

XÁC ĐỊNH CHU KỲ DAO ĐỘNG RIÊNG CỦA NHÀ KHUNG Ở VÙNG CHỊU ĐỘNG ĐẤT

TS. LÊ THỊ THU HUYỀN
Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Bài viết phân tích các đặc điểm động lực của nhà khung. Đưa ra đánh giá ảnh hưởng của kích thước công trình trên mặt bằng (chiều dài) và loại đất nền tới chu kỳ và sự suy giảm dao động của kết cấu nhà khung. Đưa ra các mối tương quan thực nghiệm cho kết cấu nhà khung: “chu kỳ - số tầng”, “sự suy giảm động - số tầng”. Phân tích này được thực hiện để đánh giá các tác động của động đất tới các yếu tố cường độ, thời gian và tỉ lệ lặp lại các đặc trưng động lực của nhà khung.

1. Đặt vấn đề

Chu kỳ dao động và các đặc tính động lực học khác của công trình là những yếu tố quan trọng khi xác định lực động đất tác dụng lên kết cấu (SNiP II-7-81*, mục 2.6 [1]). Trong một số phạm vi cho phép của chu kỳ dao động riêng giá trị lực động đất phụ thuộc vào chu kỳ dao động riêng của công trình [2-5]. Mặc dù, nửa thế kỷ kinh nghiệm ứng dụng phương pháp tính toán phổ phản ứng trong vùng chịu động đất, lực động đất phụ thuộc vào giá trị chu kỳ dao động riêng của công trình, loại đất nền, nếu áp dụng những tiêu chuẩn khác nhau sẽ có sự khác nhau đối với các dạng công trình giống nhau hoặc tương tự nhau về cấu tạo [6-8], sự khác nhau này có thể lên tới 1,5 – 2 lần. Nguyên nhân dẫn đến sự khác biệt đó là các phương pháp thực tế xác định đặc điểm động lực học rất khác nhau, trong đó có phương pháp về xác định chu kỳ dao động riêng.

Ví dụ, trong tiêu chuẩn của Mỹ (UBC 1997) [15], châu Âu (EN 1998-1:2004) [16] đôi khi ứng dụng công thức đơn giản $T_1 = kN_1$, ở đó: k là một hệ số, N_1 - là số tầng. Khi đó đã không tính đến ảnh hưởng của các yếu tố: độ cứng và ảnh hưởng của nó tới giá trị chu kỳ dao động riêng của công trình, cũng như loại đất nền ở khu vực xây dựng.

Trong thực tế, phương pháp phổ biến nhất là phương pháp xác định chu kỳ dao động riêng. Trong trường hợp này, phạm vi kết quả nhận được biến đổi rất lớn phụ thuộc vào nhiều yếu tố và phương pháp xác định chúng. Điều này dẫn đến việc, trong nhiều trường hợp tính toán các công trình giống nhau nhưng lại nhận được các kết quả khác nhau.

Bài báo này thảo luận một số vấn đề chính về xác định tính chất động lực học của công trình, trong đó chủ yếu là về T_1 – chu kỳ dao động cơ bản (thứ nhất) của nhà khung.

Có kể đến những khó khăn trong việc phân tích tập hợp những yếu tố ảnh hưởng đến chu kỳ và các đặc điểm dao động riêng khác, những yếu tố đó như: đất nền, liên kết, động đất, tường ngăn, kính, cầu thang,...

Bài báo cũng đưa ra giả thiết cho thực tế xác định chu kỳ dao động riêng (T) theo dạng cơ bản của nhà khung.

2. Quan sát thực tế và những đo đạc thực nghiệm

Năm 1967 ở Nga đã thành lập trạm nghiên cứu địa chấn với các loại nhà có cấu tạo, số tầng khác nhau, được xây dựng ở các vùng có cấp động đất khác nhau. Nhà được quan sát được gọi là “Trạm nghiên cứu địa chấn”, có bản thuyết minh chứa các thông tin sau:

- Ngày xây dựng và tổ chức quan sát địa chấn;
- Kích thước của nhà, số tầng, đặc điểm cấu tạo, điều kiện địa chất.

Trong thực tế, giá trị thực nghiệm của chu kỳ dao động riêng nhận được bằng cách sử dụng phương pháp kích thích dao động riêng bằng lực xung động hay lực dao động động lực học với cường độ nhỏ (theo số liệu ghi chép). Lực kích thích có thể là lực gió với vận tốc 15 - 35 m/s bằng lực động đất cấp IV - V (MSK-64).

KHẢO SÁT - THIẾT KẾ XÂY DỰNG

Bảng kết quả tổng hợp của “Trạm nghiên cứu địa chấn” phải chứa các đặc tính động lực học (chu kỳ dao động riêng chính, suy giảm dao động), chỉ ra phương pháp và ngày xác định [9].

