

Chỉ dẫn tính toán thành phần động của tải trọng gió theo tiêu chuẩn TCVN 2737 : 1995.

Guidance for determination of dynamic component of the wind loads under TCVN 2737 : 1995

Phạm vi áp dụng

1. Chỉ dẫn này dùng để tính toán thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên các kết cấu, nền móng, nhà và công trình theo tiêu chuẩn tải trọng và tác động TCVN 2737 : 1995 [1].
2. Thành phần động của tải trọng gió phải được kể đến khi tính toán các công trình tháp, trụ, ống khói, cột điện, thiết bị dạng cột, hành lang băng tải, các giàn giá lộ thiên..., các nhà nhiều tầng cao hơn 40 mét, các khung ngang nhà công nghiệp một tầng một nhịp có độ cao trên 36 mét và tỉ số độ cao trên nhịp lớn hơn 1,5.
3. Đối với các công trình cao và kết cấu mềm (ống khói, trụ, tháp,...) còn phải tiến hành kiểm tra mất ổn định khí động. Việc kiểm tra có thể tham khảo phần phụ lục C của chỉ dẫn này.
4. Đối với các công trình đặc thù thuộc các ngành : giao thông, thủy lợi, điện lực, bưu điện... cần chú ý đến các yêu cầu tính toán riêng cho phù hợp với đặc tính của từng loại công trình.

Nguyên tắc cơ bản

1. Tải trọng gió gồm hai thành phần : thành phần tĩnh và thành phần động. Giá trị và phương tính toán của thành phần tĩnh tải trọng gió được xác định theo các điều khoản ghi trong tiêu chuẩn tải trọng và tác động TCVN 2737 : 1995 [1].
Thành phần động của tải trọng gió được xác định theo các phương tương ứng với phương tính toán thành phần tĩnh của tải trọng gió.
2. Thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên công trình là lực do xung của vận tốc gió và lực quán tính của công trình gây ra. Giá trị của lực này được xác định trên cơ sở thành phần tĩnh của tải trọng gió nhân với các hệ số có kể đến ảnh hưởng của xung vận tốc gió và lực quán tính của công trình.
3. Việc tính toán công trình chịu tác dụng động lực của tải trọng gió bao gồm : Xác định thành phần động của tải trọng gió và phản ứng của công trình do thành phần động của tải trọng gió gây ra ứng với từng dạng dao động.
4. Số hiệu của các công thức, các điều, mục, bảng biểu hoặc hình vẽ... được diễn giải hoặc quy định vận dụng trong nội dung của các điều, mục hoặc các phụ lục ; nếu

không ghi cụ thể các tài liệu kèm theo thì được hiểu là công thức, điều, mục, bảng biểu hoặc hình vẽ của chỉ dẫn này.

3. Trình tự các bước tính toán xác định thành phần động của tải trọng gió

- 3.1. Xác định xem công trình có thuộc phạm vi phải tính thành phần động và phải kiểm tra mất ổn định khí động theo các điều 1.2 và 1.3 trong chỉ dẫn.
- 3.2. Thiết lập sơ đồ tính toán động lực
 - 3.2.1. Sơ đồ tính toán được chọn là hệ thanh công xôn có hữu hạn điểm tập trung khối lượng, xem phụ lục A, hình A.1.
 - 3.2.2. Chia công trình thành n phần sao cho mỗi phần có độ cứng và áp lực gió lên bề mặt công trình có thể coi như không đổi.
 - 3.2.3. Vị trí của các điểm tập trung khối lượng đặt tương ứng với cao trình trọng tâm của các kết cấu truyền tải trọng ngang của công trình (sàn nhà, mặt bằng bố trí giằng ngang, sàn thao tác), hoặc trọng tâm của các kết cấu, các thiết bị cố định, các vật liệu chứa thường xuyên (nước trong các bầu dài của các tháp nước...).
 - 3.2.4. Giá trị khối lượng tập trung ở các mức trong sơ đồ tính toán bằng tổng giá trị các khối lượng của kết cấu chịu lực, kết cấu bao che, trang trí, khối lượng của các thiết bị cố định (máy cái, mô-tơ, thùng chứa, đường ống...), các vật liệu chứa (chất lỏng, vật liệu rời...) và các khối lượng khác. Việc tính toán, tổ hợp các khối lượng tập trung này phải tuân theo các quy định của TCVN 2737 : 1995 và các tiêu chuẩn có liên quan khác.

