

# Phân tích khung thép có liên kết nửa cứng theo mô hình của Lui - Chen chịu tải trọng động

Analysis of steel frame with semi - rigid connections by model of Lui - Chen with dynamic load

> TS NGUYỄN HẢI QUANG

GV Khoa Xây dựng, Trường Đại học Điện Lực, Email: quangnh@epu.edu.vn

## TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu sự làm việc của khung thép có liên kết nửa cứng theo mô hình Lui - Chen đề xuất. Trong đó đề cập đến các dạng liên kết trong kết cấu thép thường gặp; quan hệ giữa mô men với góc xoay của liên kết theo mô hình Lui - Chen; một số kết quả thí nghiệm để xây dựng mô hình liên kết; quy trình cập nhật độ cứng của liên kết theo mô hình Lui - Chen và tính toán một ví dụ với khung thép có liên kết nửa cứng theo mô hình Lui - Chen chịu tải trọng động, lập ra chương trình tính bằng ngôn ngữ lập trình Matlab để so sánh với các kết quả phân tích khung có liên kết dầm - cột là liên kết nửa cứng đàn hồi tuyến tính bằng phần mềm SAP2000.

**Từ khóa:** Khung thép; liên kết nửa cứng; Lui - Chen.

## ABSTRACT:

This paper studies the working of steel frames with semi-rigid connections according to the proposed Lui - Chen model. Which refers to the common types of connections in steel structures; relationship between the moment and the rotation angle of the connections according to the model of Lui - Chen; some experimental results to build theo connections model; the process of updating the stiffness of the connecions according to the Lui - Chen model and calculating an example with a steel frame with a semi-rigid connection according to the Lui - Chen model under dynamic loads, establish a program using Matlab programming language to compare the results of frame analysis with beam-column connections as linear elastic semi-rigid connections using SAP2000 software.

**Keywords:** Steel frame; semi-rigid; Lui - Chen.

## 1. MỘT SỐ NGHIÊN CỨU TRONG KẾT CẤU THÉP CÓ LIÊN KẾT NỬA CỨNG

Trong tính toán kết cấu thép, các liên kết thường được lý tưởng hóa thành dạng ngàm hoặc khớp. Gần đây, các nghiên

cứu đã chỉ ra rằng ảnh hưởng của đặc tính của liên kết đến sự làm việc của kết cấu là đáng kể [3].

Mối quan hệ giữa mô men và góc xoay đã được nhiều các nhà nghiên cứu quan tâm nghiên cứu như nghiên cứu thí nghiệm hoặc nghiên cứu lý thuyết [2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Trong bài báo này lựa chọn mô hình Lui - Chen ở liên kết giữa dầm với cột để phân tích khung thép chịu tải trọng động để so sánh kết quả tính với trường hợp là liên kết nửa cứng đàn hồi tuyến tính do phần mềm SAP2000 tính toán từ đó đưa ra các nhận xét.

## 2. MÔ HÌNH LUI - CHEN [4]

Lui - Chen (1986, 1988) đề xuất mô hình hàm mũ được gọi là mô hình hàm mũ Chen - Lui. Mô men của liên kết được xác định như sau:

$$M = M_0 + \sum_{j=1}^n C_j \left[ 1 - \exp\left(\frac{-|\theta_r|}{2j\alpha}\right) \right] + R_{kf} |\theta_r| \quad (1)$$

Độ cứng tiếp tuyến của liên kết:

$$k_r = \frac{dM}{d\theta_r} \Big|_{|\theta_r|=|\theta_r|} = \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{2j\alpha} \exp\left(\frac{-|\theta_r|}{2j\alpha}\right) + R_{kf} \quad (2)$$

Độ cứng ban đầu của liên kết được xác định như sau:

$$k_0 = \frac{dM}{d\theta_r} \Big|_{\theta_r=0} = \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{2j\alpha} + R_{kf} \quad (3)$$

trong đó:

$M$  : là mô men trong liên kết;

$|\phi_c|$  : là giá trị tuyệt đối của góc xoay trong liên kết;

$M_0$  : là giá trị mô men ban đầu;

$R_{kf}$  : là độ cứng tăng biến dạng của liên kết;

$\alpha$  : là hệ số tỷ lệ;

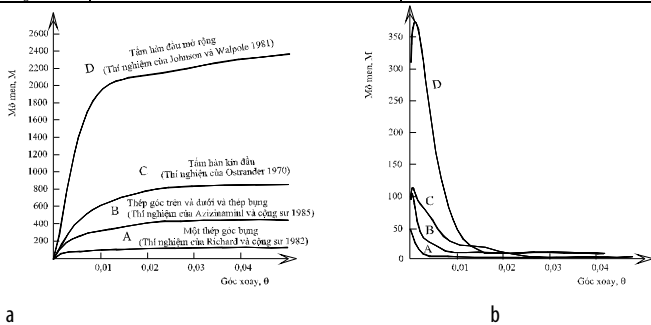
$C_j$  : là hệ số phù hợp của đường cong;

$n$  : là số bậc được xem xét.

