

Ổn định tổng thể của cột thép chữ I vát một lần

Global stability for tapered columns with I-shaped cross section

Hoàng Ngọc Phương

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu một cách tính toán đơn giản để sử dụng trong thực hành đối với việc tính toán ổn định tổng thể cho cột có tiết diện chữ I, vát một lần, theo tài liệu của Nga và một số tài liệu khác.

Từ khóa: ổn định tổng thể, cột vát

Abstract

This paper presents a simple calculation for practical use in calculating the global stability for tapered columns with I-shaped cross section, according to a Russian references and others.

Key words: Global stability, tapered columns

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, hầu hết kết cấu thép nhẹ ở Việt Nam được thiết kế với cấu kiện xà và cột vát có tiết diện chữ I tổ hợp hàn, loại kết cấu này đã chứng tỏ được ưu điểm vượt trội về việc bố trí vật liệu phù hợp với biểu đồ mô men uốn trong khung, nhằm mục đích tiết kiệm vật liệu thép, giảm nhẹ trọng lượng bản thân.

Theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép của Việt Nam TCVN 5575:2012, mới chỉ đề cập đến việc tính toán ổn định tổng thể cho các cấu kiện chịu nén như cột tiết diện không đổi, cột bậc. Với loại cột tiết diện thay đổi mới chỉ dừng lại ở việc xác định chiều dài tính toán của cột đứng độc lập, tức là chưa xét đến ảnh hưởng của độ cứng cấu kiện xà liên kết vào cột. Một số tài liệu trong nước chỉ đề cập đến tính toán khung có cột tiết diện không đổi, xà vát. Tuy nhiên, vẫn còn hạn chế bởi việc thừa nhận một số giả thiết chưa hợp lý như lấy độ cứng của xà tại vị trí đầu xà liên kết vào cột để tính toán ổn định cho cột, trong khi các tiết diện khác ở xà lại nhỏ hơn...

Bên cạnh đó, các tiêu chuẩn thiết kế, tài liệu tham khảo ở một số nước đã đưa ra cách tính toán ổn định tổng thể cho cột chữ I vát một lần. Do đó, trong phạm vi bài báo này, dựa trên tài liệu của Nga và một số tài liệu khác đề cập tính toán ổn định cột chữ I vát một lần, đây là các tính đơn giản, dễ hiểu và có ý nghĩa trong thực hành thiết kế.

2. Chiều dài tính toán của cột

2.1. Chiều dài tính toán của cột trong mặt phẳng khung

Việc xác định chiều dài tính toán của cột trong mặt phẳng khung một cách chính xác thực chất là bài toán phân tích ổn định khung. Do bài toán phân tích ổn định khung khá phức tạp nên để đơn giản trong quá trình tính toán, khi xác định chiều dài tính toán của cột xét đến một số giả thiết sau: bỏ qua ảnh hưởng của mô men uốn, lý tưởng hóa liên kết ở đầu trên của cột và tách riêng cột thành cấu kiện riêng lẻ (không kể đến sự làm việc không gian của nhà), lực dọc đặt tại đầu đoạn cột.

a) Cột có tiết diện không đổi

Chiều dài tính toán trong mặt phẳng khung xác định theo công thức sau:

$$l_x = \mu_x \cdot H \quad (1)$$

trong đó: H - chiều dài hình học của cột;

μ_x - hệ số chiều dài tính toán của cột tính đối với trục x-x.

Khi xà liên kết cứng với cột và:

chân cột liên kết khớp với móng:

$$\mu_x = 2\sqrt{1 + \frac{0,38}{n}} \quad (2)$$

chân cột liên kết ngàm với móng:

$$\mu_x = \sqrt{\frac{n+0,56}{n+0,14}} \quad (3)$$

$$\text{với khung một nhịp: } n = \frac{i_{xa}}{i_{cot}} = \frac{I_{xa}}{L} \frac{H}{I_{cot}};$$

$$\text{với khung nhiều nhịp: } n = \frac{kH}{(k+1)I_{cot}} \left(\frac{I_{xa,1}}{L_1} + \frac{I_{xa,2}}{L_2} \right)$$

trong đó: k - số lượng nhịp khung; $i_{xa,1}$, $i_{xa,2}$, L_1 , L_2 - tương ứng là mô men quán tính của tiết diện xà ngang và chiều dài nhịp ở hai phía của cột đang xét.

