

Tính toán khả năng chịu lực của cột bê tông cốt thép có tiết diện hình chữ nhật sử dụng mô hình phi tuyến vật liệu theo TCVN 5574:2018

Thạch Sôm Sô Hoách^{1*}, Lê Quốc Tiến¹, Lê Thị Thu Hằng¹

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại Học Xây dựng Miền Tây

TỪ KHOẢ

Cột bê tông cốt thép
 Khả năng chịu lực
 Biểu đồ tương tác
 Mô hình phi tuyến của vật liệu
 Mặt cắt ngang hình chữ nhật

TÓM TẮT

Cấu kiện cột bê tông cốt thép đóng vai trò quan trọng để truyền tải trọng công trình xuống móng. Trong bài viết này, tác giả lập trình tính toán khả năng chịu tải của cột nén lệch tâm xiên có tiết diện hình chữ nhật dựa trên biểu đồ tương tác sử dụng mô hình phi tuyến của vật liệu theo TCVN 5574:2018. Ứng suất nén của bê tông được tính toán theo sơ đồ ba đoạn thẳng và ứng suất trong cốt thép được xác định từ biến dạng theo sơ đồ hai đoạn thẳng. Lập trình VBA trong Excel được sử dụng để tính toán và thể hiện các mặt phẳng đứng của biểu đồ tương tác. Một số ví dụ được triển khai và so sánh với dữ liệu từ ETABS phiên bản 2019 để đánh giá độ chính xác của chương trình.

KEYWORDS

Reinforced concrete columns
 Load-bearing capacity
 Interaction chart
 Non-linear material models
 Rectangular cross-sections

ABSTRACT

Reinforced concrete columns play an important role to transfer the loads to the building foundation. In the paper, the author programs to calculate the load-bearing capacity of bi-axially loaded members with rectangular sections based on the interaction chart method by using non-linear material models in TCVN 5574:2018. The compressing stresses of concrete are calculated according to the trilinear diagram, and the stresses in reinforcement are determined due to strains according to the bilinear diagram. VBA programming in Excel is used to calculate and represent vertical planes of interactive charts. Some examples are implemented and compared with the data from ETABS version 2019 to evaluate the accuracy of the program.

1. Đặt vấn đề

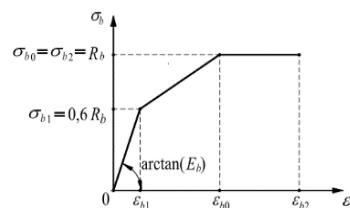
Hiện nay việc tính toán thiết kế kết cấu bê tông cốt thép theo TCVN 5574:2018 đã thay thế cho TCVN 5574:2012. Mặc dù được ban hành năm 2018 nhưng việc tính toán thiết kế theo tiêu chuẩn này vẫn còn gặp nhiều khó khăn, do còn thiếu những tài liệu hướng dẫn tính toán cụ thể. Nhất là việc tính toán kiểm tra khả năng chịu lực của cột chịu nén lệch tâm xiên khó có thể giải chính xác bằng phương pháp giải tích, do vùng bê tông chịu nén có hình dạng phức tạp. Trong thiết kế hiện nay chủ yếu thường dùng các phần mềm nhập khẩu như Etabs, Prokon, Csicol... tuy nhiên nhiều phần mềm nhập khẩu chưa có tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam TCVN 5574:2018 [9]. Có khá nhiều đề tài trong nước nghiên cứu tính toán cấu kiện chịu nén lệch tâm xiên theo tiêu chuẩn Việt Nam [1,2,3,4,5]. Các nghiên cứu này đa phần theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2012. Có rất ít đề tài, tài liệu hướng dẫn tính toán theo TCVN 5574:2018 [4,5]. Từ những vấn đề trên, tác giả tiến hành xây dựng chương trình tính toán kiểm tra khả năng chịu lực của cấu kiện bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm xiên có tiết diện hình chữ nhật theo mô hình biến dạng phi tuyến của vật liệu dựa trên tiêu chuẩn TCVN 5574:2018. Chương trình được viết bằng lập trình VBA trên nền Microsoft Excel, kiểm chứng so sánh với phần mềm Etabs phiên bản 2019 [6]. Chương trình tính toán được xây dựng có

thể hỗ trợ việc thiết kế cột bê tông cốt thép có tiết diện hình chữ nhật an toàn và hợp lý.