Khi kể đến các khối lượng chất tạm thời trên công trình trong việc tính toán động lực tải trọng gió, cần đưa vào hệ số chiết giảm khối lượng.

Bảng 1 - Hệ số chiết giảm đối với một số dạng khối lượng chất tạm thời trên công trình

Dạng khối lượng		Hệ số chiết giảm khối lượng
Bụi chất đọng trên mái		0,5
Các vật liệu chứa chất trong kho, silô, đùnke, bể chứa		1,0
Người, đồ đạc trên sàn tính tương đương phân bố đều	Thư viện và các nhà chứa hàng, chứa hồ sơ	0,8
	Các công trình dân dụng khác	0,5
Cấu trúc và cấu treo các vật nặng	Cơ móc cứng	0,3
	Cơ móc mềm	0,0

- 3.2.5. Độ cứng của thanh công xôn lấy bằng độ cứng tương đương của công trình. Có thể xác định độ cứng tương đương trên cơ sở tính toán sao cho sự chuyển dịch ở đỉnh của công trình thực và ở đỉnh của thanh công xôn là bằng nhau khi tác dụng tải định công trình và đỉnh thanh công xôn cùng một lúc ngang.
- 3.3. Xác định giá trị tiêu chuẩn thành phần tĩnh của áp lực gió lên các phần của công trình
 - 3.3.1. Xác định áp lực gió tiêu chuẩn theo điều 4.11.

- 3.3.2. Xác định hệ số độ cao $k(z_j)$ đối với từng phần thứ j của công trình theo bảng 7, trong đó mốc chuẩn để tính độ cao xác định theo phụ lục A, mục A.2.3.
- 3.3.3. Xác định hệ số khí động c đối với từng phần của công trình theo bảng 6 của TCVN 2737 : 1995.
- 3.3.4. Xác định giá trị tiêu chuẩn thành phần tĩnh của áp lực gió lên các phần công trình, xác định theo điều 4.10.
- 3.4. Xác định giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên các phần tính toán của công trình, khi chỉ kể đến ảnh hưởng của xung vận tốc gió.
- 3.4.1. Xác định hệ số áp lực động và hệ số tương quan không gian đối với các phần tính toán của công trình theo bảng 3, bảng 4 và bảng 5.
- 3.4.2. Xác định giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên các phần tính toán của công trình, khi chỉ kể đến ảnh hưởng của xung vận tốc gió theo điều 4.2.
- 3.5. Xác định giá trị tiêu chuẩn và giá trị tính toán của thành phần động tải trọng gió lên các phần tính toán của công trình.
- 3.5.1. Xác định tần số và dạng dao động
- 3.5.1.1. Xác định tần số dao động thứ nhất f_1 (Hz) của công trình. Có thể vận dụng các công thức trong phụ lục B, các điều từ B.1 đến B.3.
- 3.5.1.2. So sánh tần số f_1 với tần số giới hạn f_L trong bảng 2. Nếu $f_1 > f_L$ thì giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió lên các phần công trình được xác định theo điều 4.2. Nếu tần số $f_1 < f_L$ thì giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió được xác định theo điều từ 4.3 đến 4.8.
- 3.5.2. Xác định giá trị tính toán thành phần động của tải trọng gió lên các phần tính toán của công trình theo điều 4.9.
- 3.6. Tổ hợp nội lực và chuyển vị của công trình do thành phần tĩnh và động của tải trọng gió gây ra theo điều 4.12.

4. Xác định thành phần động của tải trọng gió theo TCVN 2737 : 1995.

- 4.1. Tùy mức độ nhạy cảm của công trình đối với tác dụng động lực của tải trọng gió mà thành phần động của tải trọng gió chỉ cần kể tác động do thành phần xung của vận tốc gió hoặc cả với lực quán tính của công trình.

Mức độ nhạy cảm được đánh giá qua tương quan giữa giá trị các tần số dao động riêng cơ bản của công trình, đặc biệt là tần số dao động riêng thứ nhất, với tần số giới hạn f_L cho trong bảng 2. Các giá trị cho trong bảng này lấy theo TCVN 2737 : 1995.

Bảng 2 - Giá trị giới hạn của tần số dao động riêng f_L .