Khi khung có cột tiết diện không đổi, chân cột liên kết ngàm với móng, xà ngang vát: gần đúng coi xà có độ dốc nhỏ ($\alpha \leq 23^\circ$) là cấu kiện nằm ngang [5], hệ số chiều dài tính toán μ_x xác định theo công thức (3).

ThS. Hoàng Ngọc Phương

Bộ môn Kết cấu Thép- Gỗ,

Khoa Xây dựng

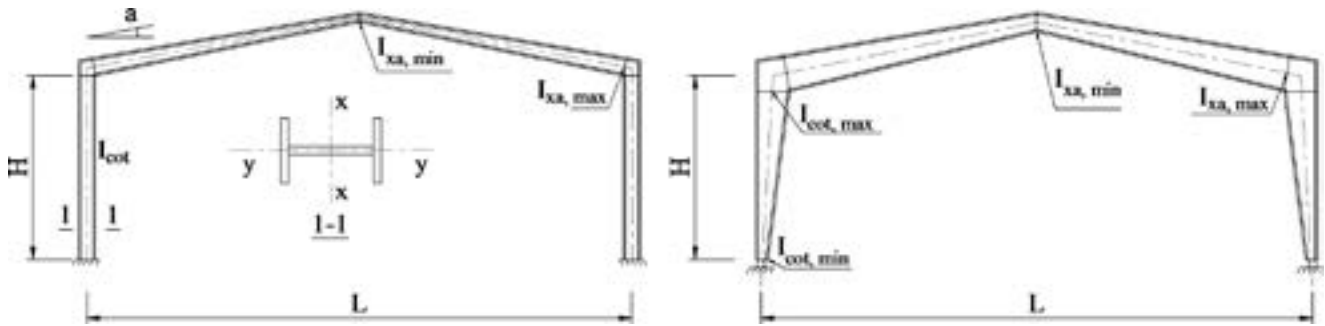
Email: hoangngocphuongkt@gmail.com

ĐT: 0968 567 234

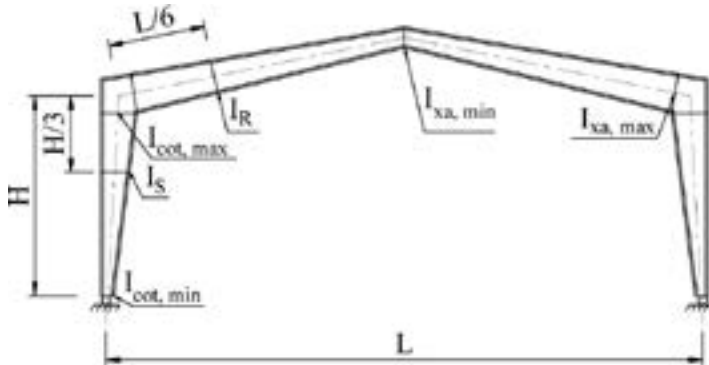
Ngày nhận bài: 8/05/2019

Ngày sửa bài: 23/05/2019

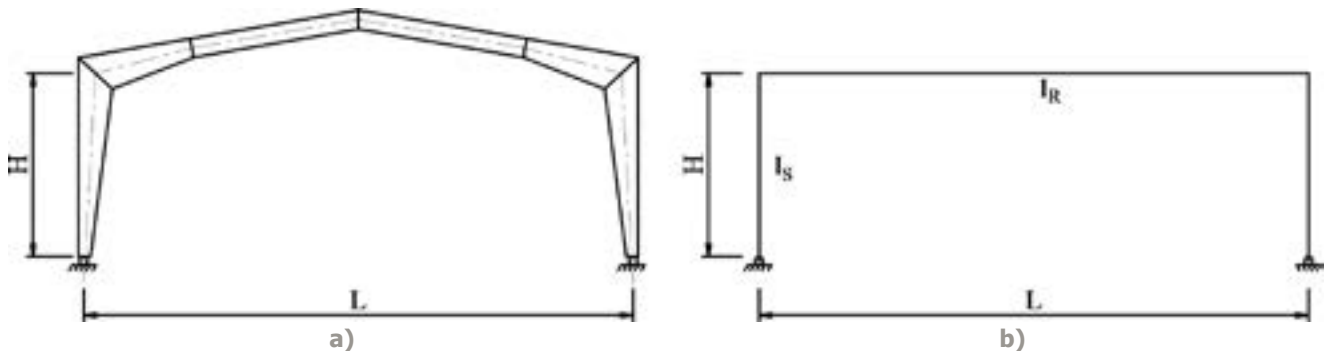
Ngày duyệt đăng: 31/03/2021



Hình 1. Các sơ đồ liên kết chân cột đối với nhà một nhịp



Hình 2. Khung một tầng một nhịp, chân cột liên kết khớp



Hình 3. Sơ đồ tính khung tương đương

Tuy nhiên, việc xác định μ_x như trên chỉ đúng trong trường hợp xà có tiết diện không đổi.