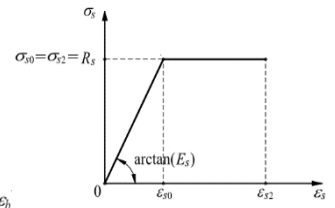
2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Mô hình vật liệu phi tuyến theo TCVN 5574:2018 [9]

TCVN 5574:2018 [9] có những cải tiến so với TCVN 5574:2012 [8] là đã đưa ra một cách tường minh các đường cong quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu bê tông và cốt thép, được đơn giản hóa theo các mô hình vật liệu phi tuyến dạng hai đoạn thẳng (MH2ĐT) và ba đoạn thẳng (MH3ĐT) có thể dễ dàng áp dụng trong thực tế. Trong bài viết này tác giả chỉ trình bày và áp dụng dạng MH3ĐT đối với vật liệu bê tông và MH2ĐT đối với cốt thép (Hình 1 và Hình 2).



Hình 1. MH3ĐT đối với vật liệu bê tông.



Hình 2. MH2ĐT đối với vật liệu cốt thép.

*Liên hệ tác giả: mtthoach@gmail.com

Nhận ngày 25/11/2021, sửa xong ngày 08/12/2021, chấp nhận đăng 26/05/2022

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2022.376>

MH3ĐT của bê tông được biểu diễn qua các biểu thức:

Khi $0 \leq \epsilon_b < \epsilon_{b1}$ $\sigma_b = \epsilon_b E_b$ (1)

Khi $\epsilon_{b1} \leq \epsilon_b < \epsilon_{b0}$ $\sigma_b = \left[\left(1 - \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right) \left(\frac{\epsilon_b - \epsilon_{b1}}{\epsilon_{b0} - \epsilon_{b1}} \right) + \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right] R_b$ (2)

Khi $\epsilon_{b0} \leq \epsilon_b < \epsilon_{b2}$ $\sigma_b = R_b$ (3)

Trong đó: $\epsilon_{b0} = 0,002; \sigma_{b1} = 0,6R_b; \epsilon_{b1} = \frac{\sigma_{b1}}{E_b}; \epsilon_{b2} = 0,0035$ đối

với bê tông nặng có cấp cường độ không lớn hơn B60.

TCVN 5574:2018 khuyến cáo nên sử dụng MH2ĐT cho cốt thép có giới hạn chảy thực tế CB240-T, CB300-T, CB300-V, CB400-V và CB500-V. MH2ĐT của cốt thép được biểu diễn qua các biểu thức:

Khi $0 \leq \epsilon_s < \epsilon_{s0}$ $\sigma_s = \epsilon_s E_s$ (4)

Khi $\epsilon_{s0} \leq \epsilon_s < \epsilon_{s2}$ $\sigma_s = R_s$ (5)

Trong đó: $\epsilon_{s0} = R_s/E_s; \epsilon_{s2} = 0,0025$.

2.2. Các giả thiết tính toán [5,9]

- Tiết diện là phẳng trước và sau biến dạng. Giả thiết được sử dụng để tính toán cấu kiện chịu uốn, nén uốn, dựa trên giả thiết này có thể tính toán biến dạng tại một điểm bất kỳ trên tiết diện theo biến dạng lớn nhất của bê tông vùng nén và cốt thép trong vùng kéo.

- Bỏ qua khả năng chịu kéo của bê tông.

- Hiện tượng oằn và xoắn của cột được bỏ qua khi phân tích.

2.3. Các bước tính toán xây dựng mặt biểu đồ tương tác kiểm tra khả năng chịu lực của cột bê tông cốt thép tiết diện hình chữ nhật [5]

+ Bước 1: Dữ liệu đầu vào: Kích thước mặt cắt ngang cột $C_x \times C_y$, bố trí thép cột, các thông số vật liệu, các giá trị nội lực N, M_x, M_y . Chọn đỉnh nén là một trong các đỉnh của tiết diện.

