

TỐI ƯU TIẾT DIỆN NHÀ THÉP CÔNG NGHIỆP MỘT TẦNG VỚI BIẾN RỜI RẠC BẰNG THUẬT TOÁN TIẾN HÓA VI PHÂN CẢI TIẾN

SIZING OPTIMIZATION OF ONE-STOREY INDUSTRIAL STEEL BUILDINGS WITH DISCRETE VARIABLES USING IMPROVED DIFFERENTIAL EVOLUTIONAL ALGORITHM

TRẦN TRUNG HIẾU^{a,*}, TRẦN ANH ĐỨC^a, TRƯƠNG VIỆT HÙNG^b

^aTrường Đại học Kiến trúc Hà Nội

^bKhoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi

*Tác giả đại diện: Email: hieutt@hau.edu.vn

Ngày nhận 03/9/2024, Ngày sửa 27/9/2024, Chấp nhận 30/9/2024

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2024.vi.vol3-4>

Tóm tắt: Nhà thép công nghiệp sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng nhờ nhiều ưu điểm như tiết kiệm chi phí, thời gian thi công nhanh, khả năng vượt nhịp lớn, phù hợp hơn cho các mục đích sản xuất và lưu trữ quy mô lớn. Do đặc tính vượt nhịp lớn, các tiết diện cột và dầm trong nhà thép công nghiệp thường sử dụng thép tổ hợp, trong đó các kích thước của tiết diện được tính toán thiết kế một cách hợp lý để vừa đảm bảo khả năng làm việc vừa tiết kiệm chi phí sản xuất. Tuy nhiên, với nhiều biến thiết kế phức tạp như vậy, quá trình lựa chọn kích thước phù hợp là một bài toán thiết kế nhiều thách thức. Trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu một phương pháp hiện đại để giải quyết vấn đề trên bằng cách thiết lập bài toán tối ưu kích thước mặt cắt ngang của nhà khung thép công nghiệp nhằm giảm thiểu tổng trọng lượng, đảm bảo an toàn và khả năng sử dụng theo tiêu chuẩn thiết kế. Các điều kiện ràng buộc được xây dựng theo tiêu chuẩn TCVN 5575:2012. Các biến thiết kế được xem là các biến rời rạc, phù hợp với thực tế sản xuất và xây dựng công trình. Thuật toán tiến hóa vi phân cải tiến được sử dụng để giải quyết bài toán tối ưu trên. Kết quả tính toán cho thấy phương pháp tối ưu không chỉ tiết kiệm thời gian mà còn nâng cao chất lượng giải pháp so với phương pháp thử và sai đang được các kỹ sư áp dụng phổ biến.

Từ khoá: Tối ưu, nhà thép công nghiệp, TCVN 5575:2012, tiến hóa vi phân, biến rời rạc.

Abstract: Industrial steel buildings are widely used in construction projects due to numerous advantages such as cost savings, fast construction time, large span capability, and better suitability for large-scale production and storage purposes. Due to the large span characteristics, the column and beam sections in industrial steel buildings often use composite steel, where the dimensions of the

sections are reasonably designed to ensure both structural performance and cost efficiency. However, with such complex design variables, selecting the appropriate sizes poses a challenging design problem. In this paper, we introduce a modern method to address this issue by setting up an optimization problem for determining the optimal cross-sectional sizes of industrial steel frame buildings. The goal is to minimize total weight while ensuring safety and usability according to design standards. The constraints are formulated according to TCVN 5575:2012 standards. The design variables are treated as discrete variables, aligning with practical production and construction realities. An improved differential evolution algorithm is employed to solve the optimization problem. Calculation results demonstrate that the optimization method not only saves time but also enhances the quality of solutions compared to the trial-and-error method commonly used by engineers.

Keywords: Optimization, industrial steel buildings, TCVN 5575:2012, differential evolution, discrete variables.