Vùng áp lực gió	f_L (Hz)	
	$\delta = 0,3$	$\delta = 0,15$
I	1,1	3,4
II	1,3	4,1
III	1,6	5,0
IV	1,7	5,6
V	1,9	5,9

Chú thích : δ - Là độ giảm loga dao động của kết cấu, phụ thuộc vào dạng kết cấu và vật liệu chịu lực chính của công trình. Theo TCVN 2737 : 1995, các giá trị của δ cho trong bảng 2 tương ứng với dạng công trình ghi trong phần chú thích của hình 2.

- 4.2. Đối với công trình và các bộ phận kết cấu có tần số dao động cơ bản f_1 (Hz) lớn hơn giá trị giới hạn của tần số dao động riêng f_L quy định trong điều 4.1, thành phần động của tải trọng gió chỉ cần kể đến tác dụng của xung vận tốc gió. Khi đó giá trị tiêu chuẩn thành phần động của áp lực gió W_{pj} tác dụng lên phần thứ j của công trình được xác định theo công thức :

$$W_{pj} = W_j \zeta_j \nu \quad (4.1)$$

Trong đó :

W_{pj} - áp lực, đơn vị tính toán là daN/m² hoặc kN/m² tùy theo đơn vị tính toán của W_j ;

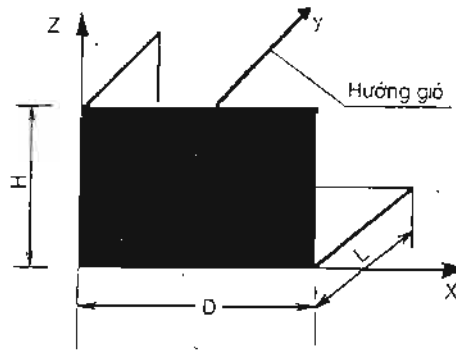
W_j - là giá trị tiêu chuẩn thành phần tĩnh của áp lực gió, tác dụng lên phần thứ j của công trình, xác định theo điều 4.10 ;

ζ_j - là hệ số áp lực động của tải trọng gió, ở độ cao ứng với phần thứ j của công trình, không thứ nguyên. Các giá trị của ζ_j lấy theo TCVN 2737 : 1995 và được cho trong bảng 3.

ν - hệ số tương quan không gian áp lực động của tải trọng gió ứng với các dạng dao động khác nhau của công trình, không thứ nguyên. Trong công thức (4.1), ν được lấy bằng ν_1 . Nếu bề mặt đón gió của công trình có dạng chữ nhật định hướng song song với các trục cơ bản trong hình 1 thì các giá trị của ν_1 lấy theo bảng 4, trong đó các tham số ρ và χ xác định theo bảng 5, giá trị của ν ứng với dạng dao động thứ 2 và thứ 3 là $\nu_2 = \nu_3 = 1$. Các giá trị trong bảng 4 và bảng 5 lấy theo TCVN 2737 : 1995.

Bảng 3 - Hệ số áp lực động ζ

Chiều cao z (m)	Hệ số áp lực động ζ đối với các dạng địa hình.		
	A	B	C
≤ 5	0,318	0,517	0,754
10	0,303	0,486	0,684
20	0,289	0,457	0,621
40	0,275	0,429	0,563
60	0,267	0,414	0,532
80	0,262	0,403	0,511
100	0,258	0,395	0,496
150	0,251	0,381	0,468
200	0,246	0,371	0,450
250	0,242	0,364	0,436
300	0,239	0,358	0,425
350	0,236	0,353	0,416
≥ 480	0,231	0,343	0,398



Hình 1 : Hệ tọa độ khi xác định hệ số tương quan không gian v .

Bảng 4 - Hệ số tương quan không gian v_1 khi xét tương quan xung vận tốc gió theo chiều cao và bề rộng đón gió, phụ thuộc vào ρ và χ

ρ (m)	Hệ số v_1 khi χ bằng (m)						
	5	10	20	40	80	160	350
0,1	0,95	0,92	0,88	0,83	0,76	0,67	0,56
5	0,89	0,87	0,84	0,80	0,73	0,65	0,54
10	0,85	0,84	0,81	0,77	0,71	0,64	0,53
20	0,80	0,78	0,76	0,73	0,68	0,61	0,51
40	0,72	0,72	0,70	0,67	0,63	0,57	0,48
80	0,63	0,63	0,61	0,59	0,56	0,51	0,44
160	0,53	0,53	0,52	0,50	0,47	0,44	0,38