+ Bước 2: Tính toán các thông số:

$e_{0x} = \max(M_y/N; H/600; C_x/30; 1 \text{ cm})$
 $e_{0y} = \max(M_x/N; H/600; C_y/30; 1 \text{ cm})$ (6)

$k_{bx} = \frac{0.15}{\varphi_{Lx}(0.3 + \delta_{ex})}; k_{by} = \frac{0.15}{\varphi_{Ly}(0.3 + \delta_{ey})}$ (7)

Trong đó $\varphi_{Lx}, \varphi_{Ly}$ - hệ số xét đến ảnh hưởng của tải trọng tác dụng dài hạn, lấy không lớn hơn 2; $\delta_{ex} = e_{0x}/C_x, \delta_{ey} = e_{0y}/C_y$ lấy không nhỏ hơn 0,15 và không lớn hơn 1,5.

Độ cứng của cấu kiện:

$D_x = k_{bx} E_b I_{bx} + k_s E_s I_{sx}$
 $D_y = k_{by} E_b I_{by} + k_s E_s I_{sy}$ (8)

Trong đó E_b, E_s lần lượt là mô đun đàn hồi của bê tông và cốt thép.

$I_{bx}, I_{by}, I_{sx}, I_{sy}$ lần lượt là mô men quán tính theo hai phương x, y của diện tích tiết diện lấy lần lượt đối với bê tông và toàn bộ cốt thép dọc.

Lực tới hạn quy ước:

$N_{crx} = \frac{\pi^2 D_x}{L_{0x}}; N_{cry} = \frac{\pi^2 D_y}{L_{0y}}$ (9)

Với L_{0x}, L_{0y} lần lượt là chiều dài tính toán của cột theo hai phương x, y.

Hệ số kể đến ảnh hưởng uốn dọc:

$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{crx}}}; \eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cry}}}$ (10)

Mô men khi kể đến ảnh hưởng uốn dọc:

$M_x^* = N e_{0x} \eta_x; M_y^* = N e_{0y} \eta_y$ (11)

M_x^*, M_y^* lần lượt là mô men uốn xoay xung quanh trục x và y khi kể đến ảnh hưởng uốn dọc. Gọi $\tan \alpha = M_x^*/M_y^*$.

Giá trị lực dọc giới hạn:

$N_u = \varphi [R_b (A_b - A_{s,tot}) + R_{sc} A_{s,tot}]$ (12)

R_b, R_{sc} lần lượt là cường độ chịu nén tính toán của bê tông và cốt thép.

$A_b, A_{s,tot}$ lần lượt là diện tích tiết diện bê tông và diện tích toàn bộ cốt thép dọc.

φ - hệ số phụ thuộc độ mảnh cột, khi có tải trọng ngắn hạn được xác định theo quy luật tuyến tính với $\varphi = 0,9$ khi $L_0/\max(C_x, C_y) = 10$ và $\varphi = 0,85$ khi $L_0/\max(C_x, C_y) = 10$.

+ Bước 3: Chia nhỏ phần tử cột, trong phạm vi bài viết tác giả chia nhỏ các phần tử theo hai phương thành $n = 20$ phần, mỗi phần tử có kích thước theo phương x và phương y lần lượt là $dx = C_x/20$ và $dy = C_y/20$. Từ đó dễ dàng xác định các tọa độ x_i, y_j của mỗi phần tử bê tông và các tọa độ x_k, y_k của các thanh cốt thép.

+ Bước 4: Giả thiết trục trung hòa là đường thẳng có phương trình $y = ax + b$ hay $ax - y + b = 0$ với hệ số góc $a = -1/\tan \alpha$ và hệ số b thay đổi.

Khoảng cách từ đỉnh nén có tọa độ (X, Y) đến trục trung hòa:

$d_0 = \frac{|ax - Y + b|}{\sqrt{a^2 + 1}}$ (13)

Khoảng cách từ phần tử bê tông có tọa độ (x_i, y_j) và thanh cốt thép có tọa độ (x_k, y_k) đến trục trung hòa lần lượt là:

$d_{ij} = \frac{|ax_i - y_j + b|}{\sqrt{a^2 + 1}}; d_k = \frac{|ax_k - y_k + b|}{\sqrt{a^2 + 1}}$ (14)

+ Bước 5: Từ kết quả tính toán ở bước 4 và mục 2.1, ứng với mỗi vị trí của trục trung hòa, xác định được biến dạng của phần tử được tính toán từ biến dạng cực đại của bê tông tại đỉnh nén: $\epsilon_{ij} = \left(\frac{d_0 - d_{ij}}{d_0} \right) \epsilon_{b2}$ (15)

Từ công thức (15) xác định được biến dạng và ứng suất trong các phần tử bê tông và các thanh cốt thép (Hình 3): $\epsilon_{bij}, \epsilon_{sk}, \sigma_{bij}, \sigma_{sk}$ (trong tính toán bỏ qua ứng suất kéo của bê tông).