1. Giới thiệu

Nhà thép công nghiệp có nhiều ưu điểm so với cấu trúc thép dân dụng. Chúng được thiết kế để chịu tải trọng lớn và cung cấp không gian rộng rãi, không bị gián đoạn, rất lý tưởng cho sản xuất và lưu trữ. Những tòa nhà này thường tiết kiệm chi phí hơn trên quy mô lớn, vì chúng dễ dàng mở rộng mà không cần thay đổi cấu trúc đáng kể. Tính linh hoạt trong thiết kế của chúng hỗ trợ việc lắp đặt và sắp xếp lại dây chuyền sản xuất một cách hiệu quả. Ngoài ra, nhà thép công nghiệp được chế tạo để chịu đựng các điều kiện môi trường khắc nghiệt hơn điển hình trong các môi trường công nghiệp, như biến động nhiệt độ

và tiếp xúc với hóa chất. Với thời gian xây dựng ngắn hơn nhờ các bộ phận được chế tạo sẵn, chúng phù hợp cho ứng dụng công nghiệp quy mô lớn so với bố cục phân đoạn hơn của nhà thép dân dụng.

Để tính toán thiết kế kết cấu thép nói chung và nhà thép công nghiệp nói riêng, các tiêu chuẩn thiết kế đã được xây dựng và ban hành khá đầy đủ ở Việt Nam, ví dụ tiêu chuẩn TCVN 5575:2012 [1]. Theo quy định trong các tiêu chuẩn, nhà thép công nghiệp được thiết kế để chịu được nhiều loại tải trọng khác nhau là tĩnh tải, hoạt tải, tải trọng cần trục, tải trọng gió và các loại tải trọng đặc biệt (ví dụ: động đất) [2]. Thông thường, các kỹ sư áp dụng phương pháp thử và sai để đạt được thiết kế phù hợp. Đối với các bài toán có nhiều biến, phương pháp này không hiệu quả vì phải thử nhiều trường hợp lặp đi lặp lại, do đó tiêu tốn nhiều công sức và thời gian. Hơn nữa, kết quả đạt được không đảm bảo là thiết kế tối ưu nhất và phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm của kỹ sư thiết kế. Trong trường hợp như vậy, việc ứng dụng các kỹ thuật tối ưu metaheuristic sẽ đem lại nhiều lợi ích nhờ khả năng xử lý các bài toán có độ phi tuyến cao, phức tạp của chúng và dễ dàng đáp ứng các yêu cầu kinh tế và kỹ thuật đặt ra.

Kết cấu khung thép tiền chế của nhà công nghiệp một tầng là loại kết cấu được sử dụng rộng rãi. Đây là dạng khung thép nhẹ với cột và dầm được chế tạo từ thép I-hàn, có nhiều ưu điểm nổi bật như giảm chi phí vật liệu, tự động hóa quá trình sản xuất, và thi công lắp đặt dễ dàng. Trên thế giới, tối ưu nhà công nghiệp một tầng được nghiên cứu từ những năm đầu của thế kỷ này với các nghiên cứu điển hình như là: Kamal và cộng sự [3] năm 2003, Hernandez và cộng sự [4] năm 2005, Kravanja và Zula [5] năm 2010. Các nghiên cứu này dựa trên tiêu chuẩn EC-3 và các thuật toán tối ưu trực tiếp vốn có nhiều hạn chế trong việc giải quyết các bài toán tối ưu có tính phi tuyến cao. Gần đây, Phan và cộng sự [6] ứng dụng thuật toán di truyền (GA) trong tối ưu khung thép công nghiệp sử dụng thép tạo hình nguội theo tiêu chuẩn EC-3. Các phân tích trên cho thấy rằng, tối ưu nhà

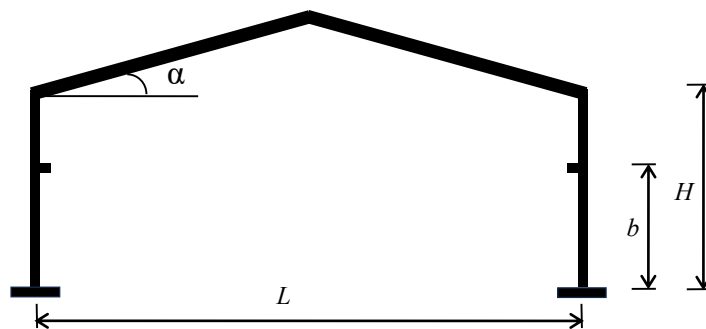
công nghiệp 1 tầng thu hút được sự chú ý của nhiều nhà khoa học trên thế giới. Tuy nhiên, tại Việt Nam, vẫn chưa có nhiều nghiên cứu áp dụng tối ưu hóa thiết kế cho loại kết cấu này. Tác giả Vũ Anh Tuấn [7] đã sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân (DE) để giảm thiểu trọng lượng của khung thép một tầng dựa theo tiêu chuẩn EC-3. Hiếu và cộng sự [8] sử dụng DE trong thiết kế tối ưu hệ cột đặc và mái dàn vì kèo theo tiêu chuẩn TCVN 5575:2012. Bên cạnh đó, sự phát triển nhanh chóng trong kỹ thuật máy tính cho phép ra đời rất nhiều kỹ thuật tối ưu hiệu quả hơn như là: tiến hóa vi phân cải tiến [9-10], tiến hóa vi phân kết hợp với học máy [11-13], các kỹ thuật phân tích trực tiếp kết cấu thép [14-15], ETC. Các kỹ thuật mới này thể hiện hiệu suất vượt trội so với các phương pháp tối ưu thế hệ trước như DE [9-13]. Do vậy, việc nghiên cứu vận dụng chúng trong các bài toán tính toán thiết kế kết cấu là hết sức cần thiết nhằm cung cấp cho kỹ sư và người đọc những thông tin hữu ích trong công việc.