Bảng 5 - Các tham số ρ và χ

Mặt phẳng tọa độ cơ bản song song với bề mặt tính toán	ρ	χ
zox	D	H
zoy	0,4L	H
xoy	D	L

Chú thích : Đối với công trình có bề mặt đón gió không phải là hình chữ nhật thì H lấy bằng chiều cao công trình còn D và L lấy bằng kích thước tương ứng tại trọng tâm hình chiếu của bề mặt đón gió lên các mặt phẳng thẳng đứng, vuông góc với phương luồng gió.

3. Đối với công trình và các bộ phận kết cấu có tần số dao động cơ bản f_1 (Hz) nhỏ hơn giá trị giới hạn của tần số dao động riêng f_L quy định trong điều 4.1 thì thành phần động của tải trọng gió phải kể đến tác dụng của cả xung vận tốc gió và lực quán tính của công trình. Khi đó, số dạng dao động cần tính toán và giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió W_{pgj} tác dụng lên phần thứ j của công trình ứng với dạng dao động thứ i được xác định theo các điều từ 4.4 đến 4.8.

4. Các công trình hoặc bộ phận kết cấu có tần số dao động riêng cơ bản thứ s, thỏa mãn bất đẳng thức :

$$f_s < f_L < f_{s+1} \quad (4.2)$$

thì cần tính toán thành phần động của tải trọng gió với s dạng dao động đầu tiên.

4.5. Giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên phần thứ j ứng với dạng dao động thứ i được xác định theo công thức :

$$W_{p(i)} = M_j \xi_i \psi_j y_{ji} \quad (4.3)$$

Trong đó :

$W_{p(i)}$ - lực, đơn vị tính toán thường lấy là daN hoặc kN tùy theo đơn vị tính toán của W_F trong công thức tính hệ số ψ_i ;

M_j - khối lượng tập trung của phần công trình thứ j, (t) ;

ξ_i - hệ số động lực ứng với dạng dao động thứ i, không thứ nguyên, phụ thuộc vào thông số ε_i và độ giảm lôga của dao động :

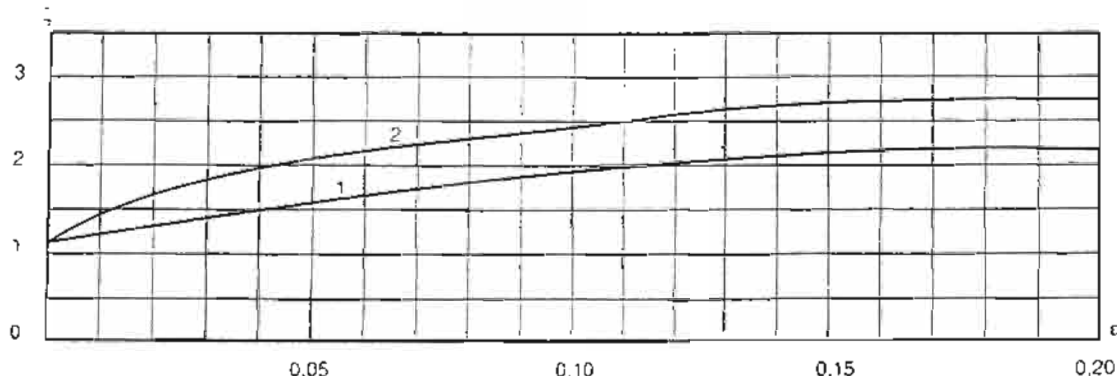
$$\xi_i = \frac{\sqrt{\gamma W_0}}{940 f_i} \quad (4.4)$$

Trong đó :

γ - hệ số độ tin cậy của tải trọng gió, lấy bằng 1,2 ;

W_0 - giá trị của áp lực gió (N/m^2) ;

f_i - tần số dao động riêng thứ i (Hz).



Hình 2 : Đồ thị xác định hệ số động lực ξ

Chú thích :

1) Đường cong 1 - Sử dụng cho các công trình bê tông cốt thép và gạch đá kê cả các công trình bằng khung thép có kết cấu bao che ($\delta = 0,3$).