+ Bước 6: Tính toán xác định tọa độ của biểu đồ tương tác

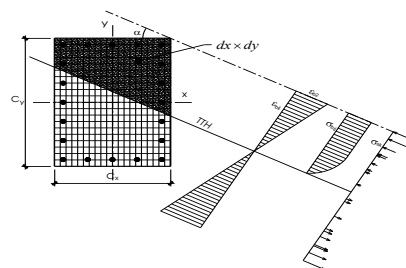
$N = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{bij} dx dy + \sum_{k=1}^m A_{sk} (f_{sk} - \sigma_{sk}) + \sum_{k=1}^p A_{sk} f_{sk}$ (16)

$M_x = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\sigma_{bij} dx dy) y_j + \sum_{k=1}^m A_{sk} (f_{sk} - \sigma_{sk}) y_k + \sum_{k=1}^p A_{sk} f_{sk} y_k$ (17)

$M_y = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\sigma_{bij} dx dy) x_i + \sum_{k=1}^m A_{sk} (f_{sk} - \sigma_{sk}) x_k + \sum_{k=1}^p A_{sk} f_{sk} x_k$ (18)

$M^* = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$ (19)

Trong đó i, j là các chỉ số xác định phần tử bê tông chịu nén, k là chỉ số xác định vị trí thanh thép thứ k , m là số thanh thép thuộc vùng chịu nén, p là số thanh thép thuộc vùng chịu kéo, f_{sk} là ứng suất của cốt thép, σ_{sk} là ứng suất kéo của cốt thép nằm trong vùng chịu nén.



Hình 3. Sơ đồ ứng suất biến dạng của các phần tử bê tông và cốt thép.

+ Bước 7: Thể hiện mặt phẳng đứng của biểu đồ tương tác có gốc tọa độ $O(0,0)$ (mặt phẳng này tạo với mặt zOx một góc α), trục hoành thể hiện khả năng chịu lực M^* , trục tung thể hiện khả năng chịu lực N . Xác định vị trí điểm $A(M,N)$ với N là lực dọc trong cột và giá trị $M = \sqrt{(M_x^*)^2 + (M_y^*)^2}$ với M_x^*, M_y^* được tính toán như công thức (11). Đường OA cắt biểu đồ tương tác tại B, hệ số khả năng chịu lực được tính toán:

$$C_p = \frac{OB}{OA} \quad (20)$$

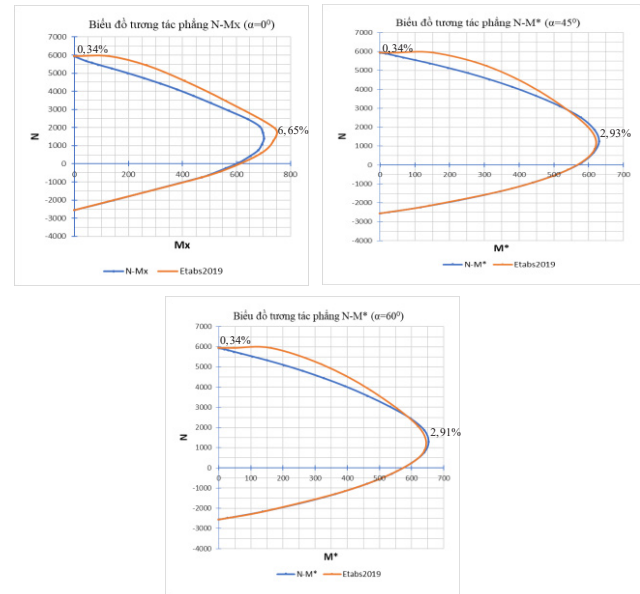
Nếu $C_p \geq 1$ kết luận cột đảm bảo khả năng chịu lực và ngược lại nếu $C_p < 1$ cột không đảm bảo khả năng chịu lực cần tăng cường cốt thép hoặc tiết diện bê tông.

