



ĐÁNH GIÁ TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT TĨNH NGANG VÀ GIÓ LÊN KHUNG NGANG NHÀ CÔNG NGHIỆP MỘT TẦNG BẰNG THÉP CÓ CẦU TRỤC

Đinh Văn Thuật^{1*}, Hồ Viết Chương², Nguyễn Đình Hòa³

Tóm tắt: Kết cấu khung nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục ở những vùng có cường độ chấn động cao trong khi áp lực gió không lớn có thể bị hư hỏng khi không được thiết kế kháng chấn một cách phù hợp. Trong bài báo này, tám khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục ban đầu được thiết kế chịu tĩnh tải, hoạt tải sửa chữa mái, cầu trục và gió. Các thông số của khung ngang gồm: một nhịp và hai nhịp đều nhau, chiều dài nhịp là 26 m và 32 m, sức trục là 200 kN và 100 kN với chế độ làm việc trung bình và vị trí xây dựng ở Hà Nội và Sơn La. Tiếp theo, tải trọng động đất tĩnh ngang tương đương được xác định cho các khung này. Kết quả phân tích kết cấu theo mô hình vật liệu làm việc đàn hồi đã chỉ ra rằng lực cắt đáy và mô men uốn ở chân cột do tải trọng động đất tĩnh ngang tương đương là lớn hơn nhiều lần so với do gió ngang gây ra đối với các khung với sức trục 200 kN và các khung có hai nhịp. Tác dụng của tải trọng động đất lên khung ngang có xu hướng tăng đáng kể khi tăng sức trục, số nhịp khung và chiều dài nhịp khung. Các kết quả nghiên cứu này giúp cho việc thiết kế khung nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục được phù hợp hơn.

Từ khóa: Nhà công nghiệp một tầng; kết cấu thép; khung ngang; số nhịp; khu vực xây dựng; sức trục; tải trọng động đất; tải trọng gió.

Summary: Structural frames of one-story industrial steel buildings with traveling cranes constructed in regions with high seismic intensities but low wind pressures can be damaged when they are not apparently designed to withstand earthquakes. In this paper, eight transverse frames of one-story industrial steel buildings with cranes were initially designed to resist dead, roof live, crane and wind loads. These frames have different parameters: one and two equal spans, span lengths of 26 m and 32 m, crane load capacities of 200 kN and 100 kN with medium frequencies of use, and construction locations in Hanoi and Sonla regions. Next, equivalent lateral static earthquake loads applied on the frames were determined. The results from elastic structural analyses show that the obtained base shears and bending moments caused by earthquake loads were several times larger than those by wind loads for all the frame models with crane load capacities of 200 kN and those with two spans. The effect of earthquake loads on frames tends to increase significantly with increasing crane capacities, number of spans and span lengths. These results will provide a more apparent guidance for earthquake-resistant design of one-story industrial steel buildings with cranes.

Keywords: One-story industrial buildings; steel structures; transverse frames; number of spans; construction sites; crane capacities; earthquake load; wind load.

Nhận ngày 12/10/2016, chỉnh sửa ngày 26/10/2016, chấp nhận đăng 16/01/2017



1. Giới thiệu

Trong các tiêu chuẩn và tài liệu hướng dẫn thiết kế kháng chấn kết cấu công trình nhà [3-8], việc xác định tải trọng động đất tác dụng lên kết cấu nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục vẫn chưa được trình bày một cách rõ ràng. Do vậy, khi xác định tải trọng động đất tĩnh ngang tương đương cho loại nhà này còn gặp khó khăn do một số đặc điểm riêng sau: chiều cao cột lớn, nhịp khung lớn, phần trăm khối lượng tham gia dao động từ vật nâng, khối lượng từ cầu trục tập trung ở vai cột, nhiều tổ hợp tải trọng cầu trục khi khung nhiều nhịp, độ cứng của tấm tôn mái không lớn trong mặt phẳng của nó,... Điều này dẫn đến kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng có cầu trục thuộc loại không đều đặn theo chiều cao và bên cạnh đó cần kể đến tác dụng đồng thời của động đất theo phương ngang và đứng. Hơn nữa, trong thực tế, việc tính toán chịu động đất cho kết cấu

¹PGS.TS, Khoa Xây dựng DD&CN, Trường Đại học Xây dựng.

²ThS, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Vinh.

³TS, Khoa Xây dựng DD&CN, Trường Đại học Xây dựng.

*Tác giả chính. E-mail: tuatvandin@ gmail.com.

loại nhà này thường không được xem xét đầy đủ; do đó, công trình khi được xây dựng ở những vùng có áp lực gió không lớn nhưng cường độ chấn động cao có thể bị hư hỏng. Trong bài báo này, tám khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục ban đầu được thiết kế chịu tĩnh tải, hoạt tải sửa chữa mái, cầu trục, gió ngang và gió dọc nhà [1,2,11]. Tiếp theo, từ các khung ngang này, tác dụng của tải trọng động đất tĩnh ngang tương đương được xác định theo [3,4,10] và so sánh với tác dụng của tải trọng gió ngang được xác định theo [1]. Kết quả phân tích đã chỉ ra rằng tùy theo vị trí xây dựng công trình, sức trục, số nhịp khung, chiều dài nhịp và chiều cao cột, tác dụng của tải trọng động đất lên kết cấu nhà công nghiệp một tầng bằng thép có thể lớn hơn đáng kể so với tác dụng của tải trọng gió.