Hình 1, quan hệ giữa mô men và góc xoay áp dụng mô hình hàm mũ Chen - Lui và các số liệu trong bảng 1.

**Bảng 1. Các tham số của mô hình hàm mũ Chen - Lui [4].**

Loại liên kết (kip-in)				
STT	A Thép góc bụng (Richard và các cộng sự, 1982)	B Thép góc trên và dưới (Azizinamini và các cộng sự, 1985)	C Tấm hàn kín đầu (Ostrander, 1970)	D Tấm hàn đầu mở rộng (Johnson và Walpole, 1981)
$M_0$	0	0	0	0
$R_{kf}$	$0,47104 \times 10^2$	$0,43169 \times 10^3$	$0,96415 \times 10^3$	$0,41193 \times 10^3$
$\alpha$	$0,51167 \times 10^{-3}$	$0,31425 \times 10^{-3}$	$0,31783 \times 10^{-3}$	$0,67083 \times 10^{-3}$
$C_1$	$-0,43300 \times 10^2$	$-0,34515 \times 10^3$	$-0,25038 \times 10^3$	$-0,67824 \times 10^3$
$C_2$	$0,12139 \times 10^4$	$0,52345 \times 10^4$	$0,50736 \times 10^4$	$0,27084 \times 10^4$
$C_3$	$-0,58583 \times 10^4$	$-0,26762 \times 10^5$	$-0,30396 \times 10^5$	$-0,21389 \times 10^5$
$C_4$	$0,12971 \times 10^5$	$0,61920 \times 10^5$	$0,75338 \times 10^5$	$0,78563 \times 10^5$
$C_5$	$-0,13374 \times 10^5$	$-0,65114 \times 10^5$	$-0,82873 \times 10^5$	$-0,99740 \times 10^5$
$C_6$	$0,52224 \times 10^4$	$0,25506 \times 10^5$	$0,33927 \times 10^5$	$0,43042 \times 10^5$
$k_0$	$0,48000 \times 10^5$	$0,95219 \times 10^5$	$0,11000 \times 10^6$	$0,30800 \times 10^6$



**Hình 1.** Các thuộc tính của một số liên kết theo mô hình hàm mũ Chen - Lui (Lui - Chen, Năm 1988). (a) Quan hệ mô men góc xoay; (b) Quan hệ độ cứng góc xoay. [4]

**3. TÍCH PHÂN HỆ PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN**

Theo cách làm thông thường của phương pháp phần tử hữu hạn ta nhận được phương trình dao động của kết cấu như sau:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = P_i \tag{4}$$

trong đó:

$M$  là ma trận khối lượng;

$C$  là ma trận cản;

$K$  là ma độ cứng;

$P_i$  là véc tơ tải trọng nút quy đổi;

$u, \dot{u}, \ddot{u}$  lần lượt là véc tơ chuyển vị, vận tốc và gia tốc của các nút khung.

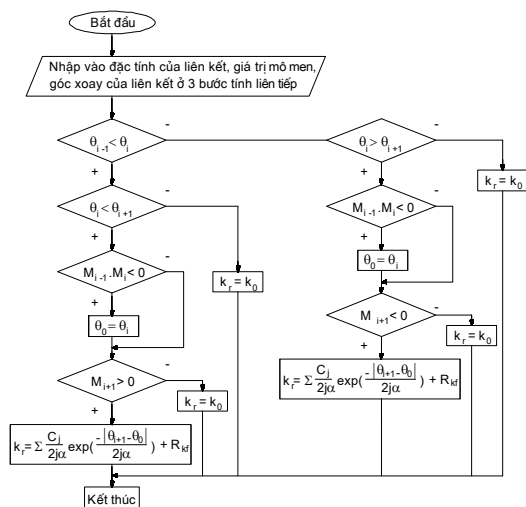
Các ma trận khối lượng, độ cứng được sử dụng trong [1].

Hệ phương trình (4) là hệ phương trình vi phân phi tuyến, các hệ số  $M, C, K$  phụ thuộc vào độ cứng của liên kết, mà độ cứng của liên kết phụ thuộc vào quan hệ giữa mô men và góc xoay của liên kết. Trong [1, 4] đã thể hiện phương pháp tích phân hệ phương trình vi phân (4).

**4. CẬP NHẬT ĐỘ CỨNG CỦA LIÊN KẾT**

Cập nhật độ cứng của liên kết là một bước quan trọng trong việc tích phân hệ phương trình vi phân phi tuyến của khung thép có liên kết nửa cứng. Trong quá trình chịu tải trọng thay đổi lặp. Quan hệ giữa mô men và góc xoay trải qua các giai đoạn như sau: Quá trình tăng mô men và quá trình giảm mô men. Việc cập nhật độ cứng của liên kết được thực hiện như hình 2.

