

PHÂN TÍCH PHI TUYẾN TRỤ THÉP TRUYỀN TẢI ĐIỆN SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH DẦM-CỘT

ĐẶNG THỊ PHƯƠNG UYÊN

Công ty Tư Vấn Điện Miền Nam - uyendang119@gmail.com

LÊ THANH CƯỜNG

Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh, lthanhuong@yahoo.com

NGÔ HỮU CƯỜNG

Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh - nhcuong@hcmut.edu.vn

(Ngày nhận: 9/9/2016; Ngày nhận lại: 11/11/16; Ngày duyệt đăng: 14/11/2016)

TÓM TẮT

Để phản ánh sự làm việc thực tế của tháp trụ truyền tải điện, những yêu cầu về mô hình phân tích và các xem xét trong quá trình sử dụng trong thiết kế phải được xác định và đánh giá rõ ràng. Việc sử dụng phân tích phi tuyến phi đàn hồi sẽ trực tiếp giải quyết được những nhược điểm của phương pháp thiết kế dựa vào phân tích đàn hồi tuyến tính trên. Thuận lợi lớn của phương pháp thiết kế dựa vào phân tích trực tiếp tác động phi tuyến hình học và vật liệu là: (i) không cần dùng hệ số chiều dài tính toán vì tác động phi tuyến hình học đã được tích hợp trực tiếp; (ii) kể đến sự tương tác do sự chảy dẻo và mất ổn định dần dần theo sự tăng tải; (iii) cung cấp kết quả nội lực toàn bộ kết cấu có kể đến sự phân phối lại nội lực như trạng thái chịu lực thật của hệ; (iv) dự đoán được độ cứng của hệ chính xác hơn; (v) hình dung được ứng xử phi tuyến của hệ, trình tự và dạng phá hoại của cấu kiện và hệ kết cấu, khả năng chịu lực cực hạn của hệ; (vi) áp dụng một cách hợp lý và phù hợp với tất cả các loại kết cấu khung bao gồm khung không giằng, khung có giằng và khung kết hợp.

Trong bài báo này đưa ra những vấn đề sau: sử dụng phương pháp dầm-cột dùng hàm ổn định có khớp dẻo hai đầu để mô phỏng ứng xử phi tuyến của cấu kiện trụ thép truyền tải điện, sau đó tìm hiểu thuật toán giải phi tuyến để áp dụng phân tích hệ kết cấu chịu tĩnh tải. Và xây dựng chương trình ứng dụng bằng ngôn ngữ lập trình Fortran để phân tích phi tuyến hệ khung cứng, khung giằng, dàn và trụ thép truyền tải điện. Sau đó kiểm chứng độ tin cậy của chương trình phát triển bằng các kết quả của các nghiên cứu khác và kết quả phân tích bằng SAP2000. Áp dụng chương trình phát triển để thiết kế trực tiếp trụ thép điện.

Từ khóa: Dầm-cột; Hàm ổn định; Phi tuyến; Trụ thép.

Non-linear analysis on steel transmission tower using beam-column method

ABSTRACT

For reflecting the actual working of the tower transmission, requirements about analysis model and review during processes used in the design must be determined and clearly assessed. The non-elastic analysis will directly overcome the disadvantages of methods that were based on linear elastic analysis above-mentioned. Main advantage of this method which based on direct analysis of nonlinear geometric effects and nonlinear materials is: (i) without using coefficient of computed length because nonlinear geometric effects are integrated directly; (ii) the interaction due to plastic flow and gradual instability as per increasing load is taken into account; (iii) to provide results of internal forces of the entire structure with consideration over the internal force redistribution as true status of the system; (iv) to predict the stiffness of the structures transmission tower with a more accuracy; (v) to figure out the nonlinear behavior of the system, order and modes of failure of structures and structural systems, as well as ultimate bearing capacity of the system; (vi) to apply suitably and reasonably all kind of frame structures including unbracing frame, bracing frame and mixed frames.

In this paper, following problems have been solved: Beam-column method using stability function with plastic hinged in both ends in order to describe the nonlinear behavior of structural steel transmission tower, then a nonlinear algorithm for analyzing the system subjected to static load was created. A practicable Fortran program for analyzing nonlinear system rigid frame, bracing frames, steel frames and power supply towers was established. After then, the reliability of the developed program has been evaluated and compared to that of SAP2000 results. Finally, developed programs was used to design electricity transmission towers.

Keywords: Beam- Column; Stability function; Non-linear; Transmission steel tower.

1. Đặt vấn đề

Trong thực tiễn hầu hết các tháp trụ thép truyền tải điện đều được thiết kế dựa vào phân tích đàn hồi và tác động phi tuyến hình học được kể đến bằng hệ số uốn dọc gần đúng khi kiểm tra khả năng chịu lực của cấu kiện. Các công thức thiết kế có kể đến tác động phi tuyến hình học và vật liệu khi kiểm tra độ bền của cấu kiện riêng lẻ được thể hiện dưới dạng đơn giản và không tường minh. Người thiết kế phải đảm bảo khả năng chịu lực của từng thanh riêng lẻ trong hệ đáp ứng yêu cầu cường độ theo quy định của công thức trong tiêu chuẩn và từ đó khả năng chịu lực của toàn hệ kết cấu phụ thuộc vào khả năng chịu lực của những thanh yếu hơn. Việc làm này không thể kể đến sự tương tác khi chịu lực giữa những cấu kiện do sự phân bố lại nội lực trong hệ khi có sự suy giảm cường độ và độ cứng do tác động kết hợp giữa sự chảy dẻo và tác động của lực dọc. Phương pháp thiết kế dựa vào phân tích đàn hồi có ưu điểm nổi bật là cho phép dùng nguyên lý cộng tác dụng nội lực, là cách đơn giản cho kỹ sư áp dụng và thiên về an toàn. Tuy nhiên, ứng xử chảy dẻo, sự mất ổn định dần dần, dạng phá hoại, độ cứng và cường độ cực hạn của hệ kết cấu chưa được cung cấp rõ ràng và chính xác trong phương pháp này.

Việc làm này không thể kể đến sự tương

tác khi chịu lực giữa những cấu kiện do sự phân bố lại nội lực trong hệ, khi có sự suy giảm cường độ và độ cứng dần dần, do tác động kết hợp giữa sự chảy dẻo và tác động của lực dọc. Phương pháp thiết kế dựa vào phân tích đàn hồi cho phép dùng nguyên lý cộng tác dụng nội lực, là cách đơn giản cho kỹ sư áp dụng và thiên về an toàn. Tuy nhiên, ứng xử và cường độ cực hạn của hệ kết cấu chưa được cung cấp rõ ràng trong phương pháp này.