Trong bài báo này, bài toán tối ưu tiết diện khung thép tiền chế một tầng có cầu trục theo tiêu chuẩn Việt Nam được nghiên cứu. Mục tiêu là xác định kích thước mặt cắt ngang tối ưu của cột và dầm chữ I sao cho tổng trọng lượng của kết cấu là tối thiểu, đồng thời đáp ứng các điều kiện an toàn và sử dụng theo TCVN 5575:2012 với tải trọng tác dụng xác định theo TCVN 2737:2023. Các biến thiết kế là các biến rời rạc. Thuật toán tiến hóa vi phân cải tiến EpDE [9-10] được áp dụng để giải quyết bài toán tối ưu với biến rời rạc đặt ra.

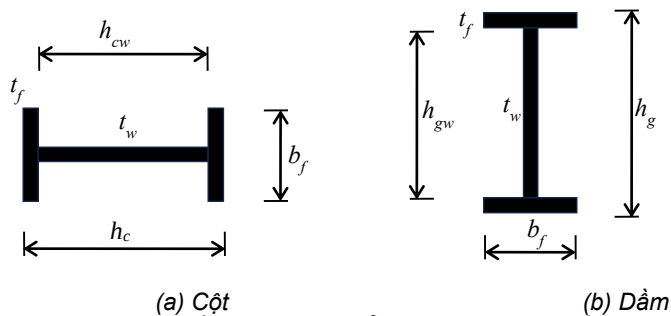
2. Thiết lập bài toán tối ưu theo TCVN 5575:2012

2.1 Thiết kế nhà thép tiền chế 1 tầng theo TCVN 5575:2012

Sơ đồ điển hình cho nhà thép công nghiệp một tầng có cầu trục được mô tả trong Hình 1. Trong đó L là nhịp khung, b là cao trình đỉnh ray cầu trục, H là cao trình đỉnh cột, α là góc dốc mái. Dầm và cột sẽ là các thép hình tổ hợp tiết diện I với các kích thước tiết diện ngang được thể hiện như trong Hình 2.



Hình 1. Sơ đồ điển hình cho nhà thép công nghiệp một tầng



(a) Cột
(b) Dầm
Hình 2. Tiết diện ngang điển hình của cột và dầm

Phân tích kết cấu được thực hiện để xác định lực bên trong, bao gồm mômen uốn, lực cắt và lực dọc trục tại các tiết diện cột và dầm. Ngoài ra, phân tích kết cấu cũng xác định chuyển vị ngang của đỉnh cột. Việc phân tích kết cấu cho khung thép này có thể được thực hiện bằng các phương pháp khác nhau như phương pháp giải tích, phương pháp phần tử hữu hạn... Trong nghiên cứu này, phương pháp phần tử hữu hạn được áp dụng. Tính toán lực bên trong tại các tiết diện của các phần tử, bao gồm 04 tiết diện cột (tiết diện chân cột, tiết diện dưới bầu cột, tiết diện trên bầu cột, tiết diện đỉnh cột) và 02 tiết diện đầu dầm, được thực hiện cho từng trường hợp tải trọng. Sau đó, các lực bên trong tới hạn tại mỗi tiết diện được xác định bằng cách kết hợp lực bên trong theo TCVN 2737:2023.

Tổ hợp cơ bản 1: Bao gồm tải trọng thường xuyên (tải trọng thường xuyên, độ lún chênh lệch) và một tải trọng hoạt tải.