Trên thực tế giá trị chu kỳ dao động không phải là cố định. Trong quá trình sử dụng xảy ra độ lún nền móng, xuất hiện các vết nứt lớn và nhỏ liên quan đến rung động từ hoạt động của quá trình sản xuất. Và cuối cùng, lực động đất gây ảnh hưởng đến sự thay đổi độ cứng của nhà và do đó thay đổi chu kỳ dao động.

Quan sát địa chấn ở thành phố Petropavlobska-Kamchatskii, Liên Bang Nga đưa tới việc đánh giá ảnh hưởng tác động của động đất lên chu kỳ dao động. Trong bảng 1 đưa ra kết quả đo đạc theo năm chu kỳ dao động của nhà kết cấu khung, có hệ số độ lớn μ và số tầng n [10]. Trong khoảng thời gian từ năm 1977 đến năm 1984, tại khu vực có những nhà này đã xảy ra trên 70 động đất từ cấp III - IV và 2 động đất cấp V. Từ bảng 1 nhận thấy rằng, lực động đất gây ảnh hưởng tới chu kỳ dao động của nhà, tăng trung bình 10% so với chu kỳ, xác định trước động đất.

Bảng 1. Ảnh hưởng tác động của động đất tới chu kỳ dao động riêng của nhà khung (theo tính toán của trạm địa chấn thành phố Petropavlobska - Kamchatskii) [9]

n	μ	Loại đất nền	Chu kỳ dao động, T, s					% tăng của chu kỳ
			Năm xác định chu kỳ					
			1977	1978	1980	1983	1984	
5	3,7	III	0,37	0,37	---	0,40	---	7,5
5	3,8	II	---	0,37	4,20	0,41	---	12,0
5	4,6	III	---	0,35	0,38	0,41	---	15,0
9	1	II	---	0,51	0,38	0,51	0,51	6,0

Bảng 2. Chu kỳ dao động, được xác định theo các mối liên hệ khác nhau với nhà khung “ $T^n - n$ ”

n Số tầng	Chu kỳ, T, s			
	Mối liên hệ thực nghiệm $T^n - n$			
	[11] $T^n=0,07n$ (1)	[12], [13] $T^n=0,064n$ (2) $T^n=0,068n + 0,05$ (3)	Tiêu chuẩn Mỹ $T_L^n = 0,0905 \frac{H}{\sqrt{L}}$ (4) ($H=3n$); $L=10$ m	Tiêu chuẩn châu Âu $T^n=n/12$ (5)
5	0,35	0,32 [4]	0,429	0,416
25	1,75	1,6 [4]	2,146	2,083

Trong nghiên cứu ở tài liệu [11, 12, 13] đưa ra sự phụ thuộc (theo thực nghiệm) giữa chu kỳ T_n và số tầng n với nhà khung, thu thập được từ những dữ liệu của Mỹ và châu Âu. Sự phụ thuộc “ $T^n - n$ ” và giá trị chu kỳ của nhà khung 5 tầng và 25 tầng được thể hiện ở bảng 2. Mặc dù quan sát được sự khác nhau giữa các giá trị của chu kỳ, được tính toán theo (1), (2), (3), (4), đây là những công thức trong thực tế thường sử dụng để xác định chu kỳ dao động chính của nhà có số tầng khác nhau. Từ bảng 1 nhận thấy rằng, các công thức tính toán không nói lên sự phụ thuộc vào các yếu tố như: đất nền, kích thước của nhà. Hơn nữa, tất cả các giá trị nêu ở bảng 1, mối quan hệ thực nghiệm giữa “ $T^n - n$ ” chỉ có công thức (4) theo tiêu chuẩn Mỹ là cho phép xác định ảnh hưởng chiều dài của nhà tới chu kỳ dao động của nhà khung.

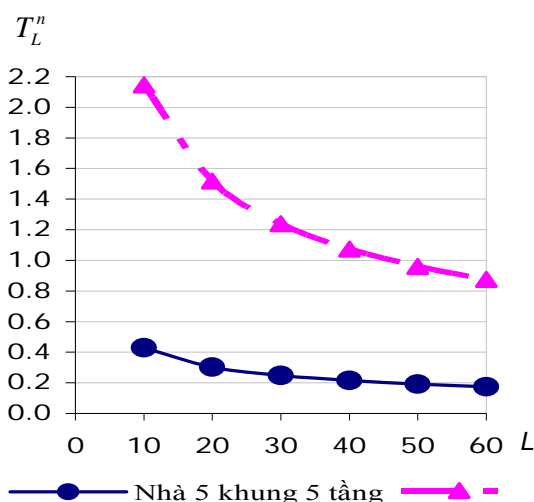
Biến đổi công thức:

$$T_L^n = 0,0905 \frac{H}{\sqrt{L}} = 0,2715 \frac{n}{\sqrt{L}}$$

Trong đó: $H = 3n$, xác định chu kỳ dao động với 12 nhà 5, 25 tầng với chiều dài 10, 20, 30, 40, 50, 60m.