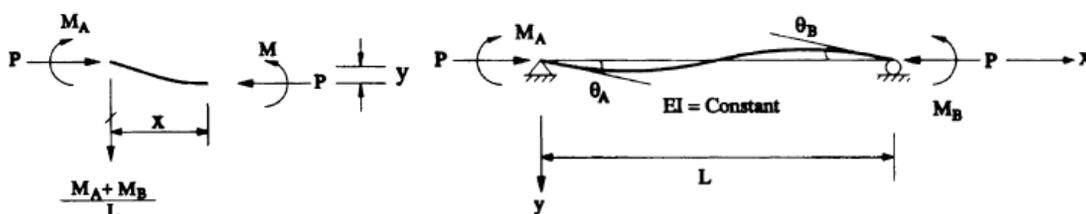
Trong bài báo này tác giả áp dụng phương pháp phân tích nâng cao để nghiên cứu ứng xử của từng cấu kiện riêng lẻ và toàn hệ kết cấu, như sự làm việc tương tự trong điều kiện thực để khắc phục các nhược điểm của phương pháp thiết kế dựa vào phân tích đàn hồi. Tác giả sử dụng hàm ổn định cho phần tử dầm-cột điển tả phi tuyến hình học và sử dụng phương pháp khớp dẻo để kể đến tác động của phi tuyến vật liệu.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Phần tử dầm-cột dưới tác động của phi tuyến hình học

2.1.1. Theo lời giải giải tích

Xét phần tử dầm-cột chịu tác dụng lực như hình sau. Cắt so với đầu A một đoạn x vuông góc với mặt cắt ngang của phần tử, xét sự cân bằng mô men nội và ngoại lực bên ngoài theo mặt phẳng như sau:



Hình 1. Phần tử dầm-cột tại vị trí x bất kỳ trong mặt phẳng

Hàm ổn định cho phần tử dầm-cột được đề xuất bởi Chen-Lui như sau:

$$\begin{Bmatrix} P \\ M_A \\ M_B \end{Bmatrix} = \frac{EI}{L} \begin{bmatrix} \frac{A}{I} & 0 & 0 \\ 0 & s_{ii} & s_{ij} \\ 0 & s_{ij} & s_{ii} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} e \\ \theta_A \\ \theta_B \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó, s_{ii} , s_{ij} , s_{ji} : là các hàm ổn định; E , I , A , L : là mô đun đàn hồi, mô men quán tính, diện tích, chiều dài; P : lực dọc trục; M_A , M_B : mô men gia tăng tại hai đầu phần tử; e , θ_A , θ_B : chuyển vị dọc trục, góc xoay gia tăng tại hai đầu phần tử dầm-cột.

2.1.2. Hàm ổn định

Phương trình hàm ổn định cơ bản mô tả tác

động phi tuyến hình học do lực dọc trục và mô men giữa hai đầu phần tử dầm-cột gây ra có dạng:

$$s_{1n} = \begin{cases} \frac{\pi\sqrt{\rho_n} \sin(\pi\sqrt{\rho_n}) - \pi^2\rho_n \cos(\pi\sqrt{\rho_n})}{2 - 2\cos(\pi\sqrt{\rho_n}) - \pi\sqrt{\rho_n} \sin(\pi\sqrt{\rho_n})} & \text{if } P < 0 \\ \frac{\pi^2\rho_n \cosh(\pi\sqrt{\rho_n}) - \pi\sqrt{\rho_n} \sinh(\pi\sqrt{\rho_n})}{2 - 2\cosh(\pi\sqrt{\rho_n}) + \pi\sqrt{\rho_n} \sinh(\pi\sqrt{\rho_n})} & \text{if } P > 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$s_{2n} = \begin{cases} \frac{\pi^2\rho_n - \pi\sqrt{\rho_n} \sin(\pi\sqrt{\rho_n})}{2 - 2\cos(\pi\sqrt{\rho_n}) - \pi\sqrt{\rho_n} \sin(\pi\sqrt{\rho_n})} & \text{if } P < 0 \\ \frac{\pi\sqrt{\rho_n} \sinh(\pi\sqrt{\rho_n}) - \pi^2\rho_n}{2 - 2\cosh(\pi\sqrt{\rho_n}) + \pi\sqrt{\rho_n} \sinh(\pi\sqrt{\rho_n})} & \text{if } P > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Với
$$\rho_n = \frac{P}{\pi^2 EI_n L^2} \quad (4)$$

2.2. Phần tử dầm-cột dưới tác dụng của phi tuyến vật liệu

2.2.1. Phi tuyến vật liệu do tác động của ứng suất dư

Khái niệm mô đun tiếp tuyến của Hội đồng Nghiên cứu Cột CRC (Column Research Council) được đề xuất để mô phỏng sự chảy dẻo dọc theo chiều dài phần tử dưới tác dụng lực dọc trục do sự hiện diện của ứng suất dư của tiết diện trong quá trình chế tạo. Để diễn tả sự suy giảm độ cứng, giá trị mô đun đàn hồi E thay thế bằng mô đun tiếp tuyến E_t theo quá trình lực gia tăng. E_t xác định dựa vào mô đun đàn hồi vật liệu E theo phương trình sau:

$$E_t = 1,0E \text{ khi } P \leq 0,5P_y \quad (5)$$

$$E_t = 4\frac{P}{P_y}E(1 - \frac{P}{P_y}) \text{ khi } P > 0,5P_y \quad (6)$$

Và tương tự cho sự thay đổi mô đun

$$k_{iyy} = \frac{E_t I_y}{L} \eta_A \left(s_1 - \frac{s_2^2}{s_1} (1 - \eta_B) \right); k_{ijy} = \frac{E_t I_y}{L} \eta_A \eta_B s_2; k_{jyy} = \frac{E_t I_y}{L} \eta_B \left(s_1 - \frac{s_2^2}{s_1} (1 - \eta_A) \right)$$

$$k_{iiz} = \frac{E_t I_z}{L} \eta_A \left(s_1 - \frac{s_2^2}{s_1} (1 - \eta_B) \right); k_{ijz} = \frac{E_t I_z}{L} \eta_A \eta_B s_2; k_{jjz} = \frac{E_t I_z}{L} \eta_B \left(s_1 - \frac{s_2^2}{s_1} (1 - \eta_A) \right)$$

η_A, η_B là các thông số vô hướng cho phép mô phỏng quá trình giảm độ cứng phi đàn hồi liên quan đến sự chảy dẻo của mặt cắt ngang tại hai đầu A và B.