b) Cột có tiết diện thay đổi (cột vát một lần)

Khi khung có cột vát, xà vát: để tìm μ_x , cần phải giải bài toán ổn định của khung, do độ cứng của các tiết diện xà, cột thay đổi nên bài toán này rất phức tạp. Tiêu chuẩn Việt Nam [3] đưa ra cách tính μ_x của cột tiết diện thay đổi đứng độc lập bằng cách nhân thêm hệ số chiều dài tính toán bổ sung μ_1 với hệ số chiều dài tính toán μ , khi coi cột có tiết diện không đổi, vậy:

$$\mu_x = \mu \cdot \mu_1 \quad (4)$$

Đối với khung một nhịp

Với khung một nhịp, chân cột tựa khớp:

$$\mu = 2 \sqrt{1 + \frac{0,38}{n}} \quad \text{trong đó } n = \frac{i_R}{i_S} = \frac{I_R}{I_S} \frac{H}{L}$$

I_S và I_R là mô men quán tính tương đương của cột và xà (hình 3b). Khi xác định I_S và I_R phải tính theo trạng thái ứng suất biến dạng của cấu kiện khung, ứng với lúc khung bị mất

ổn định. Vì cột và xà là hai cấu kiện có tiết diện thay đổi do đó để đơn giản cho quá trình tính toán có thể lấy đặc trưng hình học của tiết diện tương đương tại vị trí cách mép trong của nách khung 1/3 chiều dài cấu kiện [6], được thể hiện ở hình 2.

Mặt khác, có thể xác định mô men quán tính tương đương của xà vát một lần tiết diện chữ I [5], theo công thức:

$$I_R = (0,2 + 0,2\alpha_1^{-0,5} + 0,6\alpha_1^{-0,25}) I_{xa,max} \quad (5)$$

trong đó: $\alpha_1 = I_{xa,max} / I_{xa,min} \geq 1$; $I_{xa,max}$ và $I_{xa,min}$ – mô men quán tính của tiết diện xà chữ I, tương ứng ở vị trí tiết diện lớn và nhỏ.

Đối với xà được làm từ nhiều đoạn có tiết diện thay đổi (hình 3a), mô men quán tính tương đương của xà có thể được xác định theo một số công thức khá phức tạp mà một số tác giả trên thế giới đã nghiên cứu. Tuy nhiên, trong phạm vi bài báo này chỉ đề cập đến trường hợp xà vát một lần.

μ_1 – hệ số chiều dài tính toán bổ sung, xác định như đối với thanh chịu nén có tiết diện thay đổi. Hệ số μ_1 được xác định:

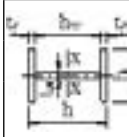
Bảng 1. Xác định hệ số μ_1 [6]

$c=I_{cot,min}/I_{cot,max}$	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
μ_1	2,0	1,65	1,44	1,24	1,13	1,02	1,00

Bảng 2. Góc xoay tương đối của đầu xà $\bar{\varphi}$ [6]

k	1	2	3	4	5	8
$\bar{\varphi}$	1,0	1,67	1,53	1,5	1,49	1,49

Bảng 3. Đặc trưng hình học của các tiết diện xà và cột

Tiết diện	vị trí	h (cm)	b_f (cm)	t_f (cm)	h_w (cm)	t_w (cm)	I_x (cm ⁴)
Ban đầu	chân cột	20	20	1	18	0,7	3953,5
	đỉnh cột	50	20	1	48	0,7	30464,5
	đầu xà	50	20	1	48	0,7	30464,5
	đỉnh xà	20	20	1	18	0,7	3953,5
Tiết diện tương đương	tiết diện cột (tại $z=2H/3$)	40	20	1	38	0,7	18414,2

$$\mu_1 = \frac{2}{\sqrt{1+3c}} \quad (6)$$

hoặc tra bảng phụ thuộc vào tỉ số $c=I_{cot,min}/I_{cot,max}$ [6], với:

$I_{cot,min}$, $I_{cot,max}$ - mô men quán tính của tiết diện chân cột và đỉnh cột.