2. Các khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép được thiết kế chịu tĩnh tải, hoạt tải mái, cầu trục và gió

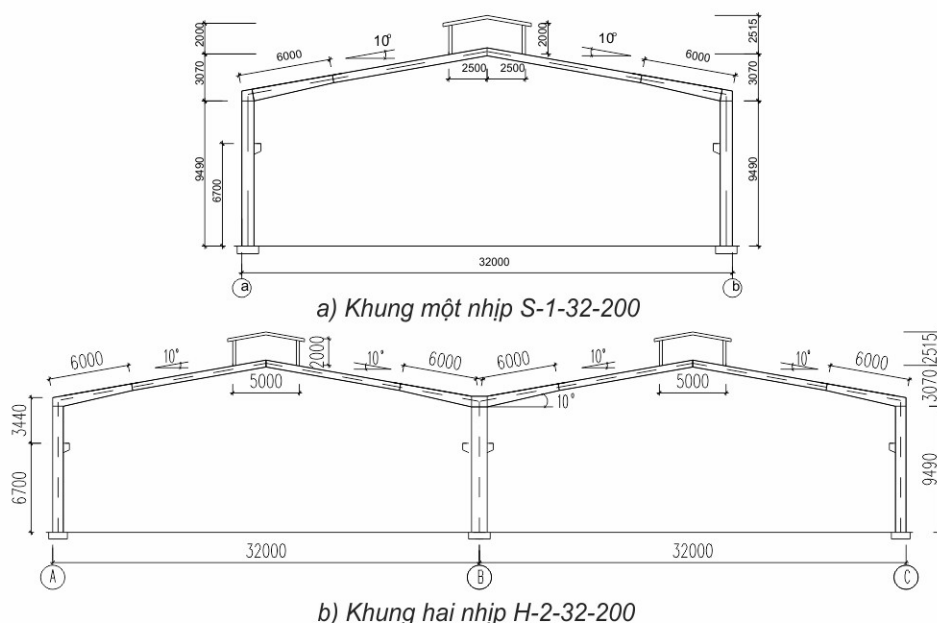
2.1 Sơ đồ khung ngang, kích thước tiết diện các cấu kiện và vị trí xây dựng công trình:

Tám khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép được thiết kế với các thông số khác nhau (Bảng 1): khung một nhịp và hai nhịp đều nhau với chiều dài nhịp là 26 m và 32 m, sức trục là 200 kN và 100 kN với chế độ làm việc trung bình, vị trí xây dựng công trình ở Hà Nội (có động đất mạnh và gió trung bình) và ở Sơn La (có động đất mạnh và gió yếu). Các khung đều có hai cầu trục hoạt động trong mỗi nhịp. Trong Bảng 1, ví dụ ký hiệu khung S-2-26-200 có nghĩa là vị trí xây dựng ở Sơn La, khung hai nhịp đều nhau với nhịp là 26 m và sức trục là 200 kN với chế độ làm việc trung bình.

Hình 1 chỉ ra các kích thước của khung ngang được thiết kế: cao trình đỉnh ray tính từ mặt nền là 7 m, chiều sâu chôn móng tính từ mặt nền đến mặt đài móng là 0,6 m, chiều cao cửa trời là 2 m, nhịp cửa trời là 4 m và 5 m tương ứng với nhịp khung 26 m và 32 m, chiều dài đoạn dầm mái có chiều cao tiết diện thay đổi là 5 m và 6 m tương ứng với nhịp khung 26 m và 32 m, độ dốc của mái là 10 độ, bước khung là 6,5 m, thanh chống dọc của cột ở vị trí cách mặt nền là 3,1 m, chiều cao của tường gạch xây bao tính từ mặt nền là 1,2 m và tôn bao che được sử dụng ở phía trên.

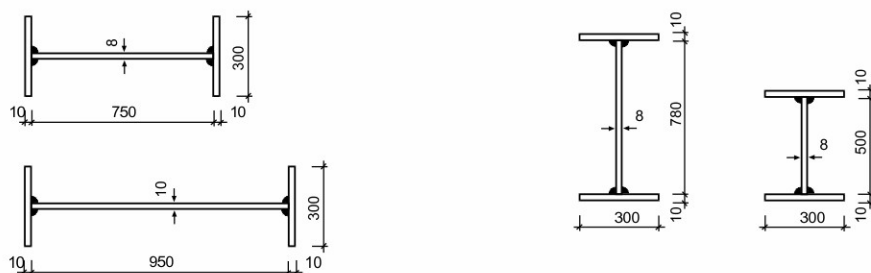
Bảng 1. Các khung ngang nhà công nghiệp một tầng

Khung ngang		Số nhịp	Chiều dài nhịp (m)	Sức trục (kN)	Vị trí xây dựng
Khung hai nhịp	H-2-26-200	2	26	200	Hà Nội
	H-2-32-200	2	32	200	Hà Nội
	S-2-26-200	2	26	200	Sơn La
	S-2-32-200	2	32	200	Sơn La
Khung một nhịp	H-1-26-100	1	26	100	Hà Nội
	H-1-32-100	1	32	100	Hà Nội
	S-1-26-200	1	26	200	Sơn La
	S-1-32-200	1	32	200	Sơn La