kháng cắt tiếp tuyến G_t của phần tử trong phương trình:

$$G_t = 1,0G \text{ khi } P \leq 0,5P_y \quad (7)$$

$$G_t = 4\frac{P}{P_y}G(1 - \frac{P}{P_y}) \text{ khi } P > 0,5P_y \quad (8)$$

2.2.2. Phi tuyến vật liệu do sự hình thành khớp dẻo

Phương trình cân bằng lực khi có sự hình thành khớp dẻo được viết lại ở dạng sau:

$$\begin{pmatrix} P \\ M_{yA} \\ M_{yB} \\ M_{zA} \\ M_{zB} \\ T \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \frac{E_t A}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{iyy} & k_{ijy} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{ijy} & k_{iyy} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{iiz} & k_{ijz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{ijz} & k_{jjz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} e \\ \theta_{yA} \\ \theta_{yB} \\ \theta_{zA} \\ \theta_{zB} \\ \phi \end{pmatrix} \quad (9)$$

η = 1: mặt cắt ngang tại đầu mút đang xét vẫn còn đàn hồi,

η = 0: mặt cắt ngang tại đầu mút đang xét đã chảy dẻo hoàn toàn,

$0 < \eta < 1$: mặt cắt ngang tại đầu mút đang xét đang trong quá trình chảy dẻo.

2.2.3. Theo tiêu chuẩn AISD-LRFD (Specification by the American Institute of Steel Construction-The recently published Load and Resistance Factor Design)

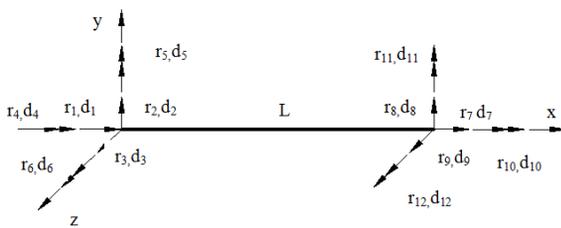
Dựa vào phương trình tương tác bậc hai của tiêu chuẩn AISD-LRFD, cường độ chảy dẻo mặt cắt ngang thép góc của phần tử dầm-cột được diễn tả như sau:

$$\alpha(p, m_x) = \left[\frac{P}{\phi P_y} + 8 \left(\frac{M_y}{\phi M_{yP}} + \frac{M_z}{\phi M_{zP}} \right) \right] \leq 1 \text{ khi } \frac{P}{\phi P_y} \geq 0,2 \quad (10)$$

$$\alpha(p, m_x) = \left[\frac{P}{2\phi P_y} + 8 \left(\frac{M_y}{\phi M_{yP}} + \frac{M_z}{\phi M_{zP}} \right) \right] \leq 1 \text{ khi } \frac{P}{P_y} < 0,2$$

$\phi = 0,9$: hệ số giảm bền.

2.2.4. Tác động của biến dạng do lực cắt



Hình 2. Hình vẽ diễn tả chuyển vị nút phần tử trong không gian

Chuyển đổi quan hệ giữa lực nút và chuyển vị nút trong hệ tọa độ tổng thể và lực nút, chuyển vị nút trong hệ tọa độ phần tử:

$$\{f_n\} = [T]_{6 \times 12}^T \{f_e\}, \{d_e\} = [T]_{6 \times 12} \{d_L\} \quad (11)$$

$\{f_n\}^T$: vec tơ lực nút trong hệ tọa độ tổng thể; $\{d_L\}^T$: vec tơ chuyển vị nút trong hệ tọa độ tổng thể.

$\{f_e\}, \{d_e\}$: vec tơ lực nút và vec tơ chuyển vị nút của phần tử dầm-cột trong hệ tọa độ địa phương.

Mối quan hệ giữa lực nút và chuyển vị nút của phần tử trong hệ tọa độ tổng thể phần tử được viết lại:

$$\{f_n\} = [k_n] \{d_L\} \quad (12)$$

$$[k_n]_{12 \times 12} = [T]_{6 \times 12}^T [k_n]_{6 \times 6} [T]_{6 \times 12} \quad (13)$$

Mối quan hệ giữa lực-chuyển vị của phần tử dầm-cột được viết lại như sau:

$$\{f_L\} = [k_e] \{d_L\} \quad (14)$$

$$\{f_L\} = \{f_n\} + \{f_s\} \quad (15)$$

$$[k_e] = [k_n] + [k_s] \quad (16)$$

$[k_s]$: ma trận độ cứng cho phép xoay phần tử, $[T]_{6 \times 12}$: ma trận chuyển phần tử.

2.2.5. Chuyển đổi hệ trục tọa độ phần tử

Ma trận độ cứng trong các bước thiết lập chỉ thiết lập cho hệ tọa độ xyz phần tử và hệ tọa độ này không trùng phương với hệ tọa độ tổng thể $x'y'z'$. Do vậy trước khi ghép nối phần tử phải thực hiện phép chuyển trục tọa độ tổng thể và tìm $[k']_e$ là ma trận độ cứng phần tử trong hệ tọa độ tổng thể theo công thức:

$$[k'_e] = [T'_e] [k_e] [T_e] \quad (17)$$

Ma trận biến đổi hệ trục tọa độ $[n]$ được xác định: $[n] = [n_1][n_2]$. Ma trận chuyển $[T]_e$ có dạng:

$$[T]_e = \begin{bmatrix} [n] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & [n] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & [n] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & [n] \end{bmatrix} \quad (18)$$

Với ma trận $[n]$ được xác định từ các cosin chỉ phương của hệ trục phần tử so với hệ trục tổng thể của hệ kết cấu.

3. Lực tác dụng vào trụ thép truyền tải điện

Lực tác dụng lên cột bao gồm: lực do dây dẫn truyền tải điện và lực do gió.

Lực do tác dụng của dây dẫn tác dụng vào trụ thép truyền tải điện gồm dây dẫn và dây chống sét.

3.1. Tính lực tác dụng do dây dẫn điện

Lực dây dẫn tác dụng vào đầu trụ theo tính toán cơ lý đường dây tải điện như sau:

Chế độ bình thường của đường dây trên không (ĐDK) là chế độ làm việc khi dây dẫn hoặc dây chống sét không bị đứt.