Tổ hợp cơ bản 2: Bao gồm tải trọng thường xuyên và một vài tải trọng hoạt tải bất lợi.

Chuyển vị ngang tại đỉnh cột được tính toán cho 03 tổ hợp tải trọng danh định theo TCVN 5575:2012 (tải trọng thường xuyên với tải trọng gió, tải trọng thường xuyên với tải trọng cầu trục, tải trọng thường xuyên với 0.5 tải trọng gió và tải trọng cầu trục).

Chiều dài tính toán của một phần tử bao gồm chiều dài tính toán trong mặt phẳng l_x và chiều dài tính toán ngoài mặt phẳng l_y . Đối với cột, $l_x = \mu l$ với

μ là hệ số chiều dài tính toán. μ được xác định theo công thức (52) - Bảng 19 của TCVN 5575:2012. l là chiều dài hình học của cột. Bên cạnh đó, l_y được lấy bằng khoảng cách giữa các giằng ngang. Chiều dài tính toán của dầm trong mặt phẳng uốn được xác định bởi chiều dài hình học của dầm. Chiều dài tính toán của dầm khi tính toán ngoài mặt phẳng uốn bằng khoảng cách giữa hai điểm đặt giằng.

Cột và dầm sau khi tính toán nội lực sẽ được kiểm tra theo 2 trạng thái làm việc:

- Trạng thái giới hạn I: Dầm và cột được mô hình là cấu kiện như cấu kiện chịu nén uốn theo TCVN 5575:2012. Trong trường hợp độ lệch tâm tính đối $m_e > 20$, các cấu kiện này được kiểm tra như một phần tử chịu uốn.
- Trạng thái giới hạn II: Khung được kiểm tra về chuyển vị ngang. Chuyển vị ngang được kiểm tra tại cao trình đỉnh cột. Trong trường hợp sử dụng cầu trục nặng, giá trị giới hạn của chuyển vị ngang của cột được lấy theo TCVN 5575:2012. Đối với cầu trục nhẹ và trung bình, chuyển vị ngang giới hạn không vượt quá 1/300.

2.2 Thiết lập bài toán tối ưu

Dựa trên các kích thước mô tả trong Hình 1 và 2, hàm mục tiêu của bài toán tối ưu là tổng khối lượng của khung được xác định như sau:

$$\text{Tối thiểu hóa: } W(x) = 2\rho \left[(h_{cw}t_w + 2t_f b_f)H + (h_{gw}t_w + 2t_f b_f) \frac{L}{2 \cos \alpha} \right] \quad (1)$$

$$\text{Điều kiện ràng buộc: } \begin{cases} \sigma_i \leq [\sigma]; \lambda_i \leq [\lambda] \\ \Delta_{\text{đỉnh cột}} \leq [\Delta] \end{cases} \quad (2)$$

trong đó: ρ là khối lượng riêng của thép, σ_i và λ_i lần lượt là ứng suất và độ mảnh của cấu kiện thứ i , $\Delta_{\text{đỉnh cột}}$ là chuyển vị ngang tại đỉnh cột, $[\sigma]$, $[\lambda]$ và $[\Delta]$ là các giá trị giới hạn cho các tham số trên. Các biến thiết kế là h_{cw} , h_{gw} , b_f , t_w và t_f . Các biến này được nhận các giá trị rời rạc trong tập giá trị cho trước. Để xử lý với biến rời rạc này, biến thiết kế trong phương trình (1) được thể hiện dưới dạng: $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$, trong đó x_i ($i=1, 2, 3, 4, 5$) là số tự nhiên thể hiện thứ tự của tiết diện được lựa chọn cho tương ứng biến thiết kế là h_{cw} , h_{gw} , b_f , t_w và t_f trong tập giá trị rời rạc cho trước. Ngoài ra, điều kiện ràng buộc (2) được xử lý bằng phương pháp hàm phạt, trong đó nếu điều kiện ràng buộc bị vi phạm, hàm mục tiêu sẽ được cộng thêm 1 giá trị phạt nhằm loại bỏ các thiết kế vi phạm trong quá trình tối ưu.