3. Kết quả và thảo luận

Dựa vào các cơ sở lý thuyết tính toán nêu trên, tác giả đã lập chương trình sử dụng VBA trên nền Excel để thể hiện biểu đồ tương tác xác định khả năng chịu lực của cột chịu nén lệch tâm xiên có tiết diện hình chữ nhật.

Tác giả đã kiểm chứng độ chính xác của chương trình bằng cách so sánh với phần mềm Etabs 2019 cho hai loại cột có tiết diện hình chữ nhật và hình vuông. Do TCVN 5574:2018 [9] được xây dựng dựa trên tiêu chuẩn SP63.13330.2012 [7] và trong Etabs 2019 mới chỉ có TCVN 5574:2012 [8], nên tác giả sử dụng tiêu chuẩn SP63.13330.2012 và vật liệu theo TCVN 5574:2012 có sẵn trong phần mềm để làm công cụ kiểm chứng.

+ **Ví dụ 1:** Cho cột tiết diện hình chữ nhật có kích thước $C_x = 600\text{ mm}, C_y = 900\text{ mm}$, chiều dài tính toán của cột $l_0 = 4200\text{ mm}$, cột làm bằng vật liệu bê tông có cấp cường độ B20, thép dọc chịu lực bố trí theo phương cạnh C_x là 6 thanh thép $\phi 25$, theo phương cạnh C_y là 9 thanh thép $\phi 25$, loại thép CB300-V, chiều dày lớp bê tông bảo vệ $a_0 = 30\text{ mm}$. Nội lực tính toán: $N = 6500\text{ kN}, M_x = 250\text{ kNm}, M_y = 400\text{ kNm}$. Cho $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ so sánh với phần mềm Etabs 2019, được các kết quả như Hình 4.



Hình 4. So sánh biểu đồ tương tác cột tiết diện hình chữ nhật 600×900 với phần mềm Etabs (Các sai số tại các vị trí đã ghi chú trên hình).

Hình 5. So sánh biểu đồ tương tác cột tiết diện hình vuông 600×600 với phần mềm Etabs (Các sai số tại các vị trí đã ghi chú trên hình).

+ **Ví dụ 2:** Cho cột tiết diện hình chữ nhật có kích thước $C_x = 600\text{ mm}, C_y = 600\text{ mm}$, chiều dài tính toán của cột $l_0 = 4200\text{ mm}$, cột làm bằng vật liệu bê tông có cấp cường độ B20, thép dọc chịu lực bố trí theo phương cạnh C_x là 6 thanh thép $\phi 25$, theo phương cạnh C_y là 6 thanh thép $\phi 25$, loại thép CB300-V, chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép $a_0 = 30\text{ mm}$.

Nội lực tính toán: $N = 4000\text{ kN}, M_x = 300\text{ kNm}, M_y = 350\text{ kNm}$.

Xác định được $N_u = 5921.68\text{ kN}, M_x^* = 250\text{ kNm}, M_y^* = 433\text{ kNm}$.

Cho $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ so sánh với phần mềm Etabs 2019, được các kết quả như hình 5.

+ Nhận xét:

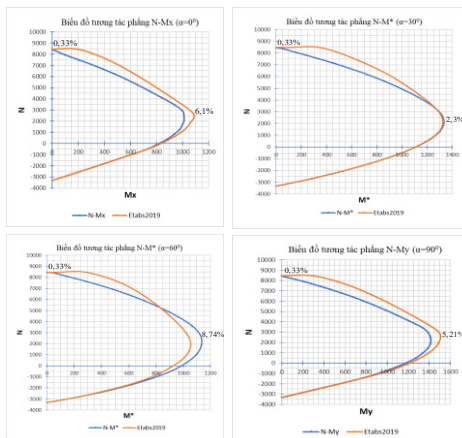
- Đối với cột có tiết diện hình chữ nhật 600×900 : điểm giao với trục tung chương trình cho kết quả gần như trùng hợp với phần mềm Etabs với sai số 0.33%. Tại vị trí có mô men lớn nhất sai số giữa chương trình với Etabs lớn nhất là 8.74%.

- Đối với cột có tiết diện hình vuông 600×600 : điểm giao với trục tung chương trình cho kết quả gần như trùng hợp với phần mềm Etabs với sai số 0.34%. Tại vị trí có mô men lớn nhất sai số giữa chương trình với Etabs lớn nhất là 6.65%.