Trên hình 1 thể hiện mối liên hệ “ $T_L^n - L$ ” với nhà khung 5, 25 tầng, xác định theo công thức (4). Từ hình 1 nhận thấy, khi tăng chiều dài của nhà thì chu kỳ giảm. Khi đó với nhà có chiều dài 10 - 30 m, chu kỳ dao động

thay đổi lớn hơn so với nhà có chiều dài trong khoảng 40 - 60 m.



Hình 1. Mối liên hệ " $T_L^n - L$ " đối với nhà khung có số tầng n và chiều dài L khác nhau (tính theo tiêu chuẩn Mỹ)

3. Phân tích sự phụ thuộc của chu kỳ dao động riêng của nhà khung

Với mục đích xác định sự phụ thuộc thực nghiệm của nhà khung – “chu kỳ - số tầng”, có kể đến đất nền và kích thước của nhà đã tiến hành thí nghiệm 48 nhà khung với số tầng từ 5 đến 25, có kích thước khác nhau, được xây dựng trên đất nền loại I, II và III (phân loại theo tính chất của động đất theo SNIP II-7-81*, bảng 1* [1]).

Ta nhận thấy, đã đưa vào hệ số μ , bằng tỉ số giữa chiều dài của nhà và chiều rộng. Chiều dài L được xác định bằng khoảng cách giữa các đầu hồi hoặc là từ đầu hồi tới khe nhiệt. Số lượng thí nghiệm cho phép xác định 6 mối liên hệ giữa " $T_\mu^n - n$ " đối với nhà khung trên đất nền số II và hệ số μ từ 1 đến 6. Trong lần làm tròn thứ nhất mối liên hệ “chu kỳ - số tầng” là đường thẳng, còn hệ số của phương trình thì được xác định trên cơ sở thực nghiệm theo phương pháp bình phương tối thiểu.

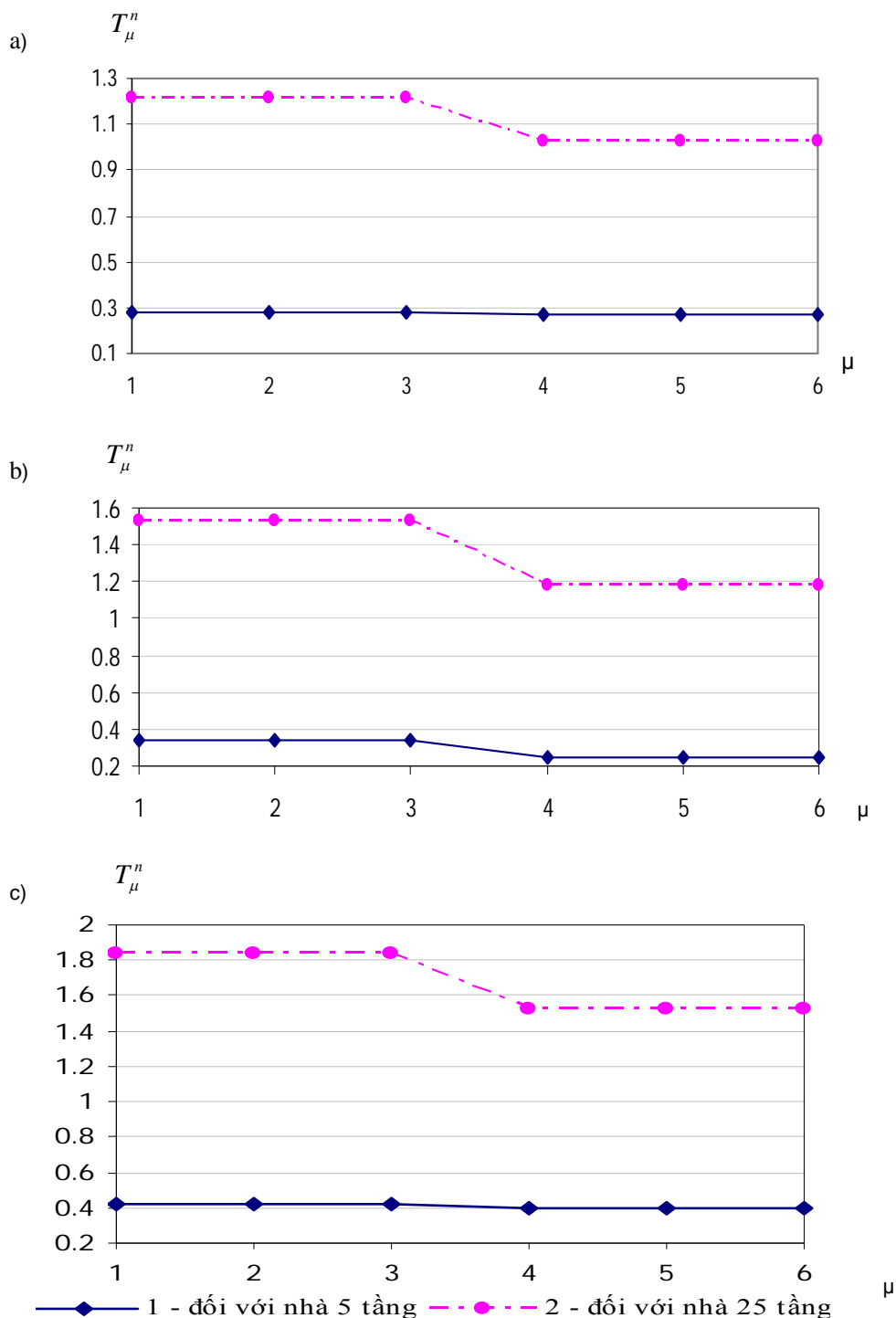
Ở bảng 3 đưa ra 6 mối liên hệ " $T_\mu^n - n$ ", đối với mỗi giá trị μ xác định giá trị của chu kỳ đối với nhà 5 và 25 tầng. Các phương trình từ (6) - (11) là tổng của 2 phân tử: phân tử thứ nhất tương ứng với chu kỳ dao động riêng của nhà với số tầng bất kỳ (kể cả nhà 1 tầng), phân tử thứ 2 tương ứng với chu kỳ dao động của đất nền.