3. Thuật toán tiến hóa vi phân cải tiến EpDE

3.1 Thuật toán tiến hóa vi phân cơ bản

Thuật toán tối ưu DE được Storn và Price đề xuất [12] với các bước chính như sau:

a) Khởi tạo: Trong bước này, một quần thể đầu tiên gồm NP cá thể $X_i = (x_j) (j=1, \dots, D)$ được tạo một cách ngẫu nhiên từ miền giới hạn giá trị cho trước của các biến thiết kế.

b) Đột biến: Với mỗi cá thể X_i trong quần thể, một cá thể đột biến $V = (v_1, v_2, \dots, v_D)$ được tạo ra dựa trên kỹ thuật đột biến DE. Hai kỹ thuật đột biến thường được dùng nhất và có hiệu quả cao là DE/rand/1 và DE/best/1:

$$\text{DE/rand/1: } V = X_{r_1} + F \times (X_{r_2} - X_{r_3}) \quad (3)$$

$$\text{DE/best/1: } V = X_{\text{best}} + F \times (X_{r_1} - X_{r_2}) \quad (4)$$

trong đó: F được gọi là biên độ đột biến; X_{best} được định nghĩa là cá thể tốt nhất trong quần thể hiện tại (trong DE cá thể tốt nhất được xem là cá thể có giá trị hàm mục tiêu nhỏ nhất); r_1 , r_2 và r_3 là 3 số tự nhiên ngẫu nhiên được lựa chọn trong khoảng $[1, D]$ và thỏa mãn điều kiện $i \neq r_1 \neq r_2 \neq r_3$ nhằm thể hiện rằng 3 cá thể được lựa chọn là ba cá thể khác nhau trong quần thể và khác với cá thể mục tiêu.

c) Lai tạo: Từ cá thể đột biến V , cá thể mới $U = (u_1, u_2, \dots, u_D)$ được tạo ra thông qua việc lai tạo giữa X_i và V thông qua cơ chế như sau:

$$u_j = \begin{cases} v_j & \text{if } (\text{rand}(0,1) < CR) \text{ or } (j = I) \\ x_{ij} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

Tham số CR được gọi là hệ số lai tạo nhằm đảm bảo tỉ lệ nhất định sự pha trộn giữa 2 thể V và X_i . Điều kiện $j \neq I$ với I là số tự nhiên ngẫu nhiên trong khoảng $[1, D]$ nhằm đảm bảo có ít nhất 1 hạng tử của vec-tơ U được lấy từ cá thể đột biến V .

d) Lựa chọn: U sẽ được lựa chọn thay thế cho vị trí của X_i trong quần thể mới nếu giá trị hàm mục tiêu của nó tốt hơn của X_i .

3.2 Thuật toán tiến hóa vi phân EpDE

Hai kỹ thuật đột biến DE/rand/1 và DE/best/1 thể hiện trong công thức (3) và (4) được sử dụng khá rộng rãi hiện nay và có hiệu quả cao trong nhiều bài toán tối ưu. Đặc điểm của 2 thuật toán này khá ngược nhau. DE/rand/1 dựa trên cá thể ngẫu nhiên để tạo ra V nên kỹ thuật này đảm bảo tốt tính đa dạng của quần thể nhưng tốc độ hội tụ lại chậm. Ngược lại, thuật toán DE/best/1 lại dựa trên việc tạo cá thể V trên cơ sở cá thể tốt nhất của quần thể. Do vậy, tốc độ hội tụ của quần thể nhanh hơn so với kỹ thuật DE/rand/1 nhưng lại dễ rơi vào hội tụ cục bộ. Dựa trên đặc tính này của 2 kỹ thuật, thuật toán EpDE được Truong và Kim (2018) [17] đề xuất sử dụng kỹ thuật đột biến 'DE/pbest/1', trong đó cá thể tiềm năng V sẽ được xác định dựa theo công thức:

$$V_i = X_{\text{pbest}} + F \times (X_{r_1} - X_{r_2}) \quad (6)$$

trong đó, X_{pbest} là cá thể được lựa chọn ngẫu nhiên trong tập $100p\%$ ($p \in (0,1]$) cá thể tốt nhất của quần thể. Giá trị p được xác định theo công thức:

$$p(k) = A \times D^{\left(\frac{-B \times (k-1)}{\text{Iter}_{\text{max}} - 1} \right)} \quad (7)$$