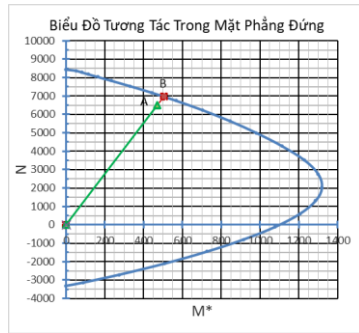
- Đối với cả hai ví dụ trên phần lớn đường cong tương tác của chương trình nằm dưới đường cong tương tác của Etabs 2019, do đó chương trình sẽ cho kết quả an toàn hơn.

- Qua hai ví dụ để kiểm chứng so với phần mềm Etabs 2019 cho thấy chương trình có thể tin cậy được để thực hành tính toán xác định khả năng chịu lực của cấu kiện cột chịu nén lệch tâm xiên.

+ Tính toán xác định khả năng chịu lực:

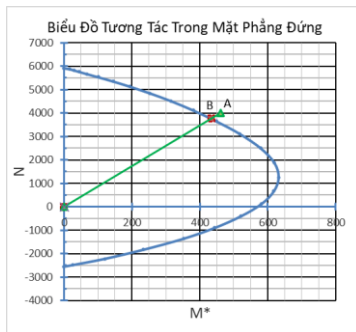


- Số liệu trong ví dụ 1: tính toán được hệ số $C_p = \frac{OB}{OA} = 1.071$, cột đảm bảo khả năng chịu lực (Hình 6).



Hình 6. Xác định khả năng chịu lực cột tiết diện chữ nhật – Ví dụ 1.

- Số liệu trong ví dụ 2: tính toán được hệ số $C_p = \frac{OB}{OA} = 0.94$, cột không đảm bảo khả năng chịu lực (Hình 7).



Hình 7. Xác định khả năng chịu lực cột tiết diện vuông – Ví dụ 2.

4. Kết luận

Các phương pháp tính toán cấu kiện bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm xiên như giải tích hay quy nén lệch tâm phẳng tương đương cho kết quả có độ chính xác còn hạn chế. Hiện nay, với sự trợ giúp của máy tính và phương pháp biểu đồ tương tác, tác giả đã lập chương trình để tính toán xác định khả năng chịu lực của cấu kiện BTCT chịu nén lệch tâm xiên có tiết diện hình chữ nhật theo TCVN 5574:2018. Chương trình đã được kiểm chứng tính đúng đắn bằng cách so sánh kết quả với phần mềm Etabs 2019.

Tài liệu tham khảo

[1] N.Đ. Cống, *Tính toán tiết diện cột bê tông cốt thép*, 2006, NXB Xây Dựng, Hà Nội.
 [2] N.T.N. Loan, *Tính toán cột chịu nén lệch tâm xiên bằng phương pháp gần đúng, kết hợp với biểu đồ tương tác theo TCVN 5574 :2012*, 2016, Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng.
 [3] L.H. Sơn, *Nghiên cứu phương pháp thiết kế cấu kiện bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm xiên, Luận văn thạc sỹ kỹ thuật*, 2006, Đại học Xây Dựng Hà Nội.
 [4] N.V. Phương, V. Sykhampha và N.T. Thắng, *Xác định khả năng chịu lực của cột bê tông cốt thép sử dụng các mô hình vật liệu phi tuyến của TCVN*

5574 :2018, 2020, Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng NUCE 14 (3V): p.93-107.

[5] T.V. Tâm, P.T. Tùng, N.T. Ninh và P.N. Vương, *Xây dựng phần mềm tính toán khả năng chịu lực của cấu kiện bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm xiên có tiết diện bất kỳ theo TCVN 5574 :2018*, 2019, Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng NUCE 13 (4V): p.47-57.
 [6] Computer and Structure Incorporation, *Reference manual for Etabs 2019*, Bekery University, USA.
 [7] SP 63.13330.2012, *Concrete and reinforced concrete structures – Design requirements*, Viện tiêu chuẩn Nga.
 [8] TCVN 5574:2012, *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*, 2012, Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
 [9] TCVN 5574:2018, *Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*, 2018, Viện khoa học Công nghệ Xây dựng – Bộ Xây dựng.