Chế độ sự cố của ĐDK là chế độ làm việc khi một hoặc một số dây dẫn hoặc dây chống

sét bị đứt; Trụ thép đỡ mắc cách điện treo phải tính đến lực do đứt dây dẫn hoặc dây chống sét gây ra mômen uốn hoặc mômen xoắn lớn nhất trên trụ theo các điều kiện sau đây:

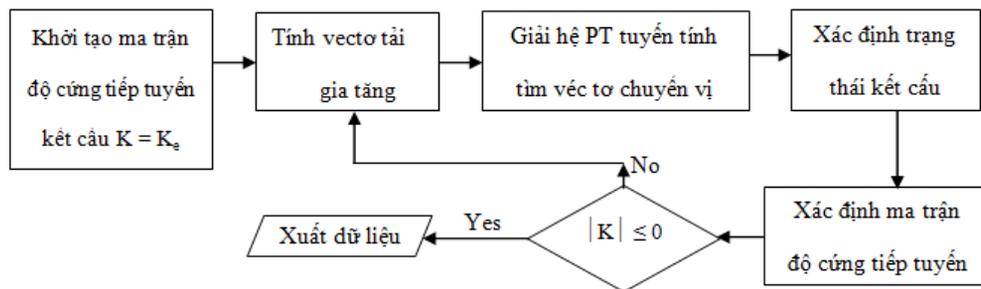
- ✓ Đứt một hoặc các dây dẫn của một pha (với bất kỳ số dây trên cột là bao nhiêu), dây chống sét không bị đứt;
- ✓ Đứt một dây chống sét, dây dẫn không bị đứt.

Khi tính trụ, cho phép kể đến tác động của những dây dẫn hoặc dây chống sét không bị đứt.

3.3. Tổ hợp nội lực tác dụng vào trụ

COMBO1 = 1,1.Tĩnh tải + 0,7.Gió X+0,7.Gió Y + 0,9.Chế độ đứt dây pha;
 COMBO2 = 1,1.Tĩnh tải + 0,7.Gió X+0,7.Gió Y + 0,9.Chế độ dây bình thường;
 COMBO3 = 1,1.Tĩnh tải + 0,7.Gió X+0,7.Gió Y + 0,9.Chế độ đứt dây chống sét;
 COMBO4 = 1,1.Tĩnh tải + 0,9.Gió Y+ 0,9.Chế độ dây bình thường;
 COMBO5 = 1,1.Tĩnh tải + 0,9.Gió X+ 0,9.Chế độ đứt dây chống sét.

4. Phương pháp giải và thuật toán



Hình 3. Sơ đồ khối phân tích hệ

5. Kết quả số

5.1. Dàn thép bốn thanh không gian

Bài toán dàn thép bốn thanh không gian chịu tải tập trung tại nút giữa được trình bày như hình 4. Các thông số về vật liệu và hình học được cho như sau: module đàn hồi vật

3.2. Tính lực tác dụng do tải trọng gió

Theo TCVN 2737-1995, lực gió tác dụng lên cột bao gồm 2 thành phần: thành phần tĩnh và thành phần động (kể đến dao động tự do của cột).

Giá trị gió tác dụng lên cột được tính theo công thức:

$$W_{\text{total}} = W_{\text{tc}} + W_{\text{p}}$$

Trong đó: W_{tc} : giá trị thành phần tĩnh của tải trọng gió.

W_{p} : giá trị thành phần động của tải trọng gió.

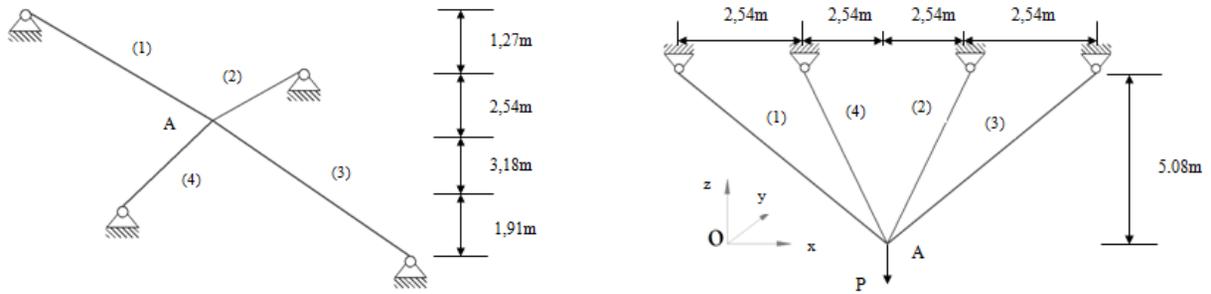
liệu thép $E=200GPa$; ứng suất chảy dẻo $\sigma_y=250MPa$; tiết diện các thanh dàn là $W14 \times 82$.

Kích thước hình học của thanh dàn được trình bày ở bảng sau:

Bảng 1

Kích thước tiết diện thanh dàn bài toán dàn không gian

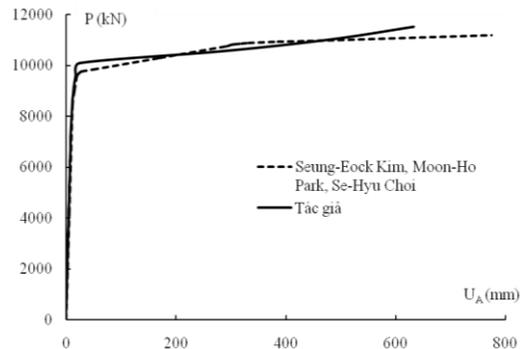
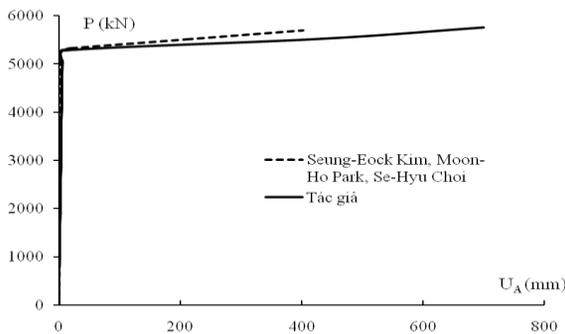
Tiết diện	Chiều cao tiết diện d (mm)	Chiều dày bụng t_w (mm)	Chiều rộng cánh b_f (mm)	Chiều dày cánh t_f (mm)
W14x82	363,6	1,3	257,3	2,17



Hình 4. Sơ đồ dàn thép bốn thanh không gian

Bài toán này được tác giả nêu ra để so sánh với kết quả phân tích của Seung-Eock Kim và các cộng sự. Tác giả cũng sử dụng chương trình của mình và mô phỏng một phần

tử cho một thanh như trên Hình 5. Kết quả phân tích lực tác dụng-chuyển vị được thể hiện như hình sau:



Hình 5. Đường cong tải trọng–chuyển vị dàn thép không gian khi P hướng lên và P hướng xuống

Bảng 2

So sánh kết quả bài toán dàn thép không gian khi P hướng lên về tải trọng tới hạn P_u

STT	Phương pháp phân tích	P_u (kN)	Sai số (%)
1	Dàn không gian - phương pháp năng lượng - Seung-Eock Kim và các cộng sự (2001)	5694	1,14
2	Tác giả (2014)	5760	