Với k đại diện cho vòng lặp thứ k của quá trình tối ưu hóa và A , B là hai tham số đã cho trước. Theo công thức (7), giá trị p đạt mức cao nhất là A ngay tại vòng lặp đầu và sẽ giảm dần khi số vòng lặp tăng lên. Điều này có nghĩa là trong giai đoạn đầu khi quần thể còn phân tán nhiều, chương trình tối ưu cố gắng

khám phá các khu vực tiềm năng trong quần thể. Ở giai đoạn sau, khi giá trị p giảm xuống, chương trình tập trung vào việc sử dụng ít các cá thể tốt nhất, nhằm tăng tốc độ hội tụ của toàn bộ quần thể. Một cải tiến khác trong EpDE so với DE là hệ số đột biến F được cố định ở mức 0,7, trong khi hệ số lai tạo CR được chọn ngẫu nhiên trong khoảng (0,1).

3. Ví dụ nghiên cứu

Trong phần này, chúng ta sẽ xem xét một ví dụ tối ưu khung nhà công nghiệp 1 tầng có nhịp 24 m với các thông số tính toán cho trong Bảng 1. Năm biến thiết kế được lựa chọn trong tập các kích thước rời rạc cho trước trình bày trong Bảng 2.

Bảng 1. Thông số tính toán

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Chiều dài nhịp khung	L	m	24
Chiều cao của khung	H	m	10
Khoảng cách các khung	B	m	6
Cao trình đỉnh cầu trục	b	m	6.3
Độ dốc của mái	α	Độ	5.71
Giá trị mô đun đàn hồi của thép	E	kN/m ²	2.1*10 ⁸
Giới hạn chảy của thép	f	kN/m ²	2.1*10 ⁵
Khối lượng riêng của thép	ρ	Tấn/m ³	7.85
Tĩnh tải mái	q_0	kN/m ²	0.31
Hoạt tải mái	p_0	kN/m ²	0.3
Áp lực gió	w_0	kN/m ²	0.95
Tải trọng cầu trục	Q	Ton	10
Biến dạng chân cột	Z	m	0.08
Độ xoay chân cột	φ	Degree	0.5

Bảng 1. Thông số biến thiết kế

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Chiều cao vách tiết diện cột	h_{cw}	m	List [51]= [0.30, 0.31, 0.32, 0.33, 0.34, 0.35, 0.36, 0.37, 0.38, 0.39, 0.40, 0.41, 0.42, 0.43, 0.44, 0.45, 0.46, 0.47, 0.48, 0.49, 0.50, 0.51, 0.52, 0.53, 0.54, 0.55, 0.56, 0.57, 0.58, 0.59, 0.60, 0.61, 0.62, 0.63, 0.64, 0.65, 0.66, 0.67, 0.68, 0.69, 0.70, 0.71, 0.72, 0.73, 0.74, 0.75, 0.76, 0.77, 0.78, 0.79, 0.80]
Chiều cao vách tiết diện dầm	h_{gw}	m	List [51]= [0.30, 0.31, 0.32, 0.33, 0.34, 0.35, 0.36, 0.37, 0.38, 0.39, 0.40, 0.41, 0.42, 0.43, 0.44, 0.45, 0.46, 0.47, 0.48, 0.49, 0.50, 0.51, 0.52, 0.53, 0.54, 0.55, 0.56, 0.57, 0.58, 0.59, 0.60, 0.61, 0.62, 0.63, 0.64, 0.65, 0.66, 0.67, 0.68, 0.69, 0.70, 0.71, 0.72, 0.73, 0.74, 0.75, 0.76, 0.77, 0.78, 0.79, 0.80]
Bề rộng bản cánh dầm và cột	b_f	m	List[31] = [0.20, 0.21, 0.22, 0.23, 0.24, 0.25, 0.26, 0.27, 0.28, 0.29, 0.30, 0.31, 0.32, 0.33, 0.34, 0.35, 0.36, 0.37, 0.38, 0.39, 0.40, 0.41, 0.42, 0.43, 0.44, 0.45, 0.46, 0.47, 0.48, 0.49, 0.50]
Chiều dày vách dầm và cột	t_w	m	List[16] = [0.005, 0.006, 0.007, 0.008, 0.009, 0.010, 0.011, 0.012, 0.013, 0.014, 0.015, 0.016, 0.017, 0.018, 0.019, 0.020]
Chiều dày bản cánh dầm và cột	t_f	m	List[16] = [0.005, 0.006, 0.007, 0.008, 0.009, 0.010, 0.011, 0.012, 0.013, 0.014, 0.015, 0.016, 0.017, 0.018, 0.019, 0.020]