Hình 1. Kích thước các khung một nhịp và hai nhịp đều nhau

Các kích thước tiết diện cột và dầm mái của các khung ngang được thiết kế chịu tĩnh tải, hoạt tải sửa chữa mái, cầu trục, gió ngang và gió dọc nhà như được trình bày ở mục 2.2. Hình 2 minh họa hình dạng các tiết diện cột và dầm mái của khung H-2-32-200. Bảng 2 và 3 chỉ ra các kích thước tiết diện cột và dầm mái của tám khung ngang được thiết kế. Với các kích thước này, các kết quả kiểm tra về chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột, độ võng lớn nhất ở giữa dầm mái được trình bày ở mục 2.3. Các kết quả kiểm tra về ổn định tổng thể và bền của cột và dầm mái được trình bày ở mục 2.4.



a) Cột biên và cột giữa

b) Đầu dầm và giữa dầm

Hình 2. Kích thước tiết diện cột và dầm mái của khung H-2-32-200**Bảng 2.** Kích thước tiết diện cột và dầm của các khung hai nhịp (mm)

Khung hai nhịp		H-2-26-200	H-2-32-200	H-2-26-200	H-2-32-200
Cột biên	Bản cánh	300 x 10	300 x 10	300 x 10	300 x 10
	Bản bụng	680 x 8	750 x 8	650 x 8	750 x 8
Cột giữa	Bản cánh	300 x 10	300 x 10	300 x 10	300 x 10
	Bản bụng	850 x 8	950 x 10	800 x 10	900 x 10
Đầu dầm	Bản cánh	300 x 10	300 x 10	300 x 10	300 x 10
	Bản bụng	650 x 8	780 x 8	630 x 8	750 x 8
Giữa dầm	Bản cánh	300 x 10	300 x 10	300 x 10	300 x 10
	Bản bụng	400 x 8	500 x 8	400 x 8	480 x 8

Bảng 3. Kích thước tiết diện cột và dầm của các khung một nhịp (mm)

Khung một nhịp		H-1-26-100	H-1-32-100	H-1-26-100	H-1-32-100
Cột biên	Bản cánh	300 x 10	300 x 10	300 x 10	300 x 10
	Bản bụng	650 x 8	680 x 8	660 x 8	780 x 8
Đầu dầm	Bản cánh	300 x 10	300 x 10	300 x 10	300 x 10
	Bản bụng	650 x 8	780 x 8	580 x 8	770 x 8
Giữa dầm	Bản cánh	300 x 10	300 x 10	300 x 10	300 x 10
	Bản bụng	400 x 8	480 x 8	380 x 8	500 x 8

2.2 Xác định tĩnh tải, hoạt tải mái, gió và cầu trục tác dụng lên các khung ngang:

a) **Tĩnh tải:** Tĩnh tải mái được coi tác dụng phân bố đều trên mặt phẳng mái với giá trị tiêu chuẩn được lấy bằng $0,25 \text{ kN/m}^2$, trong đó gồm trọng lượng của các tấm tôn, giằng mái, lớp cách nhiệt, xà gồ mái, giằng xà gồ và các thiết bị chiếu sáng treo trên mái. Tĩnh tải từ tấm tôn tường bao được coi tác dụng phân bố đều trong mặt phẳng tôn bao che với giá trị tiêu chuẩn được lấy bằng $0,18 \text{ kN/m}^2$, gồm trọng lượng của các tấm tôn bao che, giằng cột, sườn tường và giằng sườn tường. Trọng lượng của một nhịp dầm cầu trục, dầm hãm và các chi tiết liên kết lấy bằng 85 kN . Trọng lượng của các cấu kiện kết cấu khung được tính trực tiếp bằng chương trình phân tích kết cấu. Hệ số an toàn của tĩnh tải là 1,1.

b) **Hoạt tải sửa chữa mái:** Hoạt tải mái tiêu chuẩn tác dụng phân bố đều trên mặt bằng nhà là $0,3 \text{ kN/m}^2$ [1]. Hệ số vượt tải của hoạt tải mái là 1,2. Đối với khung một nhịp, xét 3 trường hợp hoạt tải tác dụng ở nửa nhịp trái, nửa nhịp phải và cả nhịp khung. Đối với khung 2 nhịp, chỉ xét 3 trường hợp hoạt tải tác dụng bất lợi ở nhịp trái, nhịp phải và cả hai nhịp khung.

c) *Tải trọng gió*: Vùng gió của Hà Nội là IIB và Sơn La là IA, tương ứng với giá trị áp lực gió tiêu chuẩn là 0,95 kN/m² và 0,55 kN/m² [1]. Công trình được xây dựng ở vùng địa hình bị che chắn mạnh, địa hình dạng C. Tải trọng gió tác dụng theo các phương gồm từ bên trái, bên phải và dọc nhà. Hệ số khí động của các khung ngang được xác định theo [1], trong đó các khung hai nhịp đều có giá trị giống nhau, không phụ thuộc vào chiều dài nhịp. Hệ số khí động của khung một nhịp ở mặt hút gió và ở một số mặt trên mái là lớn hơn khung hai nhịp [11].

d) *Tải trọng cầu trục*: Tải trọng từ cầu trục gồm trọng lượng của thân cầu trục, xe con và vật nâng. Tải trọng cầu trục tác dụng lên hai vai cột trong mỗi nhịp khung với giá trị lớn nhất và nhỏ nhất là D_{max} và D_{min} (Bảng 4). Lực hãm của xe con T_{max} truyền vào cột ở cao trình dầm hãm theo phương ngang trong mặt phẳng khung. Các giá trị này được xác định tương ứng với trường hợp có 2 cầu trục làm việc ở mỗi nhịp khung. Trong trường hợp khung hai nhịp, có khá nhiều trường hợp T_{max} tác dụng khi thay đổi về vị trí và chiều tác dụng. Trong bài báo này, chỉ xét trường hợp bất lợi khi T_{max} tác dụng cùng chiều ở cả hai nhịp và tại các cột có tác dụng của D_{max} .