Sau mỗi bước thời gian tính toán thì phải cập nhật lại độ cứng của từng liên kết. Khi cập nhật cho một liên kết thì phải đưa vào chương trình con giá trị mô men và góc xoay của liên kết ở ba bước thời gian tính là  $\theta_{i-1}, \theta_i$  và  $\theta_{i+1}$  để nhằm mục đích xác định quá trình tăng hoặc giảm của quan hệ mô men, góc xoay (như trên hình 2)



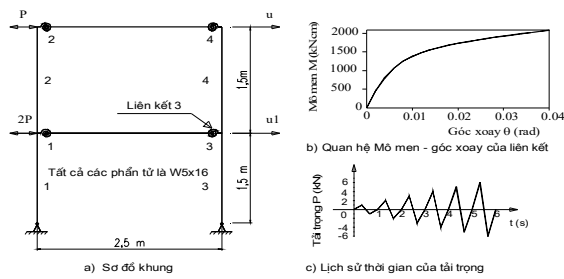
**Hình 2.** Quy trình cập nhật độ cứng của liên kết theo mô hình Lui - Chen

**5. VI DỤ TÍNH TOÁN**

Xét khung hai tầng một nhịp, các phần tử dầm và cột được làm bằng thép A36 có mô đun đàn hồi  $E = 20000 \text{ kN/cm}^2$ . Tiết diện của các dầm và cột đều là  $W5 \times 16$ , kích thước của các dầm, cột là thép như trên hình 5.a, các nút đều có khối lượng là  $m = 0,04 \text{ kN.s}^2/\text{cm}$ .

Liên kết giữa cột với móng là liên kết khớp, liên kết giữa cột với cột là liên kết cứng.

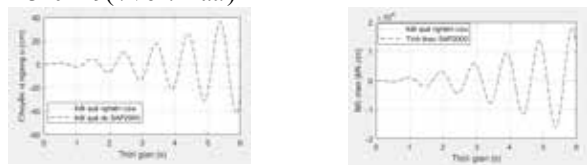
Liên kết giữa dầm với cột được tính toán ứng với số liệu của mô hình Lui - Chen có  $C_1 = -1,43; C_2 = -75,0; C_3 = 171,0; C_4 = 98,5; C_5 = -341,8; C_6 = 282,2; \alpha = 0,00055; R_{kf} = 1286; M_0 = 0$  (các số liệu của liên kết phù hợp đơn vị kips - in). Quan hệ giữa mô men - góc xoay của các liên kết 1, 2, 3, 4 sau khi quy đổi đơn vị kN.cm - rad được thể hiện như hình 3.b



**Hình 3.** Sơ đồ tính của khung

Tải trọng tác dụng thay đổi theo thời gian như trong hình 3.c

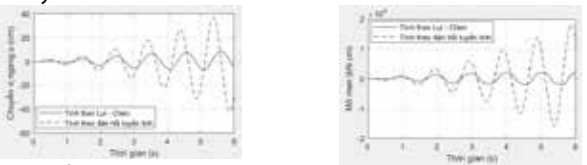
- Khảo sát với trường hợp  $P=2$  kN, độ cứng của các liên kết dầm - cột theo mô hình đàn hồi tuyến tính  $k_0 = 234042.9(kN.cm / rad)$



a. Chuyển vị đỉnh u - thời gian      b. Mô men ở liên kết 3 - thời gian

**Hình 4.** Liên kết đàn hồi tuyến tính, tải trọng động

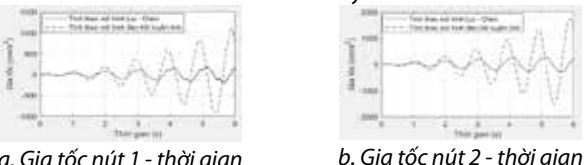
Từ kết quả tính toán trên cho thấy phần mềm nhóm tác giả lập ra là đáng tin cậy, có thể sử dụng để khảo sát cho trường hợp liên kết dầm - cột là liên kết nửa cứng theo mô hình Lui -Chen chịu tải trọng động. Kết quả tính toán được thể hiện ở các hình dưới đây:



a. Chuyển vị đỉnh - thời gian      b. Mô men ở liên kết 3 - thời gian

**Hình 5.** So sánh khi kết cấu chịu tải trọng động

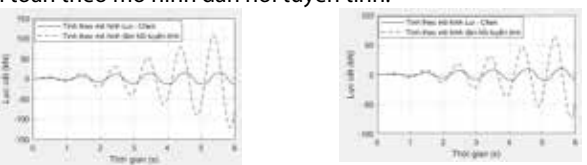
Từ kết quả tính toán được thể hiện trong hình 5.a cho thấy biên độ dao động của chuyển vị đỉnh khi tính theo mô hình đàn hồi tuyến tính lớn hơn nhiều so với khi tính theo mô hình Lui - Chen, đồng thời giá trị mô men ở liên kết 3 cũng lớn hơn nhiều so với khi tính theo mô hình đàn hồi tuyến tính.