Để đánh giá hiệu quả của EpDE, thuật toán DE/rand/1 được sử dụng. Các tham số được thiết lập cho các thuật toán như sau: kích thước quần thể là 25; số vòng lặp là 100; hệ số F và CR cho DE là 0,7 và 0,9; hệ số A và B cho EpDE là 0,5 và 1,0. Mỗi thuật toán được thực hiện 10 lần. Kết quả tối ưu hóa được trình bày trong Bảng 3. Để so sánh, một thiết kế theo phương pháp thử và sai thông thường được đưa ra. Tổng trọng lượng của thiết kế tham khảo này là 3587.159 kg, cao hơn so với trọng lượng tối ưu thu

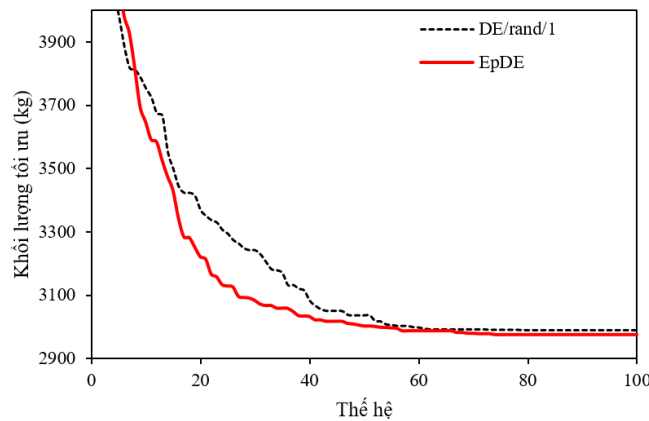
được từ các thuật toán metaheuristic. Khối lượng tối ưu tốt nhất mà các thuật toán EpDE và DE tìm được là như nhau và bằng 2960.74 (kg), thấp hơn so với thiết kế truyền thống khoảng 17.4 %. Ngoài ra, Bảng 3 cũng cho thấy sự ổn định trong các lần chạy của 2 thuật toán DE và EpDE. Do độ sai khác của các kết quả không khác nhau nhiều, ta có thể kết luận và các thuật toán tối ưu đều hiệu quả trong việc tìm kiếm các nghiệm tối ưu thỏa mãn các điều kiện ràng buộc. Nói cách khác, hai thuật toán này có thể áp dụng hiệu

quả trong việc giải quyết bài toán tối ưu đặt ra. Hình 3 minh họa đường hội tụ trung bình các lần chạy của

2 thuật toán. Ta có thể thấy rằng EpDE hội tụ nhanh hơn DE/rand/1 nhờ kỹ thuật đột biến pbest.

Bảng 3. Kết quả tối ưu

Nội dung	DE	EpDE	Theo phương pháp thử sai thông thường
h_{cw} (m)	0.42	0.42	0.4
h_{gw} (m)	0.36	0.36	0.5
b_f (m)	0.28	0.28	0.24
t_w (m)	0.006	0.006	0.008
t_f (m)	0.009	0.009	0.014
Khối lượng tối ưu tốt nhất tìm được (kg)	2960.74	2960.74	3587.159
Tỉ lệ	82.6%	82.6%	100%
Vi phạm ràng buộc	0	0	0
Khối lượng tối ưu kém nhất tìm được (kg)	3006.96	2989.51	-
Khối lượng tối ưu trung bình tìm được (kg)	2990.03	2975.79	-
Độ lệch (kg)	13.16	12.12	-



Hình 3. Đường hội tụ trung bình của 2 thuật toán

4. Nhận xét, kết luận

Bài báo đã trình bày bài toán tối ưu khung thép tiền chế một tầng có biến rời rạc. Biến thiết kế là kích thước mặt cắt ngang dầm và cột. Hàm mục tiêu là giảm thiểu tổng khối lượng của khung, đồng thời đảm bảo an toàn và khả năng sử dụng theo tiêu chuẩn thiết kế. Các điều kiện ràng buộc được xây dựng theo tiêu chuẩn TCVN 5575:2012. Thuật toán tiến hóa vi phân DE và vi phân cải tiến EpDE được sử dụng để giải quyết bài toán tối ưu trên. Kết quả tính toán trong tối ưu khung nhà công nghiệp 1 tầng có nhịp 24 m cho thấy áp dụng phương pháp tối ưu đã tiết kiệm được khoảng 17.4% khối lượng của khung so với cách sử dụng thử và sai thông thường. Kết quả nghiên cứu ban đầu này cho thấy sự hiệu quả của việc ứng dụng tối ưu trong thiết kế khung thép tiền chế. Hướng nghiên cứu tiếp theo của nghiên cứu này bao gồm: (1) Nghiên cứu hệ khung thép tiền chế có độ phức tạp cao hơn như là khung không gian, khung