Đối với các khung một nhịp, có 2 trường hợp tải trọng cầu trục tác dụng lên khung: 1) D_{max} tác dụng ở vai cột biên trái và D_{min} ở vai cột biên phải; và 2) ngược lại. Đối với các khung hai nhịp đều nhau, chỉ xét 5 trường hợp tải trọng cầu trục tác dụng bất lợi lên khung: 1) D_{min} tác dụng ở cả hai bên vai cột giữa và D_{max} tác dụng ở hai cột biên, 2) D_{max} tác dụng ở cả hai bên vai cột giữa và D_{min} tác dụng ở hai cột biên, 3) D_{min} tác dụng ở vai trái cột giữa và D_{max} ở vai phải cột giữa, 4) D_{max} tác dụng ở vai cột biên trái và D_{min} ở vai trái cột giữa, và 5) D_{min} tác dụng ở vai cột biên trái và D_{max} ở vai trái cột giữa.

Bảng 4. Tải trọng tính toán từ cầu trục

Tải trọng từ cầu trục	Khung nhịp 26 m		Khung nhịp 32 m	
	200 kN	100 kN	200 kN	100 kN
D_{max}	322,62	185,66	321,05	198,50
D_{min}	83,30	63,44	108,44	88,78
T_{max}	12,94	6,52	11,53	5,93

2.3 Kết quả chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột và độ võng lớn nhất của dầm mái:

Chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột khung (tại vị trí giao giữa trục cột và trục dầm mái) và độ võng lớn nhất của dầm mái được xác định từ các tổ hợp bất lợi nhất do các tải trọng tiêu chuẩn gây ra được chỉ ra ở Bảng 5. Chuyển vị ngang cho phép của cột khung nhà công nghiệp một tầng có cầu trục làm việc ở chế độ trung bình và nhẹ là 1/300H trong đó H là chiều cao của cột trong sơ đồ tính được tính từ mặt trên của đài móng [1,2]. Độ võng cho phép của dầm mái là 1/250L trong đó L là nhịp tính toán của dầm tính từ trục tiết diện cột. Trong Bảng 5, các giá trị trong ngoặc là tỷ lệ phần trăm của chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột và độ võng lớn nhất của dầm mái so với các giá trị cho phép tương ứng. Kết quả chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột đạt từ 91% đến 100% so với giá trị cho phép và độ võng lớn nhất trong dầm đạt từ 27% đến 50% so với độ võng cho phép.

Bảng 5. Chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột và độ võng lớn nhất của dầm mái (mm)

Khung ngang	Chiều cao cột (m)	Chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột (mm)	Chiều dài nhịp (m)	Độ võng lớn nhất của dầm mái (mm)
H-2-26 -200	9,70	31,75 (98%)	25,650	45,75 (46%)
H-2-32 -200	9,80	30,43 (93%)	31,615	37,99 (30%)
S-2-26 -200	9,70	29,64 (94%)	25,665	48,75 (49%)
S-2-32 -200	9,80	32,52 (100%)	31,615	61,56 (50%)
S-1-26 -200	9,70	31,00 (99%)	25,320	49,50 (48%)
S-1-32 -200	9,80	28,72 (91%)	31,200	64,16 (50%)
H-1-26 -100	9,35	28,34 (95%)	25,330	26,70 (27%)
H-1-32 -100	9,50	30,02 (95%)	31,300	45,00 (35%)

2.4 Kết quả kiểm tra ổn định tổng thể của cột và bèn của dầm mái:

Kết quả ứng suất pháp lớn nhất trong cột khi tính theo ổn định tổng thể trong mặt phẳng khung đạt từ 48% đến 67% (chỉ riêng cột biên khung S-2-26-200 đạt 89%) so với cường độ chịu nén của thép là 21 kN/cm²; và khi tính theo ổn định tổng thể ngoài mặt phẳng khung đạt từ 34% đến 54% (chỉ riêng cột biên và giữa khung S-2-32-200 tương ứng đạt 71% và 81%) [11]. Ngoài ra, kết quả ứng suất pháp lớn nhất trong dầm mái khi tính theo bèn chịu mô men uốn tại các tiết diện đầu dầm đạt từ 45% đến 67% so với cường độ tính toán chịu kéo của thép; và tại các tiết diện giữa dầm đạt từ 25% đến 38% [11]. Như vậy, kích thước tiết diện cột của các khung ngang được quyết định theo yêu cầu đảm bảo về chuyển vị ngang của khung và kích thước tiết diện dầm mái đều thừa khả năng chịu lực và yêu cầu về độ võng (Bảng 5).