a. Gia tốc nút 1 - thời gian      b. Gia tốc nút 2 - thời gian

**Hình 6.** So sánh về gia tốc khi kết cấu chịu tải trọng động

Từ kết quả tính toán thể hiện trong hình 6 và hình 7 cũng cho thấy biên độ dao động của các gia tốc ở nút, lực cắt của các cột khi tính theo mô hình Lui - Chen nhỏ hơn nhiều so với khi tính toán theo mô hình đàn hồi tuyến tính.



a. Lực cắt cột 1 - thời gian      b. Lực cắt cột 2 - thời gian

**Hình 7.** So sánh về lực cắt khi kết cấu chịu tải trọng động



a. Liên kết 1

c. Liên kết 2

**Hình 8.** Quan hệ giữa mô men và góc xoay của các liên kết trường hợp tải trọng động

Từ hình 8 độ cứng của liên kết thay đổi trong quá trình dao động. Trong mỗi chu kỳ dao động, giá trị độ cứng của liên kết đạt tới giá trị độ cứng ban đầu  $k_0 = 234042.9(kN.cm / rad)$  là một nửa chu kỳ. Như vậy, khi tính dao động của kết cấu có liên kết nửa cứng theo mô hình Lui - Chen thì kết cấu “yếu” hơn khi tính theo mô hình đàn hồi tuyến tính.

**6. KẾT LUẬN**

Qua ví dụ tính toán cho thấy có thể rút ra một số kết luận sau:

- Để cập nhật được độ cứng của từng liên kết sau mỗi bước thời gian tính toán thì cần đưa vào chương trình con ba bước thời gian liên tiếp để xác định quá trình tăng hoặc giảm mô men, góc xoay của liên kết.
- Kết cấu khung có liên kết dầm - cột khi tính theo mô hình Lui - Chen “yếu” hơn khi tính theo mô hình đàn hồi tuyến tính trong trường hợp tính toán chịu tải trọng động. Nhưng biên độ của chuyển vị đỉnh, gia tốc ở các nút, lực cắt ở các dầm lại nhỏ hơn khi tính theo mô hình đàn hồi tuyến tính.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Nguyễn Hải Quang (2012) Luận án tiến sĩ, “*Tính toán khung thép có liên kết nửa cứng theo mô hình đàn - dẻo chịu tải trọng động*”. Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội.

[2] Nguyễn Hải Quang, Lê Dũng Bảo Trung, Vũ Quốc Anh (2022). “*Tổng quan về các mô hình liên kết nửa cứng trong kết cấu khung thép*”. Tạp chí của Bộ Xây dựng, ISSN: 2734-9888, Số 4.2022 tr 88-92.

[3] Nguyễn Tiến Chương, Nguyễn Hải Quang (2012). “*Một số kết quả nghiên cứu tính toán khung thép có liên kết nửa cứng theo mô hình đàn - dẻo chịu tải trọng động*”. Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ IX - Hà Nội

[4] Chan S.L and Chui P.P.T (2000), “*Non-linear static and cyclic analysis of steel frames with semi-rigid connections*”. Elsevier 2000.

[5] Chen, WF, Kishi N, (1990). “*Semi-rigid steel beam-to-column connections data base and modeling*”. ASCE Journal of Structural Engineering. Vol. 116-1, pp. 105-119.

[6] Chen WF, Kishi N. (1989). “*Semirigid steel beam-to-column connections data base and modeling*”. J Struct Eng, ASCE;120(6):1703-17.

[7] Kishi N, Chen WF, Goto Y, Matsuoka KG. (1993). “*Design aid of semi-rigid connections for frame analysis*”. Eng J, AISC. 30(3):90-107.

[8] Kishi N and Chen WF. (1986). “*Data Base of Steel Beam-to-Column Connections*”. Structural Engineering Report No. CE-STR-93-15.

[9] Lui ME, Chen W F. “*Steel frame analysis with flexible joints*”. Journal of Constructional Steel Research, 8 (1987) 161-202.

[10] Lui EM, Chen WF. “*Behaviour of braced and unbraced semi-rigid frames*”. International Journal of Solids and Structures, 24 (9) (1988) 893-913.

[11] Miodrag Sekulovic, Ratko Salatic, Marija Nefovska. (2002). “*Dynamic analysis of steel frames with flexible connections*”. Computers and Structures 80: 935-955.