Đối với khung nhiều nhịp

Trong khung nhiều nhịp, biến dạng của xà nhỏ hơn so với biến dạng của xà trong khung một nhịp, do góc xoay tại nút khung bị cản trở khi khung bị mất ổn định (hình 5). Điều này được thể hiện bằng cách so sánh góc xoay tương đối của tiết diện đầu - cuối xà với số lượng nhịp "k" khác nhau.

Như vậy, công thức cuối cùng để xác định hệ số chiều dài tính toán của cột biên có tiết diện thay đổi, chân cột tựa khớp của khung ngang một tầng là:

$$\mu_x = 4 \sqrt{1 + \frac{0,38 \cdot \bar{\varphi}}{n}} \quad (7)$$

Trong trường hợp số nhịp khung $k \geq 3$ thì có thể lấy $\bar{\varphi}=1,5$.

c) Kiểm chứng độ chính xác của việc dùng tiết diện tương đương nhờ phần mềm SAP 2000

Tiến hành khảo sát một khung phẳng một tầng, một nhịp, có nhịp $L=24m$, chiều cao cột $H=6m$; chiều cao đỉnh mái $H_m=7m$. Chân cột liên kết khớp, liên kết cột - xà coi như cứng. Kích thước tiết diện xà, cột cho trong bảng 3.

Tiến hành phân tích ổn định tổng thể cho khung trong phần mềm SAP 2000, bằng cách gán lực tập trung bằng đơn vị ở đỉnh cột. Xét hai trường hợp, trường hợp thứ nhất: khung có cột và xà đều vát một lần (hình 6), trường hợp thứ hai: khung có cột tiết diện không đổi tương đương, xà vát một lần (hình 7). Phân tích buckling cho hệ phẳng trong mặt phẳng xoz. Kết quả giá trị hệ số "Buckling Factors" trong bảng 4, bảng 5.

Bảng 4. Hệ số Buckling trường hợp cột vát

TABLE: Buckling Factors			
OutputCase	StepType	StepNum	ScaleFactor
Text	Text	Unitless	Unitless
ODTT	Mode	1	1048,895612

Bảng 5. Hệ số ổn định trường hợp cột tiết diện không đổi

TABLE: Buckling Factors			
OutputCase	StepType	StepNum	ScaleFactor
Text	Text	Unitless	Unitless
ODTT	Mode	1	1033,817818

Chênh lệch giá trị hệ số ổn định cho hai trường hợp: $(1048,9-1033,8).100/1048,9=1,44\%$

Từ giá trị trên thấy rằng khi dùng cột có tiết diện không đổi tương đương cho kết quả phân tích ổn định tổng thể sai khác khá nhỏ so với trường hợp dùng cột có tiết diện vát. Do đó, có thể áp dụng cách làm gần đúng này cho bài toán ổn định tổng thể của cột vát.

2.2. Chiều dài tính toán của cột ngoài mặt phẳng khung

Chiều dài tính toán của cột ngoài mặt phẳng khung l_y (hoặc của mỗi đoạn cột) được lấy bằng khoảng cách giữa các điểm cố định (điểm giằng) không cho cột chuyển vị theo phương ngoài mặt phẳng khung.

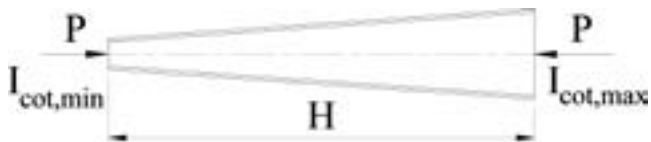
3. Kiểm tra ổn định tổng thể cho cột vát một lần

3.1. Kiểm tra ổn định tổng thể trong mặt phẳng khung x-x

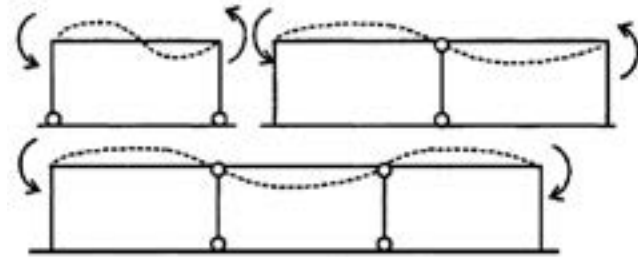
Tiêu chuẩn TCVN 5575:2012 [3] không chỉ dẫn cách kiểm tra ổn định tổng thể của cột vát, phần dưới đây giới thiệu cách tính theo [6].