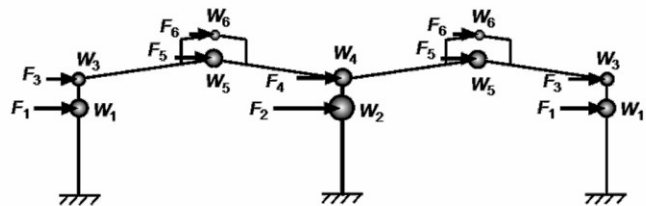
3. Đánh giá tác dụng của tải trọng động đất tĩnh ngang tương đương và so sánh với tải trọng gió

3.1 Xác định khối lượng tham gia dao động, lực cắt đáy và tải trọng động đất tĩnh ngang tương đương

Các khung ngang được xây dựng ở Hà Nội và Sơn La có đỉnh gia tốc nền tham chiếu tương ứng theo phương ngang là 0,1097g và 0,1893g, trong đó gia tốc trọng trường $g = 9,81415 \text{ m/s}^2$ [3]. Công trình được xây dựng có hệ số tầm quan trọng bằng đơn vị và nền đất thuộc loại D với hệ số nền bằng 1,35. Như vậy, đỉnh gia tốc nền thiết kế là $a = 0,1097g \times 1,35 \times 1 = 0,148095g$ cho các khung ở Hà Nội và $a = 0,1893g \times 1,35 \times 1 = 0,255555g$ cho các khung ở Sơn La. Trọng lượng để xác định khối lượng tham gia dao động và từ đó xác định dao động riêng của kết cấu công trình như sau: a) Phần tác dụng ở trên mái và cửa trời gồm: toàn bộ trọng lượng của hệ tấm mái, dầm mái, giằng mái, cửa trời và lấy 50% hoạt tải sửa chữa mái; b) Phần tác dụng ở cao trình vai cột gồm: toàn bộ trọng lượng của dầm cầu trục, ray, dầm hãm, cột khung, hệ tấm tường bao che, giằng cột, thân cầu trục, xe con và giả thiết lấy 20% sức trục cho trường hợp sức trục trung bình và chế độ làm việc trung bình [3-7, 10, 11].

Với cầu trục có sức trục 200 kN, trọng lượng của thân cầu trục và xe con là 246,55 kN khi nhịp dài 32 m và 170,25 kN khi nhịp dài 26 m. Với cầu trục có sức trục 100 kN, trọng lượng của thân cầu trục và xe con là 185 kN khi nhịp dài 32 m và 118,4 kN khi nhịp dài 26 m. Các cầu trục ở mỗi nhịp khung được xếp ở vị trí bất lợi nhất cho cột khung. Trong nghiên cứu này, chỉ xét trường hợp trọng lượng từ cầu trục được truyền đều lên hai vai cột đỡ cầu trục. Khi lấy 20% của sức trục 100 kN và 200 kN để xác định khối lượng tham gia dao động thì phần khối lượng này chiếm tương ứng là 8% và 16% tổng khối lượng từ các cầu trục được xếp ở vị trí bất lợi nhất, hoặc chiếm tương ứng là 5% và 10% tổng khối lượng của công trình tác dụng lên khung (Bảng 6). Như vậy, với trường hợp cầu trục có sức trục nhẹ và trung bình được khảo sát (100 kN và 200 kN), phần trọng lượng từ sức trục khi xác định khối lượng tham gia dao động là chiếm không lớn trong tổng trọng lượng tham gia dao động của công trình. Có thể nói với trường hợp sức trục nhẹ với chế độ làm việc trung bình và nhẹ, phần khối lượng tham gia dao động từ sức trục có thể bỏ qua.

Hình 3 và Bảng 6 minh họa vị trí trọng lượng tập trung để xác định khối lượng tham gia dao động của các khung ngang hai nhịp, được xem tập trung ở các vị trí vai cột (W_1 và W_2), đỉnh cột (W_3 và W_4), đỉnh mái (W_5) và đỉnh cửa trời (W_6) và biên độ dao động s_i .



Hình 3. Trọng lượng W_i để xác định khối lượng tham gia dao động và tải trọng động đất F_i

Bảng 6. Trọng lượng W_i và tải trọng động đất F_i tác dụng lên các khung ngang hai nhịp

TT	Vị trí	H-2-32-200			S-2-32-200		
		W_i (kN)	s_i	F_i (kN)	W_i (kN)	s_i	F_i (kN)
6	Đỉnh cửa trời	19,77	0,00377	3,09	20,74	0,00428	6,29
5	Đỉnh xà mái	54,57	0,00439	9,91	54,77	0,00369	14,32
4	Đỉnh cột	Giữa	54,57	0,00437	9,88	54,77	0,00432
3		Biên	27,28	0,00428	4,84	27,39	0,00412
2	Vai cột	Giữa	325,51	0,00255	34,42	319,43	0,00272
1		Biên	174,97	0,00243	17,60	167,40	0,00249