2) Đường cong 2 - Sử dụng cho các công trình tháp, trụ thép, ống khói, các thiết bị dạng cột có bề bằng bê tông cốt thép ($\delta = 0,15$).

y_{ji} - dịch chuyển ngang tỉ đối của trọng tâm phần công trình thứ j ứng với dạng dao động riêng thứ i, không thứ nguyên ;

ψ_i - hệ số được xác định bằng cách chia công trình thành n phần, trong phạm vi mỗi phần tải trọng gió có thể coi như là không đổi :

$$\psi_i = \frac{\sum_{j=1}^n y_{ji} W_{ji}}{\sum_{j=1}^n y_{ji}^2 M_j} \quad (4.5)$$

Trong đó :

W_{F_j} - giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên phần thứ j của công trình, ứng với các dạng dao động khác nhau khi chỉ kể đến ảnh hưởng của xung vận tốc gió, có thứ nguyên là lực, xác định theo công thức :

$$W_{F_j} = W_j \zeta_i S_j \nu \quad (4.6)$$

Trong đó :

W_j, ζ_i có nghĩa như trong công thức (4.1) ;

ν - có ý nghĩa như trong công thức (4.1). Khi tính toán đối với dạng dao động thứ nhất, ν lấy bằng ν_1 , còn đối với các dạng dao động còn lại, ν lấy bằng 1. Các giá trị của ν_1 được xác định như ở điều 4.2 ;

S_j - diện tích đón gió của phần j của công trình (m^2) ;

Chú thích : Công thức (4.6) tương ứng với công thức 8 trong TCVN 2737 : 1995 nhưng được nhân thêm với S_j để chuyển kết quả tính từ áp lực thành lực.

- 4.6. Nhà có mặt bằng đối xứng, có $f_1 < f_L$, thì ảnh hưởng của dạng dao động thứ nhất đến giá trị thành phần động của tải trọng gió là chủ yếu. Khi đó có thể xác định giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió theo công thức :

$$W_{p(j)} = M_j \xi_i \Psi_j y_{ji} \quad (4.7)$$

Trong đó :

$W_{p(j)}$ - lực, có đơn vị tính toán phù hợp với đơn vị tính toán của W_{F_j} khi tính hệ số ψ_1 ;

M_j, ξ_i, ψ_i - có ý nghĩa giống như trong công thức (4.3) nhưng với $i = 1$;

y_{ji} - là dịch chuyển ngang tỉ đối của trọng tâm phần thứ j ứng với dạng dao động riêng thứ nhất. Cho phép lấy y_{ji} bằng dịch chuyển đo tải trọng ngang phân bố đều đặt tính gây ra.

- 4.7. Đối với nhà nhiều tầng có mặt bằng đối xứng, độ cứng, khối lượng và bề rộng mặt đón gió không đổi theo chiều cao, có $f_1 < f_L$ cho phép xác định giá trị tiêu chuẩn thành phần động của áp lực gió ở độ cao z theo công thức :

$$W_{Fz} = 1,4 \frac{z}{H} \xi W_{pH} \quad (4.8)$$

Trong đó :

W_{Fz} - áp lực, có đơn vị tính toán phù hợp với đơn vị tính toán của W_{pH} ;

ξ - hệ số động lực ứng với dạng dao động cơ bản của công trình ;

W_{pH} - giá trị tiêu chuẩn thành phần động của áp lực gió ở độ cao H của đỉnh công trình, xác định theo công thức (4.1).

- 4.8. Đối với công trình hoặc các bộ phận kết cấu mà sơ đồ tính toán có dạng một bậc tự do và có $f_1 < f_L$, giá trị tiêu chuẩn thành phần động của áp lực gió được xác định theo công thức :

$$W_p = W \zeta \xi \nu \quad (4.9)$$

Trong đó :

W_p, W - giá trị tiêu chuẩn thành phần động và thành phần tĩnh của áp lực gió ứng với độ cao tính toán, có thứ nguyên là lực trên diện tích ;

ξ - là hệ số áp lực động của tải trọng gió, không thứ nguyên ;

ξ, ν - là hệ số động lực và hệ số tương quan không gian áp lực động ứng với dạng dao động cơ bản, không thứ nguyên.