Bảng 3. Mối liên hệ thực tế " $T_\mu^n - n$ " đối với nhà khung trên nền đất loại II và độ lớn $\mu = 1 \div 6$

μ	" $T_\mu^n - n$ "	$T_{\mu=1 \div 6}^n$	
		$n = 5$	$n = 25$
1	$T_{\mu=1}^n = 0,06n + 0,04$ (6)	0,34	1,54
2	$T_{\mu=2}^n = 0,059n + 0,045$ (7)	0,34	1,52
3	$T_{\mu=3}^n = 0,058n + 0,005$ (8)	0,34	1,5
4	$T_{\mu=4}^n = 0,049n + 0,075$ (9)	0,32	1,3
5	$T_{\mu=5}^n = 0,047n + 0,085$ (10)	0,32	1,26
	$T_{\mu=6}^n = 0,046n + 0,09$ (11)	0,32	1,24

Phân tích mối liên hệ " $T_\mu^n - n$ " cho đất nền loại II chỉ ra rằng, chu kỳ dao động của nhà khung không thay đổi nhiều khi $\mu = 1 \div 3$ và khi $\mu = 4 \div 6$. Điều này cho phép phân loại nhà khung theo kích thước nhỏ ($\mu = 1 \div 3$) và lớn ($\mu = 4 \div 6$).

Do đó, để xác định chu kỳ dao động của nhà khung với kích thước khác nhau ($\mu = 1\div 6$) thì chỉ cần sử dụng 2 phương trình: (7) khi $\mu = 1\div 3$ và (10) khi $\mu = 4\div 6$. Đối với nhà có μ nằm ở trong khoảng $\mu = 3$ và $\mu = 4$ thì chu kỳ dao động được xác định bằng phép nội suy tuyến tính.



Hình 2. Mối liên hệ thực nghiệm " $T_{\mu}^n - n$ " được xác định theo phương trình (7), (14), (15) (đối với nhà khung có $\mu = 1\div 3$) và (10), (16), (17) (đối với nhà khung có $\mu = 4\div 6$) dựa trên kết quả thí nghiệm ở trạm nghiên cứu địa chấn: a, b, c - đối với nhà khung, được xây dựng trên nền đất loại I, II, III

Phân loại nhà theo kích thước cho phép xác định mối liên hệ " $T_{\mu}^n - n$ " cho nhà có kích thước lớn và kích thước nhỏ trên đất nền khác nhau. Ở bảng 4 nêu ra các mối liên hệ thực tế của nhà khung không lớn

(12), (7), (14) và nhà khung lớn (13), (10), (15) được xây dựng trên đất nền loại I, II, III phân loại theo tính chất của động đất. Mặc dù, các mối liên hệ này được xác định trên cơ sở số lượng thí nghiệm tiến hành khác nhau, tất cả ảnh hưởng của đất nền lên giá trị chu kỳ dao động: khi tăng loại đất nền (từ loại I sang loại II hoặc III) thì chu kỳ dao động tăng [14].

