
6: A23 - A30	1455.5	1596.6	1474.5	1474.5
7: A31 - A34	112.68	483.43	70.44	70.44
8: A35 - A36	477.06	222.72	460.29	460.29
9: A37 - A40	2643	3607.4	2520.9	2520.9
10: A41 - A48	964.38	958.12	918.43	918.43
11: A49 - A52	157.82	493.13	122.98	122.98
12: A53 - A54	281.14	857.23	186.99	186.99
13: A55 - A58	830.69	896.8	740.91	740.91
14: A59 - A66	621.77	747.9	673.68	673.68
15: A67 - A70	221.9	321.58	163.77	163.77
16: A71 - A72	555.22	548.11	579.57	579.57
Khối lượng tối ưu tốt nhất tìm được (kg)	680.780	777.680	676.680	676.680
Khối lượng tối ưu kém nhất tìm được (kg)	703.899	1034.200	689.680	688.930
Khối lượng tối ưu trung bình tìm được (kg)	689.828	905.102	681.866	680.514
Số lần phân tích kết cấu trung bình	1,008,504	445,400	384,499	130,334
Tỉ lệ số lần phân tích kết cấu	773.78%	341.74%	295.01%	100%



Hình 2. Biểu đồ quan hệ giữa COV và cỡ mẫu



Hình 3. Quá trình tối ưu tương ứng với nghiệm tốt nhất

6. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày bài toán tối ưu giàn thép phi tuyến có xét đến điều kiện ràng buộc về xác suất phá hủy của công trình. Hàm mục tiêu là tổng khối lượng hệ giàn với biến thiết kế là biến liên tục trong một khoảng giá trị cho trước. Điều kiện ràng buộc tương ứng với các tổ trọng cường độ và sử dụng. Xác suất phá hủy công trình được xác định sử dụng thuật toán xác suất kết hợp giữa 2 kỹ thuật lấy mẫu phân tầng một phần "Latin hóa" ("Latinized" Partially Stratified Sampling) (LPSS) và lấy mẫu quan trọng nâng cao (effective importance sampling) (EIS). Quá trình tối ưu được thực hiện bằng thuật toán cải tiến tiến hóa vi phân (EpDE). Kết quả tính toán giàn thép không gian 72 thanh cho thấy thuật toán được đề xuất tiết kiệm số lần phân tích kết cấu rất nhiều so với 3 thuật toán EpDE, aeDE và ANDE. Hướng nghiên cứu tiếp theo tác giả sẽ ứng dụng thuật toán LPSS-EIS cho bài toán tối ưu kết cấu khung thép và tối ưu công trình thép chịu tải trọng động đất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] AISC-LRFD. Manual of steel construction - load and resistance factor design. Chicago (IL): American Institute of Steel Construction, 1999.
- [2] EN 1993-1-1, Eurocode 3. Design of steel structures - part 1-1: general rules and rules for building. Brussels: European Committee for Standardization, 2005.
- [3] V.H. Truong, S.E. Kim. A robust method for optimization of semi-rigid steel frames subject to seismic loading. Journal of Construction Steel Research 2018; 145: 184-195.
- [4] H.A. Pham, V.H. Truong, T.C. Vu. Fuzzy finite element analysis for free vibration response of functionally graded semi-rigid frame structures. Applied Mathematical Modelling 2020; 88: 852-869.
- [5] M.H. Ha, Q.V. Vu, V.H. Truong. Optimization of nonlinear inelastic steel frames considering panel zones. Advances in Engineering Software 2020; 142: 102771.
- [6] V.H. Truong, H.M. Hung, P.H. Anh, T.D. Hoc. Optimization of steel moment frames with panel-zone design using an adaptive differential evolution. Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE)-HUCE 2020; 14(2): 65-75.
- [7] R. Balling. Optimal steel frame design by simulated annealing. J Struct. Eng. 1991; 117: 1780-95.
- [8] S. Rajeev, C. Krishnamoorthy. Discrete optimization of structures using genetic algorithms. J Struct Eng 1992; 118: 1233-50.
- [9] K. S. Lee, Z. W. Geem. A new structural optimization method based on the harmony search algorithm. Comput. Struct. 2004; 82: 781-98.
- [10] R. Storn, K. Price. Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. J. Glob. Optim. 1997; 11(4): 341-359.
- [11] V. H. Truong, S. E. Kim. An efficient method for reliability-based design optimization of nonlinear inelastic steel space frames. Struct Multidisc Optim 2017; 56: 331-351.
- [12] V.H. Truong, S.E. Kim. Reliability-based design optimization of nonlinear inelastic trusses using improved differential evolution algorithm. Advances in Engineering Software 2018; 121: 59-74.
- [13] S.E. Kim, V.H. Truong. Reliability Evaluation of Semirigid Steel Frames Using Advanced Analysis. Journal of Structural Engineering 146 (5), 04020064.
- [14] M.D. Shields, J. Zhang. The generalization of Latin hypercube sampling. Reliability Engineering and System Safety 2016; 148: 96-108.