Bảng 3

So sánh kết quả bài toán dàn thép không gian khi P hướng xuống về tải tới hạn P_u

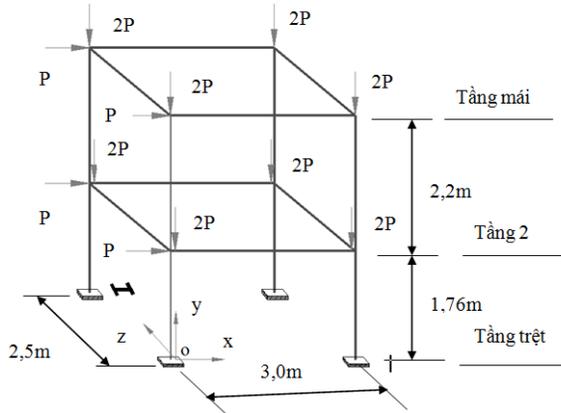
STT	Phương pháp phân tích	P_u (kN)	Sai số (%)
1	Dàn không gian- phương pháp năng lượng - Seung-Eock Kim và các cộng sự (2001)	11.170	3,04
2	Tác giả (2014)	11.520	

Nhận xét: Dựa vào biểu đồ đường cong tải trọng – chuyển vị của dàn thép không gian, tác giả nhận thấy rằng kết quả có sự sai lệch không đáng kể. Và tỷ lệ sai lệch của lực giới hạn P_u là 1,14% và 3,04%.

5.2. Khung thép không gian hai tầng, một nhịp - chịu tải tập trung tại nút

Bài toán khung thép không gian hai tầng, một nhịp được trình bày ở Hình sau. Tất cả cấu kiện có tiết diện thép chữ H-150 x 160 x

10 x 6,5. Các thông số về vật liệu và hình học được cho như sau: module đàn hồi vật liệu thép $E=221GPa$; ứng suất chảy dẻo $\sigma_y=320MPa$; hệ số poisson $\nu=0,3$;



Hình 6. Sơ đồ khung thép không gian hai tầng – chịu tải tập trung tại nút

Kích thước hình học của tiết diện cấu kiện khung được trình bày ở bảng sau:

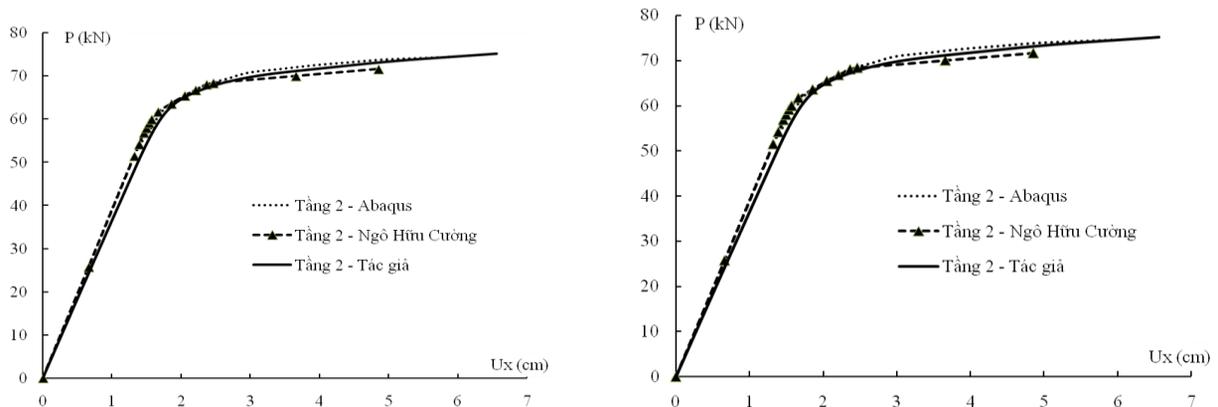
Bảng 4

Thông số tiết diện bài toán khung không gian hai tầng-một nhịp

Tiết diện	Chiều cao tiết diện d (mm)	Chiều dày bụng t_w (mm)	Chiều rộng cánh b_f (mm)	Chiều dày cánh t_f (mm)
H150x160x10x6,5	150	10	160	6,5

Bài toán này được tác giả nêu ra để so sánh với Ngô Hữu Cường và các cộng sự. Tổng số phần tử tác giả sử dụng 16 phần tử

(08 phần tử cột, 08 phần tử dầm). Kết quả phân tích lực tác dụng-chuyển vị được thể hiện như hình sau:



Hình 7. Đường cong tải– chuyển vị ngang tầng 2 (tầng mái) khung thép không gian

Bảng 5So sánh kết quả bài toán khung thép không gian về tải trọng tới hạn P_u

STT	Phương pháp phân tích	P_u (kN)	Sai số (%)
1	Phương pháp khớp dẻo thứ- Cuong Ngo-Huu và các cộng sự (2006)	72	3,73
2	Abaqus - Cuong Ngo-Huu và các cộng sự (2006)	75	-
3	Khung không gian - Tác giả (2014)	75	

Nhận xét:

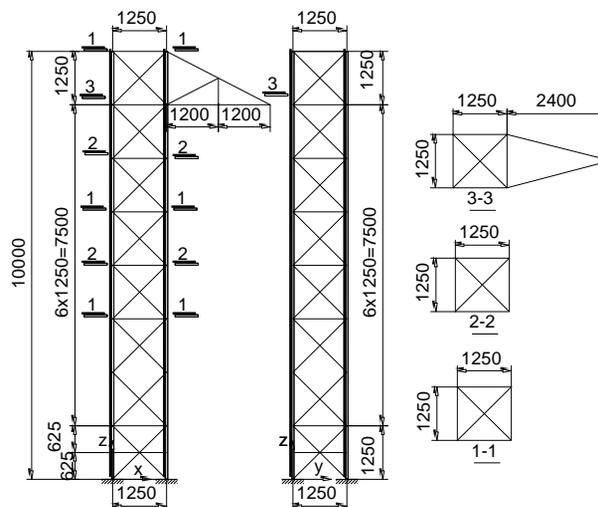
Dựa vào Bảng 5 so sánh kết quả bài toán khung nhà thép hai tầng, một nhịp - chịu tải tập trung tại nút sai lệch lực giới hạn P_u so với phương pháp khớp dẻo thứ của Cuong Ngo-Huu là 3,73%. Đường cong tải trọng - chuyển vị của tác giả cũng khá hợp lý so với kết quả của Cuong Ngo-Huu và Abaqus.