Trên hình 2a, b đưa ra mối liên hệ thực nghiệm “ $T_{\mu}^n - n$ ” được xác định theo phương trình (7), (14), (15) (với nhà khung có kích thước không lớn, $\mu \leq 1\div 3$) và theo (10), (16), (17) (với nhà khung có kích thước lớn, $\mu \geq 4\div 6$) cao 5 và 25 tầng trên đất nền loại I (a), II (b) và III (c). Từ hình 2 nhận thấy, loại đất nền đưa ra ảnh hưởng của chu kỳ của nhà khung kích thước không lớn ($\mu = 1\div 3$) so với nhà khung có kích thước lớn ($\mu = 4\div 6$). Phân biệt ảnh hưởng của tầng lên chu kỳ dao động của nhà khung lớn và không lớn.

Bảng 4. Mối liên hệ thực nghiệm “ $T_{\mu}^n - n$ ” cho nhà khung có kể đến độ lớn μ và loại đất nền

Loại đất nền	Mối liên hệ “ $T_{\mu}^n - n$ ”	
	$\mu = 1\div 3$	$\mu = 4\div 6$
I	$T_{\mu=1\div 3}^n = T_{\mu=2}^n = 0,047n+0,04$ (12)	$T_{\mu=4\div 6}^n = T_{\mu=5}^n = 0,038n+0,08$ (13)
II	$T_{\mu=1\div 3}^n = T_{\mu=2}^n = 0,059n+0,05$ (7)	$T_{\mu=4\div 6}^n = T_{\mu=5}^n = 0,047n+0,01$ (10)
III	$T_{\mu=1\div 3}^n = T_{\mu=2}^n = 0,071n+0,06$ (14)	$T_{\mu=4\div 6}^n = T_{\mu=5}^n = 0,056n+0,12$ (15)

Để xác định hệ số ảnh hưởng đất nền ${}^n K_{\mu}^n$ tới chu kỳ dao động giả thiết rằng, với 1 trong 3 loại đất nền, hệ số ảnh hưởng của đất nền nhỏ hơn 1. Ví dụ, với đất nền loại 2 thì hệ số ${}^n K_{\mu}^n = 1$. Giá trị hệ số ảnh hưởng đất nền loại I và loại III là tỉ lệ giữa chu kỳ nhà tương ứng với số tầng và độ lớn, được phân biệt bởi loại đất nền. Từ bảng 5 nhận thấy, nếu như với đất nền loại II có hệ số ${}^n K_{\mu}^n = 1$, với đất nền loại I và III thì hệ số này tương ứng bằng 0,75 và 1,25. Nhận thấy hệ số 0,75 và 1,25 có thể được xác định bằng cách khác. Từ các phương trình (7), (14), (16) và (10), (15), (17) mối liên hệ giữa “ $T_{\mu}^n - n$ ” được thể hiện ở bảng 5.

Bảng 5. Hệ số ảnh hưởng của đất nền lên chu kỳ dao động riêng của nhà khung

Số lượng tầng, n	Chu kỳ dao động riêng của nhà khung, T, s						Hệ số ảnh hưởng của đất nền, K_{dn}	
	Khung nhỏ			Khung lớn			${}^I K_{\mu}^n = \frac{{}^I T_{\mu}^n}{{}^{II} T_{\mu}^n}$	${}^{III} K_{\mu}^n = \frac{{}^{III} T_{\mu}^n}{{}^{II} T_{\mu}^n}$
	Loại đất nền							
	I	II	III	I	II	III		
5	0,275	0,345	0,415	0,27	0,335	0,4	0,8 (=0,04/0,05) (từ phương trình (12), (7))	1,2 (=0,06/0,05) (từ phương trình (14), (7))
25	1,215	1,525	1,835	1,03	1,275	1,52	0,8(=0,04/0,05) (từ phương trình (13), (10))	1,2 (=0,12/0,1) (từ phương trình (15), (10))

Trên cơ sở những phân tích nói trên có thể đưa ra kết luận sau: khi xác định chu kỳ dao động của nhà khung cần thiết tính ảnh hưởng của loại đất nền và kích thước của nhà. Loại bỏ 2 yếu tố này có thể dẫn đến những thay đổi chu kỳ dao động không xác định được, đặc biệt là với nhà cao tầng.