a) Tính cột với sơ đồ không biến dạng

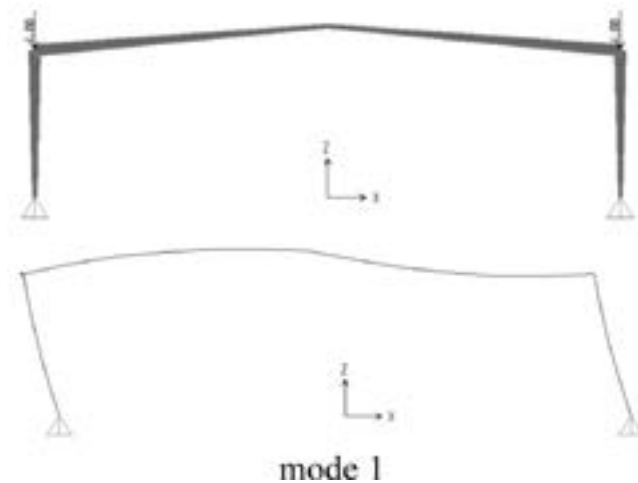
Ổn định tổng thể của cột được kiểm tra theo công thức:



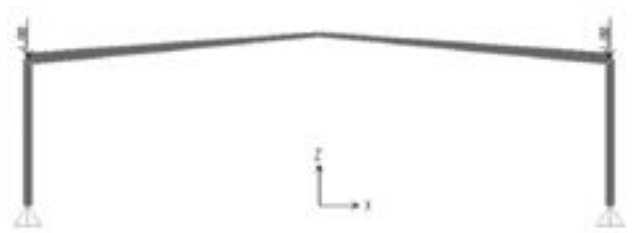
Hình 4. Sơ đồ để xác định hệ số μ_1



Hình 5. Ảnh hưởng của khung nhiều nhịp

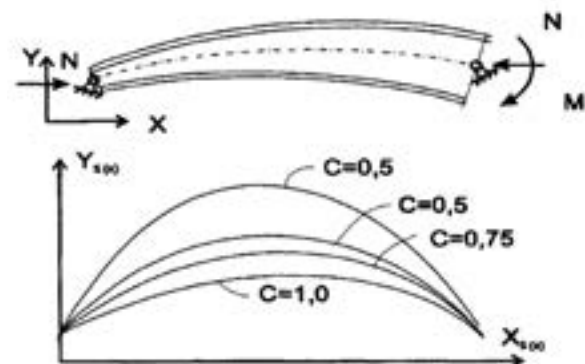


Hình 6. Sơ đồ phân tích ổn định tổng thể khung với trường hợp cột, xà vát một lần



mode 1

Hình 7. Sơ đồ phân tích ổn định tổng thể khung với trường hợp cột tiết diện không đối xứng đương, xà vát một lần



Hình 8. Đồ thị quan hệ giữa y_1 và c của cột vát

$$N \leq \frac{N_{cr,e}}{k_e} \quad (8)$$

trong đó: N - lực dọc của cột;

$N_{cr,e}$ - lực tới hạn O'le (có kể đến ảnh hưởng của mô men uốn).

$$N_{cr,e} = \frac{\pi^2 EI_{cot,max}}{k_\mu (\mu_x H)^2} \cdot \gamma_M \quad (9)$$

ở đây: γ_M - hệ số kể đến ảnh hưởng của mô men uốn đến ổn định khung, $\gamma_M = 0,9 \div 0,95$;

k_μ - hệ số hiệu chỉnh, lấy theo bảng 6, phụ thuộc tham số

$$\omega = \sqrt{\frac{I_{cot,max}}{I_{cot,min}}} - 1$$

k_e - hệ số độ tin cậy, tính đến điều kiện làm việc thực tế của thanh chịu nén, đặc biệt khi độ mảnh nhỏ (các khuyết tật, sự làm việc phi tuyến của vật liệu...),

$$k_e = 1,25 + \frac{13}{\lambda^3}, \text{ với } \lambda = \frac{H}{i_{max}} \sqrt{\frac{f}{E}};$$

i_{max} - bán kính quán tính của tiết diện ở đầu cột.