Như vậy, qua hai ví dụ trên có thể kết luận được rằng: sử dụng phương pháp hàm ổn định cho phần tử dầm-cột trình bày tác động phi tuyến hình học và sử dụng phương pháp khớp dẻo cứng trình bày tác động phi tuyến vật liệu mô tả được ứng xử phi đàn hồi bậc hai cho kết khung dầm không gian và khung

dàn không gian của tác giả hoàn toàn chấp nhận được. Và cách phân tích này giúp cho việc khai báo số phần tử trong không gian ít hơn, ít tốn thời gian phân tích rất nhiều.

5.3. Trụ thép đỡ thẳng một tầng xà, cao 10m Sơ bộ chọn tiết diện trụ

Bài toán trụ tháp thép đỡ thẳng một tầng xà, cao 10m có các thông số về vật liệu được thiết kế như sau: Module đàn hồi vật liệu thép $E=200GPa$; Ứng suất chảy dẻo $\sigma_y=248MPa$; hệ số poisson thép $\eta=0,3$. Kích thước hình học $1,25m \times 1,25m \times (8 \times 1,25m)$; Chiều dài đoạn xà $2 \times 1,20m$; Được mô tả như hình:

**Hình 8.** Kích thước hình học trụ thép một tầng xà, cao 10m

Sơ bộ chọn tiết diện cho toàn bộ thanh chân chính của trụ $L70 \times 70 \times 5$; Các thanh giằng ngang, thanh giằng xiên và toàn bộ thanh xà $L45 \times 45 \times 5$. Dây dẫn sử dụng dây

ACSR150/24 có thông số như sau: Diện tích tiết diện $F_d=173,2(mm^2)$; Ứng suất dây dẫn lớn nhất $\sigma_{max} = 19,03(daN/mm^2)$; Khoảng cách trụ 300m.

Bảng 6

Thông số tiết diện bài toán trụ thép đỡ thẳng một tầng xà, cao 10m

Tiết diện	Chiều cao cạnh A (mm)	Chiều rộng cạnh A (mm)	Chiều dày cạnh t (mm)
L70×70×5	90	90	8
L45×45×5	45	45	3

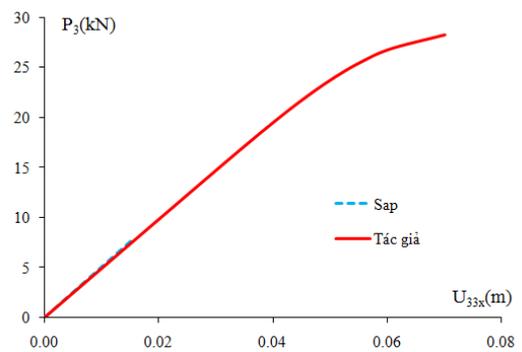
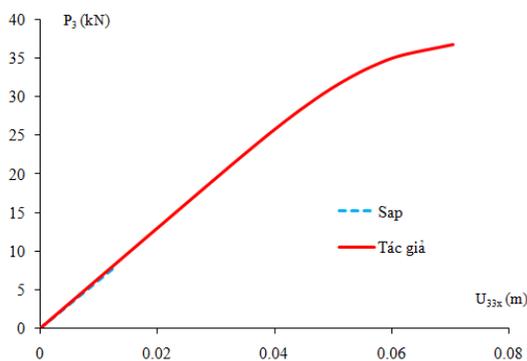
Lực do dây dẫn tác dụng vào trụ:

Chế độ làm việc	P_1 (kN)	P_2 (kN)	P_3 (kN)
Chế độ bình thường	3,3	2,428	-
Chế độ sự cố (đứt dây pha)	2,4	1,214	7,848

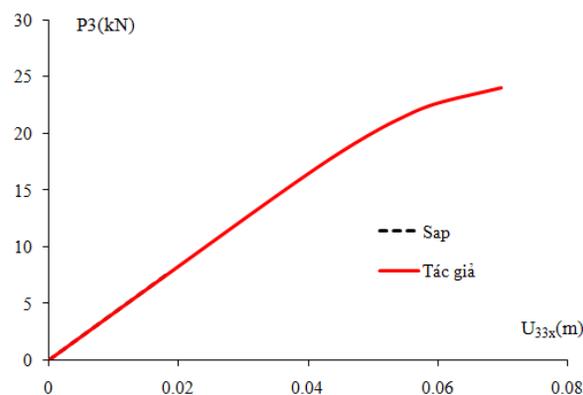
Trong đó, P_1 : trọng lượng dây và sứ đỡ dây dẫn điện; P_2 : lực gió tác dụng vào dây dẫn điện; P_3 : lực căng dây dẫn điện.

Kết quả phân tích trong giai đoạn đàn hồi

khi sử dụng chương trình phân tích nâng cao của tác giả cho trụ thép một tầng xà, cao 10m vùng gió IA, IIA, IIIA so với phần mềm Sap được thể hiện theo sau:



Hình 9. Biểu đồ lực– chuyển vị đầu trụ thép 01 vùng gió IA (IIA), hệ số tải trọng giới hạn $\lambda u=4,4$ ($\lambda u=3,6$)



Hình 10. Biểu đồ lực– chuyển vị đầu trụ thép 01 vùng gió IIIA, hệ số tải trọng giới hạn $\lambda u=3,0$

So sánh chuyển vị giai đoạn đàn hồi vùng gió IA.

- Tác giả $U_{33x} = 0,0125$ (m), SAP $U_{33x} = 0,0121$ (m) → sai số 3,78%.

So sánh chuyển vị giai đoạn đàn hồi vùng gió IIA.

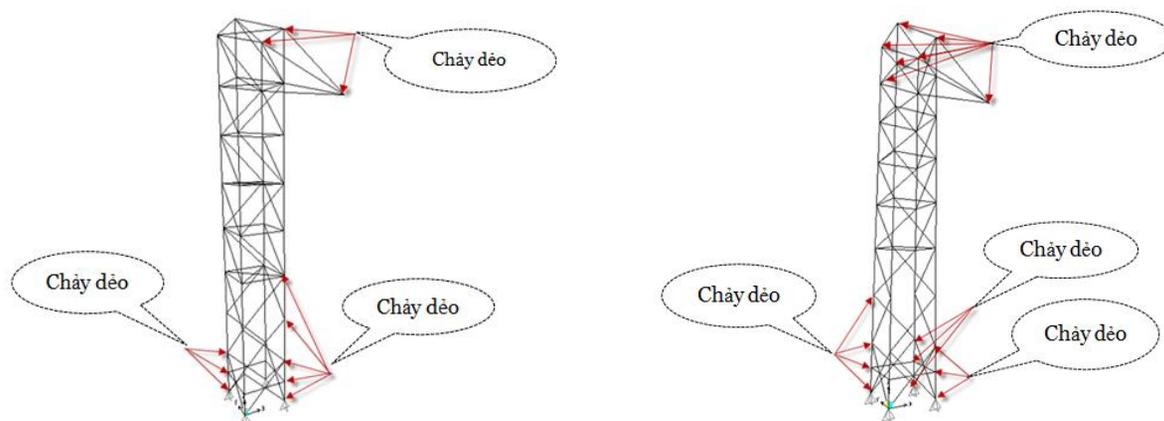
- Tác giả $U_{33x} = 0,0153$ (m), SAP $U_{33x} =$

$0,0160$ (m) → sai số 4,43%.