Phân tích những mối liên hệ thực nghiệm được thể hiện ở công thức (7), (10), (14), (15), (16) và (17) chỉ ra rằng mối liên hệ giữa “ $T_{\mu}^n - n$ ” tuyến tính, không phụ thuộc vào đất nền khi giá trị μ không thay đổi. Theo hình 2 thì mối liên hệ giữa “ $T_{\mu}^n - n$ ” không phải là tuyến tính và có thể phân làm 3 đoạn. Trong đoạn thứ nhất tương ứng với μ từ 1 đến 3, trong đoạn thứ 2 từ 3 đến 4, đoạn thứ 3 từ 4 đến 6. Trong đoạn thứ 1 và đoạn thứ 3 thì có thể đưa ra mối liên hệ “ $T_{\mu}^n - n$ ” như sau:

Trong đoạn thứ 1 ($\mu = 1\div 3$):

$$T_{\mu=1\div 3}^n = T_{\mu=1}^{n-1} \cdot K_{\mu=1\div 3}^n = T_{\mu=1}^{n-1} \cdot \mu^{-\alpha n} \quad (16)$$

Trong đoạn thứ 3 ($\mu = 4 \div 6$):

$$T_{\mu=4 \div 6}^n = T_{\mu=1}^{n-1} \cdot K_{\mu=4 \div 6}^n = T_{\mu=1}^{n-1} \cdot \mu^{-\beta n} \quad (17)$$

Trong đó: $T_{\mu=1}^n$ – chu kỳ dao động của nhà có $\mu=1$, $K_{\mu=1 \div 3}^n$ và $K_{\mu=4 \div 6}^n$ – hệ số độ lớn, được xác định bằng các phương trình (6-11), theo công thức (16), (17) và được nêu ra ở bảng 6.

Khi thay đổi μ từ 1÷3 và từ 4÷6 chu kỳ dao động giảm. Mức độ giảm chu kỳ dao động phụ thuộc vào số tầng của nhà. Đối với nhà có số tầng nhỏ thì sự thay đổi μ từ 1 đến 3 và từ 4 đến 6 thay đổi không lớn. Đối với nhà cao tầng thì sự thay đổi này rất lớn. Sự thay đổi μ từ 3 đến 4 dẫn đến giảm chu kỳ dao động, và lớn khi tăng độ cao của nhà. Đối với nhà có hệ số μ nằm giữa 3 và 4 (đoạn thứ 2 của mối liên hệ “ $T^n - \mu$ ”), chu kỳ dao động được xác định bằng đường thẳng.

Giới thiệu công thức xác định chu kỳ dao động nhà khung có tính tới độ lớn của nhà và phân loại đất nền:

$$T_{\mu=1 \div 6}^n = {}^{\text{II}}T_{\mu=1}^n \cdot K_{\mu=1 \div 6}^n \cdot K_{dn} \quad (18)$$

Trong đó: $T_{\mu=1 \div 6}^n$ – chu kỳ dao động nhà khung có $\mu = 1 \div 6$ trên đất nền đã cho;

${}^{\text{II}}T_{\mu=2}^n$ – chu kỳ dao động của nhà khung có $\mu = 1$ trên đất nền loại II, được xác định từ phương trình (6) (bảng 3) hay từ hệ phương trình (19) và (20).

$$\begin{cases} \frac{T_{\mu=1}^n + T_{\mu=3}^n}{2} = T_{\mu=2}^n \\ T_{\mu=3}^n = T_{\mu=1}^n \cdot K_{\mu=3} \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{cases} \frac{T_{\mu=4}^n + T_{\mu=6}^n}{2} = T_{\mu=5}^n \\ T_{\mu=6}^n = T_{\mu=1}^n \cdot K_{\mu=6} \end{cases} \quad (20)$$

Trong đó: K_{μ}^n - hệ số, có kể đến ảnh hưởng kích thước của nhà;

$K_{\mu=1 \div 3}^n = \mu^{-\alpha n}$, $K_{\mu=4 \div 6}^n = \mu^{-\beta n}$, giá trị hệ số α , β được thể hiện ở bảng 6;

Bảng 6. Hệ số, có tính đến ảnh hưởng độ lớn của nhà khung

Nhà khung không lớn	Nhà khung lớn
$K_{\mu=1 \div 3}^n = \mu^{-\alpha n}$	$K_{\mu=1 \div 3}^n = \mu^{-\beta n}$
$\alpha = -0,0075; \mu^{-0,0075n}$	$\alpha = -0,0075; \mu^{-0,0054n}$

K_{dn} - hệ số, có tính đến ảnh hưởng của loại đất nền, giá trị được thể hiện ở bảng 5.