- 4.9. Giá trị tính toán thành phần động của tải trọng hoặc áp lực gió được xác định theo công thức :

$$W'' = W\gamma\beta \quad (4.10)$$

Trong đó :

W'' - là giá trị tính toán của tải trọng gió hoặc áp lực gió ;

W - là giá trị tiêu chuẩn của tải trọng gió hoặc áp lực gió, được xác định theo các công thức (4.1), (4.3), (4.7), (4.8), (4.9) ;

γ - là hệ số độ tin cậy đối với tải trọng gió, γ lấy bằng 1,2.

β - là hệ số điều chỉnh tải trọng gió theo thời gian sử dụng giả định của công trình, xác định theo bảng 6. Các giá trị cho trong bảng này lấy theo TCVN 2737 : 1995.

Bảng 6 : Hệ số β

Thời gian sử dụng giả định	5	10	20	30	40	50
Hệ số điều chỉnh tải trọng gió β	0,61	0,72	0,83	0,91	0,96	1,00

- 4.10. Giá trị tiêu chuẩn thành phần tĩnh của áp lực gió W_j tại điểm j ứng với độ cao z_j so với mốc chuẩn xác định theo công thức [1] :

$$W_j = W_0 k(z_j) c \quad (4.11)$$

Trong đó :

W_j - có thứ nguyên là lực trên diện tích, tùy theo đơn vị tính toán của W_0 ;

W_0 - giá trị của áp lực gió tiêu chuẩn lấy theo phân vùng áp lực gió trong TCVN 2737 : 1995 ;

c - hệ số khí động lấy theo bảng 6 trong TCVN 2737 : 1995, không thứ nguyên ;

$k(z_j)$ - hệ số, không thứ nguyên, tính đến sự thay đổi của áp lực gió : $k(z_j)$ phụ thuộc vào độ cao z_j , mốc chuẩn để tính độ cao và dạng địa hình tính toán. Các giá trị của $k(z_j)$ lấy theo TCVN 2737 : 1995, được cho trong bảng 7. Cách xác định mốc chuẩn để tính độ cao xem phụ lục A, mục A.2.3.

Bảng 7 : Hệ số $k(z_j)$ kể đến sự thay đổi áp lực gió theo độ cao và dạng địa hình

Dạng địa hình \ Độ cao z (m)	A	B	C
3	1,00	0,80	0,47
5	1,07	0,88	0,54
10	1,18	1,00	0,66
15	1,24	1,08	0,74
20	1,29	1,13	0,80
30	1,37	1,22	0,89
40	1,43	1,28	0,97
50	1,47	1,34	1,03
60	1,51	1,38	1,08
80	1,57	1,45	1,18
100	1,62	1,51	1,25
150	1,72	1,63	1,40
200	1,79	1,71	1,52
250	1,84	1,78	1,62
300	1,84	1,84	1,70
350	1,84	1,84	1,78
≥ 400	1,84	1,84	1,84

Chú thích :

- 1) Đối với độ cao trung gian, cho phép xác định giá $k(z_j)$ bằng cách nội suy tuyến tính theo bảng 7.
- 2) Khi xác định tải trọng gió cho một công trình, đối với các hướng gió khác nhau, có thể có các dạng địa hình khác nhau.

5.11. Giá trị của áp lực gió W_0 được xác định từ vận tốc gió v_0 đã được xử lý trên cơ sở số liệu quan trắc vận tốc gió ở độ cao 10m so với mốc chuẩn (vận tốc trung bình trong khoảng thời gian 3 giây, bị vượt trung bình một lần trong 20 năm) ứng với địa hình dạng B, (độ nhám bề mặt $z_0 = 0,005$). Giá trị áp lực gió tiêu chuẩn W_0 theo bản đồ phân vùng áp lực gió trong TCVN 2737 : 1995, cho trong bảng 8.

Đối với vùng ảnh hưởng của bão được đánh giá là yếu, giá trị của áp lực gió W_0 được giảm đi 10 daN/m^2 đối với vùng I-A, 12 daN/m^2 đối với vùng II-A và 15 daN/m^2 đối với vùng III-A.

Bảng 8 - Giá trị áp lực gió tiêu chuẩn W_0

Vùng áp lực gió	I	II	III	IV	V
W_0 (daN/m ²)	65	95	125	155	185

Đối với vùng I, giá trị của áp lực gió W_0 lấy theo bảng 8 được áp dụng để thiết kế nhà và công trình xây dựng ở vùng núi đồi, vùng đồng bằng và các thung lũng.