b) Tính cột với sơ đồ biến dạng

Kiểm tra ổn định tổng thể của cột một cách chính xác hơn là theo sơ đồ biến dạng, lúc này kiểm tra nội lực ở một số tiết diện cột. Tại tiết diện thứ i của cột, ứng suất nén lớn nhất tính theo công thức sau:

$$\sigma_i = \frac{N_i}{A_i} + \frac{M_i}{W_{x,i}} + \frac{\Delta M_i}{W_{x,i}} \leq f \gamma_c \quad (10)$$

Trong đó: A_i , $W_{x,i}$ - diện tích tiết diện và mô men chống uốn của tiết diện thứ i ;

ΔM_i - mô men uốn tăng thêm do ảnh hưởng của lực dọc N khi cột biến dạng,

$$\Delta M_i = N \cdot y_i$$

với $y_i = y_1 + y_2 + y_3$ - tổng độ võng tại tiết diện thứ i ,

độ võng y_1 do mô men uốn:

$$y_1 = \frac{M \cdot H^2}{6EI_{cot,max}} \left(\psi - \psi^2 + c \right) \cdot \frac{1,4 - 0,4 \cdot c}{\sqrt[3]{c}};$$

$$c = \frac{I_{cot,min}}{I_{cot,max}}; \quad \psi = \frac{x_i}{H};$$

Bảng 6. Hệ số k_μ ứng với giá trị của ω [6]

ω	0	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	6
k_μ	1	0,88	0,84	0,79	0,73	0,68	0,64	0,61	0,6

x_i - khoảng cách từ tiết diện (nhỏ) của chân cột đến tiết diện thứ i .

Khi hệ số c giảm, độ võng tại tiết diện ở giữa cột tăng lên.

$$\text{Độ võng ban đầu } y_0: y_0 = \frac{H}{750} + \frac{i_{x,\max}}{20}$$

Độ lệch tâm của lực dọc y_3 , gần đúng tính theo công thức:

$$y_3 = y_0 \sin(\pi \cdot \psi) \cdot \frac{1}{c^{0,4}}$$

Độ võng y_2 do lực dọc:

$$y_2 = (y_1 + y_3) \left(\frac{N}{N_{cr,1-N}} \right); \quad N_{cr,1} = \frac{\pi^2 EI_{cot,\max}}{(\mu_1 H)^2}$$

3.2. Kiểm tra ổn định cột theo phương ngoài mặt phẳng khung y-y

Ổn định tổng thể ngoài mặt phẳng khung kiểm tra theo công thức cho cấu kiện chịu nén đúng tâm, có kể đến ảnh hưởng của mô men uốn:

$$\frac{N}{c\varphi_y A} \leq f\gamma_c \quad (11)$$

Gần đúng lấy tiết diện ở giữa cột để tính các đặc trưng hình học, độ mảnh λ_y . Hệ số c - hệ số kể đến ảnh hưởng của mô men uốn trong mặt phẳng khung và hình dạng của tiết diện đến ổn định của cột theo phương y.

φ_y - hệ số uốn dọc của cột, tính đối với trục y-y.

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã trình bày bài toán phân tích ổn định tổng thể của cột vát một lần, tiết diện chữ I, bằng việc chuyển đổi sang bài toán phân tích ổn định tổng thể của cột tiết diện không đối xứng đương. Đồng thời, kiến nghị cách xác định chiều dài tính toán của cột khung một tầng có một hoặc nhiều nhịp, cũng như việc kiểm tra ổn định tổng thể của cột trong trường hợp xét đến sơ đồ biến dạng hoặc không biến dạng của khung. Có thể vận dụng cách làm trên trong thực hành khi tính toán ổn định tổng thể cho cột vát một lần.

Cần có nghiên cứu thêm cho trường hợp cột và xà vát nhiều lần đối với bài toán ổn định của khung./.

Tài liệu tham khảo

1. Phạm Văn Hội, Nguyễn Quang Viên và nnk (2010), "Kết cấu thép – Cấu kiện cơ bản", Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
2. Phạm Văn Hội, Nguyễn Quang Viên và nnk (2006) "Kết cấu thép – Công trình dân dụng và công nghiệp", Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
3. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5575:2012, "Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế", Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
4. Phạm Minh Hà, Đoàn Tuyết Ngọc (2010), "Thiết kế khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp", Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
5. Chen Ji., Chen Haojun (2009), "Stability of steel structures - Theory and Design".
6. Катюшин В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство). — М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2005. — 656 с.: ил.