So sánh chuyển vị giai đoạn đàn hồi vùng gió IIIA.

- Tác giả $U_{33x} = 0,0189$ (m), SAP $U_{33x} = 0,0187$ (m) → sai số 1,46%.

Khảo sát sự chảy dẻo của trụ cho trường hợp tổ hợp tải trọng như sau:



Hình 11. Biểu đồ khảo sát sự chảy dẻo của các tổ hợp tải trọng COMBO1, COMBO2 vùng gió IA

5.4. Trụ thép đỡ thẳng ba tầng xà, cao 23m (ĐT-111-22)

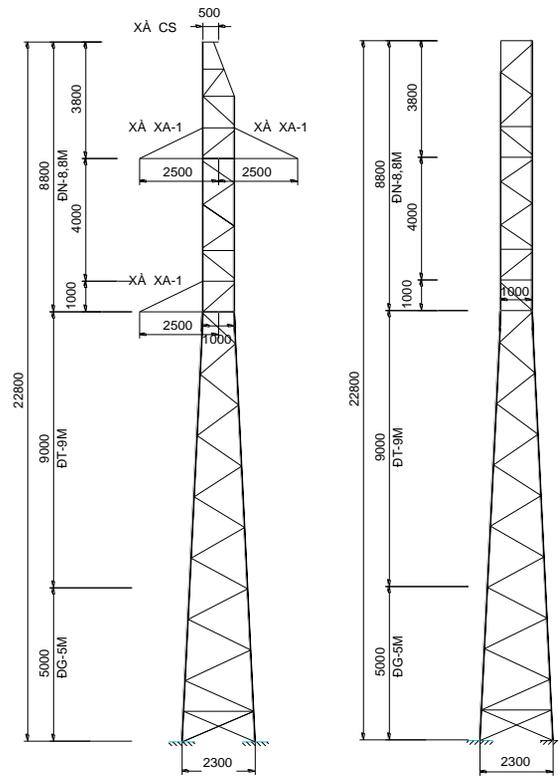
Khảo sát kết cấu trụ thép đỡ thẳng ba tầng xà cao 23m được tác giả trích từ trụ thép đỡ thẳng ĐT-111-22 trong giai đoạn thiết kế bản vẽ thi công “Đường dây 110kV 01 mạch Bảo Lộc-Boxit-Lâm Đồng”.

Bài toán trụ thép tháp đỡ thẳng ba tầng xà, cao 23m có các thông số về vật liệu được thiết kế như sau: Module đàn hồi vật liệu thép $E=200GPa$; Ứng suất chảy dẻo $\sigma_y=248MPa$; hệ số poisson thép $\eta=0,3$. Kích thước hình học được mô tả như hình 17.

Bảng 7

Thông số tiết diện bài toán trụ thép ba tầng xà, cao 23m

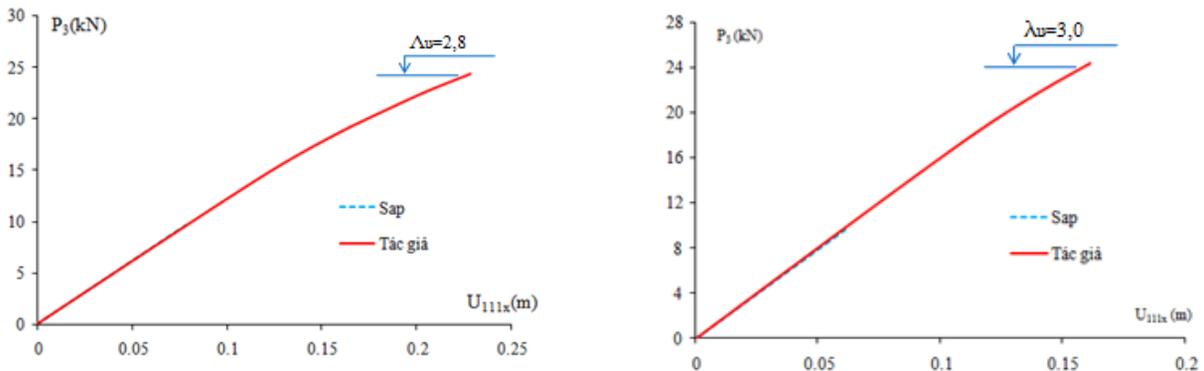
Tiết diện	Chiều cao cạnh A (mm)	Chiều rộng cạnh A (mm)	Chiều dày cạnh t (mm)
L100×100×8	100	100	7
L90×90×7	90	90	7
L80×80×6	80	80	6
L70×70×6	70	70	6
L65×65×5	65	65	5
L60×60×5	60	60	5
L50×50×5	50	50	5



Hình 12. Sơ đồ không gian trụ thép đỡ thẳng ba tầng xà, cao 23m (ĐT-111-22)

Kết quả phân tích trong giai đoạn đàn hồi khi sử dụng chương trình phân tích nâng cao của tác giả cho trụ thép vùng gió IIA so với phần mềm Sap ở tổ hợp tải trọng COMBO1

và trụ thép được thiết kế trong đường dây 110kV 01 mạch Bảo Lộc-Boxit-Lâm Đồng được thể hiện theo bảng sau:



Hình 13. Biểu đồ lực- chuyển vị đầu trụ thép đỡ thẳng ba tầng xà, cao 23m, vùng gió IIA, hệ số tải trọng giới hạn $\lambda_u=2,8$, $\lambda_u=3,0$

So sánh chuyển vị giai đoạn đàn hồi của tác giả:

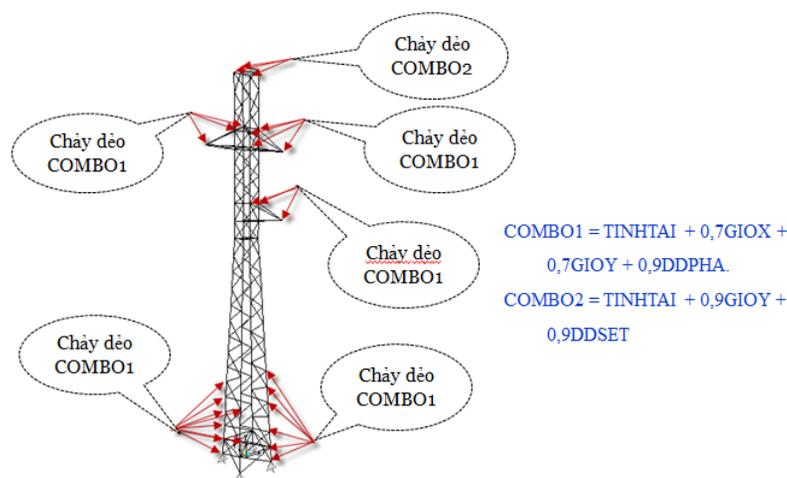
Tác giả $U_{111x} = 0,064$ (m), SAP $U_{111x} = 0,063$ (m) → sai số 1,40%.