Bảng 7 chỉ ra kết quả tổng trọng lượng để xác định khối lượng tham gia dao động, giá trị chu kỳ dao động riêng bậc một của khung, phổ gia tốc thiết kế tương ứng với dạng dao động riêng bậc một và giá trị lực cắt đáy do lực động đất tác dụng theo phương ngang cho các khung. Chu kỳ dao động riêng của khung được xác định bằng phần mềm tính kết cấu SAP với các giá trị trong khoảng 0,635 giây đến 0,705 giây. Với loại nền đất khảo sát thuộc loại D có giá trị phổ gia tốc thiết kế là không đổi trong khoảng chu kỳ dao động từ 0,2 đến 0,8 giây. Điều này có nghĩa là giá trị phổ gia tốc thiết kế tương ứng với dạng dao động riêng bậc một cho các khung nhà công nghiệp một tầng bằng thép được khảo sát là không phụ thuộc vào giá trị chu kỳ dao động riêng và được xác định bằng [3,4]: $S_a = 2,5a/q$, trong đó a là đỉnh gia tốc nền thiết kế và q là hệ số ứng xử của kết cấu. Trong nghiên cứu này, giá trị của q nhằm kể đến yêu cầu về mức độ biến dạng phi tuyến của kết cấu được lấy bằng 3 để đánh giá tác động của tải trọng động đất so với gió ngang [3-7, 10, 11]. Trong trường hợp yêu cầu cần giảm hơn nữa mức độ biến

dạng dèo của kết cấu khung thép một tầng có cầu trục, hệ số ứng xử có thể được lấy nhỏ hơn 3, chẳng hạn bằng 2,5, khi đó tác động của động đất sẽ tăng thêm 1,2 lần. Việc đánh giá yêu cầu về giá trị của hệ số ứng xử có kể đến tác dụng của động đất đồng thời theo phương ngang và đứng đối với kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng có cầu trục sẽ được trình bày ở các nghiên cứu tiếp theo.

Bảng 7. Lực cắt đáy do động đất và tỷ lệ so với do tải trọng gió ngang

Khung ngang	Tổng trọng lượng W (kN)	Chu kỳ T_r (giây)	Phổ gia tốc S_e (g)	Lực cắt đáy do động đất (kN)	Lực cắt đáy do gió ngang (kN)	Tỷ lệ so với lực cắt đáy do gió
H-2-26-200	796,62	0,6821	0,123413	98,31	76,63	1,3
H-2-32-200	933,28	0,6592	0,123413	115,18	89,68	1,6
S-2-26-200	789,39	0,7050	0,212963	168,11	37,17	4,5
S-2-32-200	914,80	0,6967	0,212963	194,82	45,41	4,3
S-1-26-200	406,21	0,6768	0,212963	86,51	36,94	2,3
S-1-32-200	486,69	0,6394	0,212963	103,65	42,11	3,7
H-1-26-100	341,90	0,6352	0,123413	42,19	76,97	0,5
H-1-32-100	412,96	0,6694	0,123413	50,97	76,63	0,7

Lực cắt đáy của khung do tải trọng động đất gây ra tương ứng với dạng dao động riêng bậc một được xác định bằng: $V = S_e M$ với M là tổng khối lượng tham gia dao động của khung được xác định dựa theo tổng trọng lượng ở Bảng 6. Kết quả tính ở Bảng 7 đã chỉ rõ rằng lực cắt đáy do động đất đối với các khung hai nhịp là lớn hơn khoảng 2 lần đối với các khung một nhịp có cùng các thông số tương ứng (như cùng vị trí xây dựng, sức trục và chiều dài nhịp). Cụ thể, lực cắt đáy của khung hai nhịp S-2-26-200 và S-2-32-200 lớn hơn khoảng 2 lần so với khung một nhịp S-1-26-200 và S-1-32-200 tương ứng. Trong khi đó, giá trị lực cắt đáy do tác dụng của tải trọng gió ngang đối với các khung một nhịp là gần giống với các khung hai nhịp. Trong Bảng 7, kết quả phân tích cũng đã chỉ ra lực cắt đáy do động đất tăng khi chiều dài nhịp khung tăng; cụ thể lực cắt đáy của khung nhịp 32 m là lớn hơn khoảng 10% so với khung nhịp 26 m. Điều này là do trường hợp khung nhịp 32 m có trọng lượng tham gia dao động là lớn hơn khung nhịp 26 m.

Bảng 8 và 9 chỉ ra tỷ lệ phần trăm của tải trọng động đất, F_i , tác dụng ở các vị trí tập trung khối lượng so với lực cắt đáy, V , của các khung ngang. Kết quả đã chỉ ra rằng tải trọng động đất chủ yếu tập trung ở vị trí cao trình vai cột đỡ cầu trục, chiếm khoảng từ 60 đến 65% lực cắt đáy đối với tất cả các khung có 2 nhịp và 1 nhịp. Phần tải trọng động đất tác dụng ở đỉnh cửa trời là không lớn, chiếm khoảng 4,2% đến 6,5% lực cắt đáy.