có hệ giàn mái, khung chịu tải trọng động đất, (2) Tăng độ phức tạp của hình dạng tiết diện dầm và cột như là dầm và cột có tiết diện thay đổi, (3) Xét sự thay đổi của độ dốc mái và chiều dài nhịp cũng như chiều cao cột.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 5575:2012 – Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế.
- [2] Thuật, Đ. V., Hòa, N. Đ., Cường, N. V., Hùng, T. V. (2020). *Ảnh hưởng của động đất tác dụng dọc nhà đối với kết cấu thép nhà công nghiệp một tầng có cầu trục*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCNXD) - ĐHXDHN, 14(3V), 23-35.
- [3] Kamal, O. A., El-Mahdy, O. O., El-Komy, G. A. (2003). *Optimum design of one-bay portal steel frames*. J Eng Appl Sci, 723–741.
- [4] Hernández, S., Fontán, A. N., Perezán, J. C., Loscos, P. (2005). *Design optimization of steel portal frames*. Adv Eng Software, 36, 626–633.

- [5] Kravanja, S., Zula, T. (2010). *Cost optimization of industrial steel building structures*. Advances in Engineering Software, 41, 442-450.
- [6] Phan, D. T., Mojtabaei, S. M., Hajirasouliha, I., Ye, J., Lim, J. B. P. (2020). *Coupled element and structural level optimisation framework for cold-formed steel frames*. Journal of Constructional Steel Research, 168, 105867.
- [7] Tuấn, V. A. (2010). *Tối ưu trọng lượng khung thép nhà tiền chế sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCN XD) - ĐHXDHN, 4(1), 50-56.
- [8] Hiếu, N. T., Tuấn, V. A., Cường, N. Q. (2019). *Tối ưu trọng lượng khung thép cột đặc dàn vì kèo sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCN XD) - ĐHXDHN, 13(5V), 55-64.
- [9] Truong, V. H., Hung, H. M., Anh, P. H., Hoc, T. D. (2020). *Optimization of steel moment frames with panel-zone design using an adaptive differential evolution*. Journal of Science and Technology in Civil Engineering (JSTCE) - HUCE, 14(2), 65-75.
- [10] Pham, H. A., Nguyen, D. X., Truong, V. H. (2021). *An efficient differential-evolution-based moving compensation optimization approach for controlling differential column shortening in tall buildings*. Expert Systems with Applications, 169, 114531.
- [11] Cao, T. S., Pham, H. A., Truong, V. H. (2024). *An efficient algorithm for multi-objective structural optimization problems using an improved pbest-based differential evolution algorithm*. Advances in Engineering Software, 197, 103752.
- [12] Truong, V. H., Cao, T. S., Tangaramvong, S. (2024). *A robust machine learning-based framework for handling time-consuming constraints for bi-objective optimization of nonlinear steel structures*. Structures, 62, 106226.
- [13] Truong, V. H., Tangaramvong, S., Papazafeiropoulos, G. (2024). *An efficient LightGBM-based differential evolution method for nonlinear inelastic truss optimization*. Expert Systems with Applications, 237 (Part B), 121530.
- [14] Truong, V. H., Pham, H. A., Huynh Van, T., Tangaramvong, S. (2022). *Evaluation of machine learning models for load-carrying capacity assessment of semi-rigid steel structures*. Engineering Structures, 273, 115001.
- [15] Truong, V. H., Pham, H. A. (2021). *Support Vector Machine for Regression of Ultimate Strength of Trusses: A Comparative Study*. Engineering Journal, 25(7), 157-166.
- [16] Storn, R. M., Price, K. V. (1997). *Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces*. J. Global Optim, 11, 341-359.
- [17] Truong, V. H., Kim, S. E. (2018). *Reliability-based design optimization of nonlinear inelastic trusses using improved differential evolution algorithm*. Advances in Engineering Software, 121, 59-74.