Công thức (18) có thể được viết ở dạng:

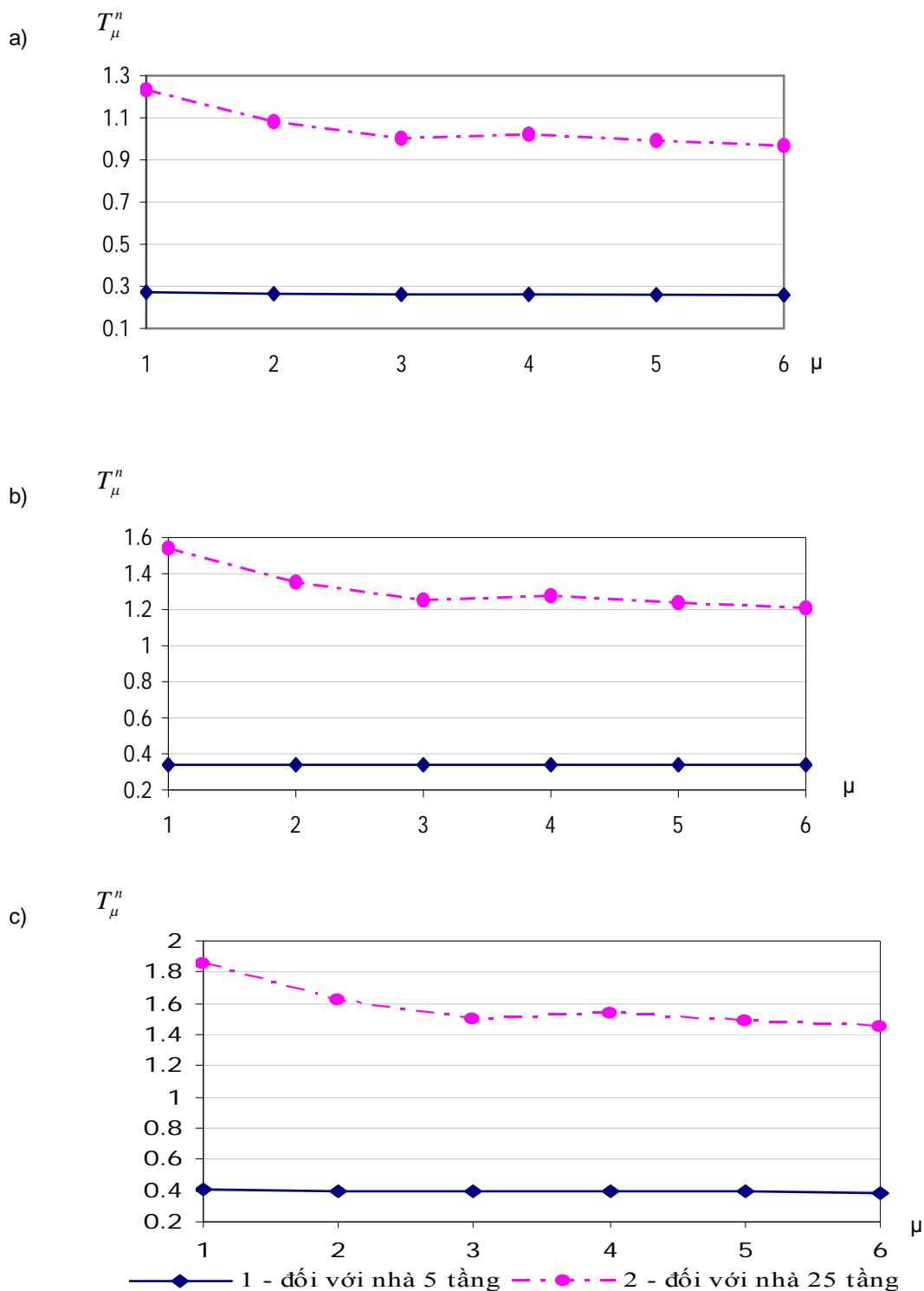
Đối với nhà khung không lớn:

$$T_{\mu=1 \div 3}^n = (0,06n+0,04) \cdot \mu^{-\alpha n} \cdot K_{dn} \quad (18a)$$

Đối với nhà khung lớn:

$$T_{\mu=4 \div 6}^n = (0,06n+0,04) \cdot \mu^{-\beta n} \cdot K_{dn} \quad (18b)$$

Trên hình 3 thể hiện mối liên hệ (18a và 18b) “ $T_{\mu}^n - \mu$ ” đối với nhà 5 và 25 tầng với hệ số độ lớn $\mu = 1 \div 6$ trên đất nền loại I (a), loại II (b) và loại III (c). Đưa ra mối liên hệ kinh nghiệm 18a và 18b phù hợp với thực nghiệm.