So sánh chuyển vị giai đoạn đàn hồi trong thiết kế đường dây 110kV 01 mạch Bảo

Lộc-Boxit-Lâm Đồng:

Tác giả $U_{111x} = 0,060$ (m), SAP $U_{111x} = 0,061$ (m) → sai số 1,77%.

Khảo sát sự chảy dẻo của trụ trong 02 trường hợp tổ hợp tải trọng: COMBO1, COMB2 cho trường hợp tác giả thiết kế.



Hình 14. Biểu đồ lực– chuyển vị đầu trụ thép đỡ thẳng ba tầng xà, cao 23m, vùng gió IIA, hệ số tải trọng giới hạn $\lambda u=2,8$

Khi sử dụng chương trình phân tích nâng cao thì hệ số tải trọng giới hạn của trụ thép đỡ thẳng ba tầng xà, cao 23m là 2,8. Còn với chương trình của tác giả đã mô tả được hết ứng xử của toàn bộ trụ khi chịu tác động từ lực gió và lực căng dây.

6. Kết luận

Từ các kết quả của bài báo, các kết luận được thể hiện như sau:

Từ những quá trình phân tích của các bài toán kiểm tra độ tin cậy của chương trình tác giả ở trên, đặc biệt cho bài toán thiết kế và kiểm tra trụ thép truyền tải điện, một tầng xà, tác giả nhận thấy rằng:

Khi sử dụng phương pháp hàm ổn định cho phần tử dầm-cột để diễn tả tác động phi tuyến hình học và sử dụng phương pháp khớp dẻo để diễn tả tác động phi tuyến vật liệu cho phần tử trong không gian đã mô phỏng được ứng xử phi đàn hồi bậc hai thực tế của các thanh dầm, cột chịu tải trọng tập trung tại nút.

Đối với phương pháp dùng hàm ổn định cho phần tử dầm-cột diễn tả tác động phi tuyến hình học của phần tử trong không gian giúp cho việc khai báo và chia nhỏ phần tử ít hơn, việc giải bài toán tốn ít bộ nhớ và thời gian phân tích rất nhiều.

Vì trụ thép có cấu tạo và sự làm việc trong không gian khá phức tạp nên nếu sử dụng phương pháp đàn hồi không thể hình

dung ứng xử chịu lực của hệ một cách toàn diện được. Phương pháp phân tích nâng cao này đã khắc phục được điều này. Sử dụng hàm ổn định cho phần tử dầm-cột để diễn tả tác động phi tuyến hình học và sử dụng khớp dẻo cứng để diễn tả tác động phi tuyến vật liệu đã diễn tả được sự làm việc của toàn bộ trụ thép, và đã dự đoán được dạng phá hoại và tải trọng giới hạn của trụ thép.

Phạm vi nghiên cứu của đề tài chỉ tập trung phân tích khung thép, trụ thép không gian. Vì vậy, phương pháp này cần được phát triển tiếp theo những hướng sau:

Sử dụng phương pháp phân tích phi tuyến vật liệu theo phương pháp phân tích khớp dẻo thớ hay vùng dẻo để diễn tả chính xác hơn sự chảy dẻo của thép góc trong không gian.

Nghiên cứu phân tích trụ thép chịu tác dụng của tải trọng động, đặc biệt là tải trọng động đất, nhiệt độ, sự làm việc đồng thời của các chế độ dây và gió... mà hiện nay hầu như chưa có nghiên cứu nào.

Áp dụng phương pháp phân tích này cho những trụ phức tạp hơn, nhiều tầng xà, trụ thép néo góc, trụ thép néo rẽ, và trụ thép néo cuối,... không những cho những đường dây 110kV mà còn cho những đường dây 220kV và các trụ cho những đường dây 500kV để hiểu rõ ràng hơn ứng xử của hệ và từ đó nâng cao độ tin cậy của thiết kế ■

Tài liệu tham khảo

- Austrell P-E, Dahlblom O., Lindemann J. và các tác giả (2006). CalfeM – A finite Element Toolbox (version 3.4). *The Division of Structural Mechanics*.
- Al-Bermani G.A, Kitipornchai (1992). Nonlinear analysis of transmission towers. *Engineering Structures*, 14(3), 139-151.
- Al-Bermani and S. Kitipornchai (1993). Nonlinear finite element analysis of latticed transmission towers. *Engineering Structures*, 54(4), 259-269
- Al-Bermani and S. Kitipornchai (1991). Nonlinear analysis of transmission tower. Butterworth-Hememann Ltd.
- Chu Quốc Thắng (1997). *Phương pháp phần tử hữu hạn*. Nhà xuất bản Khoa học và Đại học Kỹ thuật.
- Chen W.F., Lui E.M. (1987). Structural Stability – Theory and Implementation. *Elsevier*.
- Cuong Ngo-Huu, Seung-Eock Kim, Jung-Ryul Oh. (2006). Nonlinear analysis of space steel frames using fiber plastic hinge concept. ScienceDirect.
- Kitipornchai S., Zhu K., Xiang Y. and Al-Bermamani F.G.A. (1991). Single-equation yield surfaces for monosymmetric and asymmetric sections. *Engineering Structures*, 13(4).
- Kitipornchai S., Al-Bermani (1992). Nonlinear analysis of lattice structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 23(1-3), 209-225.
- Prasad Rao N., Samuel Knight G.M., Mohan S.J., Lakshmanan N. (2012). Studies on failure of transmission line tower in testing. *Engineering Structures*, 35,(1-322).
- Nhà xuất bản xây dựng. TCXDVN 5575-2012. *Kết cấu thép-Tiêu chuẩn thiết kế*.
- Nhà xuất bản xây dựng. TCVN 2737-1995. *Tải trọng và tác động-Tiêu chuẩn thiết kế*.