Bảng 8. Tỷ lệ % tải trọng động đất với lực cắt đáy của các khung ngang hai nhịp

TT	Vị trí	H-2-26-200		H-2-32-200		S-2-26-200		S-2-32-200	
		F_i (kN)	F_i IV (%)	F_i (kN)	F_i IV (%)	F_i (kN)	F_i IV (%)	F_i (kN)	F_i IV (%)
1	Đỉnh cửa trời	5,47	5,6	6,18	5,4	9,35	5,6	12,59	6,5
2	Đỉnh xà mái	16,12	16,4	19,82	17,2	26,05	15,5	28,65	14,7
3	Đỉnh cột biên và giữa	15,93	16,2	19,55	17,0	25,80	15,3	32,79	16,8
4	Vai cột biên và giữa	60,79	61,8	69,62	60,4	106,91	63,6	120,79	62,0
5	Lực cắt đáy V (kN)	98,31		115,18		168,11		194,82	

Bảng 9. Tỷ lệ % tải trọng động đất với lực cắt đáy của các khung ngang một nhịp

TT	Vị trí	S-1-26-200		S-1-32-200		H-1-26-100		H-1-32-100	
		F_i (kN)	F_i IV (%)	F_i (kN)	F_i IV (%)	F_i (kN)	F_i IV (%)	F_i (kN)	F_i IV (%)
1	Đỉnh cửa trời	3,64	4,2	6,73	4,3	2,37	5,6	2,89	5,7
2	Đỉnh xà mái	13,65	15,8	26,79	17,2	7,37	17,5	9,45	18,5
3	Đỉnh cột biên	13,46	15,6	26,44	17,0	7,27	17,2	9,36	18,4
4	Vai cột biên	55,76	64,5	95,50	61,4	25,19	59,7	29,27	57,4
5	Lực cắt đáy V (kN)	86,51		155,47		42,19		50,96	

3.2 Đánh giá tác dụng của tải trọng động đất tĩnh ngang tương đương và gió lên các khung ngang

Bảng 7 chỉ ra kết quả tỷ lệ so sánh giữa lực cắt đáy do tải trọng động đất tĩnh ngang tương đương và do gió ngang đối với tất cả các khung ngang. Kết quả đã chỉ ra rằng các khung có sức trục bằng 200 kN đều có lực cắt đáy do động đất lớn hơn nhiều lần so với lực cắt đáy do gió ngang. Cụ thể, khung hai nhịp S-2-26-200 và S-2-32-200 ở Sơn La có lực cắt đáy do động đất lớn hơn 4,3 và 4,5 lần so với lực cắt đáy do gió ngang tương ứng. Với các khung một nhịp S-1-26-200 và S-1-32-200, tỷ lệ lớn hơn là 2,3 và 3,7 lần. Các khung hai nhịp H-2-26-200 và H-2-32-200 ở Hà Nội có tỷ lệ lớn hơn là 1,3 và 1,6 lần. Các tỷ lệ này còn tăng hơn nữa trong trường hợp sử dụng giá trị của hệ số ứng xử η nhỏ hơn 3. Tuy nhiên, với các khung một nhịp H-1-26-100 và H-1-32-100 với sức trục bằng 100 kN và ở Hà Nội, kết quả lực cắt đáy do động đất với hệ số ứng xử bằng 3 là nhỏ hơn đáng kể so với do gió ngang. Như vậy, trong trường hợp các khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục với sức trục trung bình và lớn, đặc biệt là các khung có nhiều nhịp, việc xác định tải trọng động đất là cần thiết. Trong trường hợp các khung có cầu trục với sức trục nhỏ hoặc không có cầu trục, việc xác định tải trọng động đất có thể là không cần thiết.

Bảng 10 chỉ ra kết quả mô men uốn của các khung do tải trọng động đất và gió ngang gây ra ở tại các vị trí nguy hiểm là chân cột, đầu dầm và giữa dầm mái. Với các khung xây dựng ở Sơn La, kết quả mô men uốn ở chân cột biên do động đất là lớn hơn so với do gió ngang từ 1,6 đến 1,9 lần. Với các khung hai nhịp, mô men uốn ở chân cột giữa do động đất là lớn hơn do gió 1,6 và 1,7 lần tương ứng cho các khung H-2-26-200 và H-2-32-200 ở Hà Nội và lên đến 4,8 và 5,3 lần cho các khung S-2-26-200 và S-2-32-200 ở Sơn La.

Bảng 11 trình bày kết quả mô men uốn trong khung do riêng tải trọng động đất và gió ngang gây ra tại các vị trí nguy hiểm là đầu dầm (vị trí mép trong của cột) và giữa dầm mái cho các khung. Kết quả đã chỉ ra rằng ở vị trí đầu dầm, các khung đều có giá trị mô men uốn do động đất nhỏ hơn do gió ngang. Tuy nhiên với vị trí ở giữa dầm, các khung ở Sơn La đều có giá trị mô men uốn do động đất là lớn hơn đáng kể so với do gió ngang từ 1,4 đến 1,9 lần. Điều này là do tải trọng gió ngoài thành phần tác dụng theo phương ngang còn có thành phần gió bốc tác dụng ở trên mái.

Bảng 10. Mô men uốn do tải trọng động đất và gió ngang nhà ở chân cột biên và cột giữa

Khung ngang	Mô men uốn (kNm)		Tỷ lệ so với gió ngang
	Do động đất	Do gió ngang	
Tại chân cột biên			
H-2-26-200	155,10	253,59	0,6
H-2-32-200	178,76	316,77	0,6
S-2-26-200	264,17	141,70	1,9
S-2-32-200	316,21	187,30	1,7
S-1-26-200	260,83	159,02	1,6
S-1-32-200	315,37	198,48	1,6
H-1-26-100	125,91	289,61	0,4
H-1-32-100	150,14	322,95	0,5
Tại chân cột giữa			
H-2-26-200	272,39	173,12	1,6
H-2-32-200	327,11	191,41	1,7
S-2-26-200	471,03	98,08	4,8
S-2-32-200	560,08	106,36	5,3