Hình 3. Mối liên hệ phân tích " $T_{\mu=1}^n K_{\mu}^n - n$ " đối với nhà khung 5 tầng và 25 tầng có $\mu = 1 \div 6$ trên nền đất loại I, II, III

4. Kết luận

Trong thời điểm hiện tại, trong vùng chịu ảnh hưởng của động đất do được quan sát bằng các biện pháp rất khác nhau để xác định chu kỳ dao động riêng của công trình, dẫn đến việc tính toán chu kỳ dao động riêng đối với các công trình giống nhau nhận được kết quả khác nhau.

Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến đặc tính động lực học của công trình, vì vậy rất khó để xây dựng mô

hình cũng như xác định chính xác chu kỳ dao động riêng của công trình.

Trong bài báo đưa ra phân tích và tổng quát những thí nghiệm đã có, trong đó có hệ “Trạm nghiên cứu địa chấn”. Trên cơ sở đó, đưa ra công thức dựa trên kinh nghiệm và thí nghiệm để xác định chu kỳ dao động riêng của nhà khung.

Ở nước ta các nhà khung thường sử dụng móng cọc. Vì vậy có thể có các nghiên cứu kỹ hơn về thực nghiệm và tính toán lý thuyết để thiết lập các công thức thực nghiệm của chu kỳ dao động riêng đối với nhà khung trên nền đất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. - М.: Госстрой России, 2000 г.
2. АЙЗЕНБЕРГ Я.М. Вычисление высших форм и частот свободных колебаний зданий в расчетах на сейсмические нагрузки. // *Промышленное строительство*, № 4, 1962.
3. АЙЗЕНБЕРГ Я.М. Формы и частот свободных колебаний зданий жесткого типа. // *Строительное проектирование промышленных предприятий*, № 2, 1965.
4. АЙЗЕНБЕРГ Я.М., СИДОРОВ А.П., СОЛОМЕНЦЕВ Б.В. Натурные испытания зданий в г. Кишиневе. // *Сборник трудов ЦНИИСК. Исследования по сейсмостойкости сооружений*, 1967.
5. АЙЗЕНБЕРГ Я.М. Затухание колебаний изгибаемых железобетонных конструкций. // *Бетон и железобетон*, № 8, 1968.
6. АЙЗЕНБЕРГ Я.М., ШАИШМЕЛАШВИЛИ В.Н., КИМБЕРГ А.М. Руководство по проектированию жилых и общественных зданий с железобетонным каркасом, возводимых в сейсмических районах. – М.: Стройиздат, 1970.
7. АЙЗЕНБЕРГ Я.М., АБАКАНОВ Т.А., ЧИСТЯКОВ Е.А. Предельные перемещения железобетонных колонн при нагрузках типа сейсмических. // *Строительная механика и расчет сооружений*, №1, 1983.
8. АЙЗЕНБЕРГ Я.М., СТЕПАНОВ А.Ю. Влияние конструктивных параметров зданий с первым гибким этажом на величины периодов собственных колебаний. // *Сейсмостойкое строительство*, №5, 1996.
9. Рекомендации по организации станций инженерно-сейсмометрической службы (ИСС). – М.: ПЭМ ВНИИС Госстроя СССР, 1984, с.74.
10. МАМАЕВВА Г.В., ФЕДЯКОВ М.В., ФЕДЯКОВА С.Н. Информация о работе инженерно- сейсмометрической службы г. Петропавловска-Камчатского. // *Совершенствование системы наблюдений за колебаниями зданий. Сб. Статьи*. – М., 1986, с.62-69.
11. БЛИННИКОВА-ВЯЗЕМСКАЯ М.В., КОТОВ Ю.И. Предложения по определению динамических характеристик многоэтажных каркасных зданий и сооружений. – М.: ПЭМ, ЦНИИСК Госстроя СССР, 1974, вып.3, с.11-13.
12. ПОЛЯКОВ С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий. – М.: Высшая школа, 1969, 335 с.
13. ПАВЛЫК В.С. Определение свободных колебаний зданий с несущими стенами. // Сб. Исследования по сейсмостойкости зданий и сооружений. – М.: Госиздат по строительству и архитектуре, 1960, с.35.
14. МАМАЕВА Г.В. Динамические характеристики каркасных зданий. // *Строительная механика и расчет сооружений*. №5, 1988, с.46-51.
15. UBC:1997. Uniform Building Code, Vol.2. International Conference of Building Officials, Whittier, CA, USA.
16. BS EN 1998-1:2004. (Eurocode 8) Design of structures for earthquake resistance. British Standard institution, April, UK, 2005, 229 p.