Bảng 11. Mô men uốn do tải trọng động đất và gió ngang nhà ở đầu và giữa dầm mái

Khung ngang	Mô men tại đầu dầm mái			Mô men tại giữa dầm mái		
	Động đất (kNm)	Gió ngang (kNm)	Tỷ lệ so với gió ngang	Động đất (kNm)	Gió ngang (kNm)	Tỷ lệ so với gió ngang
H-2-26-200	41,71	142,65	0,3	26,48	49,74	0,5
H-2-32-200	50,45	194,71	0,3	32,38	68,14	0,5
S-2-26-200	73,32	96,21	0,8	41,54	21,44	1,9
S-2-32-200	82,60	109,57	0,8	53,38	38,01	1,4
S-1-26-200	66,74	91,14	0,7	42,03	27,75	1,5
S-1-32-200	85,31	129,48	0,7	50,26	31,33	1,6
H-1-26-100	37,97	172,56	0,2	23,52	56,72	0,4
H-1-32-100	47,65	232,30	0,2	29,71	75,09	0,4

Bảng 12 trình bày kết quả chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột khung nhận được từ kết quả phân tích kết cấu theo sơ đồ vật liệu làm việc đàn hồi dưới tác dụng của tải trọng động đất tĩnh ngang tương đương. Tương tự như kết quả mô men uốn ở cột khung, với các khung ở Sơn La, kết quả chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột do tải trọng động đất là lớn hơn do tải trọng gió ngang từ 2,4 đến 2,8 lần. Với các khung ở Hà Nội, kết quả chuyển vị ngang lớn nhất ở đỉnh cột do động đất là nhỏ hơn do gió ngang từ 0,7 đến 0,9 lần.

Bảng 12. Chuyển vị ngang do tải trọng động đất và gió ngang ở đỉnh cột biên

Khung ngang	Chuyển vị ở đỉnh cột biên (mm)		Tỉ lệ so với gió ngang
	Do động đất	Do gió ngang	
H-2-26-200	18,50	19,96	0,9
H-2-32-200	17,34	20,62	0,8
S-2-26-200	34,59	12,2	2,8
S-2-32-200	31,81	12,55	2,5
S-1-26-200	32,99	13,51	2,4
S-1-32-200	28,23	11,75	2,4
H-1-26-100	15,56	23,14	0,7
H-1-32-100	16,94	22,84	0,7



4. Kết luận

Tám khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục đã được thiết kế chịu tĩnh tải, hoạt tải sửa chữa mái, cầu trục, gió ngang và gió dọc nhà. Các thông số của khung gồm một nhịp và hai nhịp đều nhau, chiều dài nhịp là 26 m và 32 m, sức trục là 200 kN và 100 kN với chế độ làm việc trung bình, vị trí xây dựng ở Hà Nội và Sơn La. Tải trọng động đất tĩnh ngang tương đương đã được xác định cho các khung này. Kết quả phân tích kết cấu theo mô hình vật liệu làm việc đàn hồi đã chỉ ra rằng trong trường hợp các khung được khảo sát với sức trục bằng 200 kN, kết quả lực cắt đáy và mô men uốn ở chân cột do tải trọng động đất đều lớn hơn nhiều lần so với do gió ngang gây ra. Kết quả có xu hướng càng lớn khi sức trục, số nhịp khung và chiều dài nhịp khung tăng. Như vậy việc thiết kế kháng chấn cho kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng có cầu trục với sức trục trung bình và lớn là cần thiết, đặc biệt khi công trình được xây dựng ở khu vực có động đất mạnh trong khi gió không lớn (như Sơn La, Điện Biên Phủ,...). Kết quả nghiên cứu này giúp cho việc thiết kế khung thép nhà công nghiệp một tầng có cầu trục được phù hợp hơn.

Lời cảm ơn : Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ phát triển khoa học và công nghệ quốc gia (NAFOSTED); mã số 107.02-2014.18.

Tài liệu tham khảo

- TCVN 2737:1995, *Tải trọng và tác động*, Hà Nội.
- TCVN 5575:2012, *Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế*, Hà Nội.
- TCVN 9386:2012, *Thiết kế công trình chịu động đất*, Hà Nội.
- CEN (2003), *Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings*, Brussels, Belgium.
- ICC (2003), *International Building Code*. International Code Council, Falls Church: Virginia.
- ICBO (1997), *Uniform Building Code, Vol. 2: Structural Engineering Design Provisions*, International Conference of Building Officials, Whittier, California.
- ANSI/AISC 341-02 and -05, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction
- Nguyễn Lê Ninh (2007), *Động đất và thiết kế công trình chịu động đất*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- Dinh Văn Thuật (2014), "Strength reduction factor demands for building structures under different earthquake levels", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, John Wiley & Sons, 23(1), 42-53.
- Đinh Văn Thuật, Đào Quốc Việt, Nguyễn Việt Sơn (2016), "Một số vấn đề khi xác định tải trọng động đất tác dụng lên khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục", *Tạp chí KHCN Xây dựng, Trường ĐHXD*, số 27, 17-24.
- Đinh Văn Thuật (2016), *Đánh giá ứng xử phi tuyến của kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng nhiều nhịp có cầu trục*, Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp trường ĐTD, Trường ĐHXD.