Những nơi có địa hình phức tạp (hẻm núi, giữa hai dãy núi song song, các cửa đèo...), giá trị của áp lực gió W_0 phải lấy theo số liệu của Tổng cục Khí tượng thủy văn hoặc

kết quả khảo sát hiện trường xây dựng đã được xử lý có kể đến kinh nghiệm sử dụng công trình. Khi đó, giá trị của áp lực gió W_0 xác định theo công thức :

$$W_0 = 0,0613 v_0^2 \quad (4.12)$$

Chú thích : Trong công thức (4.12), v_0 được tính bằng m/s, còn W_0 tính bằng daN/m².

Nhà và công trình xây dựng ở vùng núi và hải đảo có cùng độ cao, cùng dạng địa hình và ở sát cạnh các trạm quan trắc khí tượng cho trong phụ lục F của TCVN 2737 : 1995 thì giá trị áp lực gió tính toán với thời gian sử dụng giả định khác nhau được lấy theo trị số độc lập của các trạm này (xem bảng F₁ và F₂, phụ lục F trong TCVN 2737 : 1995).

4.12. Nội lực và chuyển vị gây ra do thành phần tĩnh và động của tải trọng gió được xác định như sau :

$$X = X^1 + \sqrt{\sum_{i=1}^s (X_i^d)^2} \quad (4.13)$$

Trong đó :

\bar{X} - là mômen uốn (xoắn), lực cắt, lực dọc, hoặc chuyển vị ;

X^1 - là mômen uốn (xoắn), lực cắt, lực dọc hoặc chuyển vị do thành phần tĩnh của tải trọng gió gây ra ;

X_i^d - là mômen uốn (xoắn), lực cắt, lực dọc hoặc chuyển vị do thành phần động của tải trọng gió gây ra khi dao động ở dạng thứ i ;

s - số dạng dao động tính toán.

Phụ lục A
(Tham khảo)

Thiết lập các công thức tính toán thành phần động của tải trọng gió

A.1. Phản ứng của công trình và thành phần động của tải trọng gió :

Phương trình vi phân tổng quát mô tả dao động của thanh công xôn có hữu hạn bậc tự do, khi bỏ qua trong lượng của thanh :

$$[M] \ddot{U} + [C] \dot{U} + [K] U = W'(\tau) \quad (A.1)$$

Trong đó :

$[M]$, $[C]$, $[K]$ - là ma trận khối lượng, ma trận cản, và ma trận độ cứng của hệ

\ddot{U} , \dot{U} , U - là véc tơ gia tốc, vận tốc và dịch chuyển của những tọa độ xác định bậc tự do của hệ

$W'(\tau)$ - là véc tơ lực kích động đặt tại các tọa độ tương ứng.

Dùng phép biến đổi :

$$u = [\phi] p \quad (A.2)$$

Phương trình (A.1), với những điều kiện : $[M]$ là ma trận đường chéo ; $[C]$ và $[K]$ là các ma trận đối xứng xác định dương thì có thể đưa về hệ phương trình vi phân độc lập :

$$\ddot{p}_i + 2\gamma_i \dot{p}_i + \omega_i^2 p_i = W_i \quad (A.3)$$

Với γ_i là tỉ lệ cản của kết cấu ứng với dạng dao động thứ i :

$$\gamma_i = \frac{C_i}{2M_i \omega_i} = \frac{\delta_i}{2\pi}$$

Trong đó : δ_i - Độ giảm lôga của dạng dao động thứ i .

Đối với quá trình ngẫu nhiên dừng và hệ động lực tuyến tính không đổi theo thời gian thì từ (A.3), ứng với mỗi phương trình, ta có :

$$\bar{P}_i^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |H(i\omega)|^2 \Phi_{ww}(\omega) \cdot d\omega \quad (A.4)$$

$$|H(i\omega)|^2 = \frac{1}{\omega^4 - 2(1 - 2\gamma_i^2)\omega^2 \omega_i^2 + \omega_i^4} \quad (A.5)$$

\bar{P}_i - là giá trị trung bình bình phương hiệu theo nghĩa xác suất của phản ứng P_i .

$\Phi_{ww}(\omega)$ - là mật độ phổ của hàm tương quan tải trọng. Theo [6], $\Phi_{ww}(\omega)$ được xác định theo công thức :

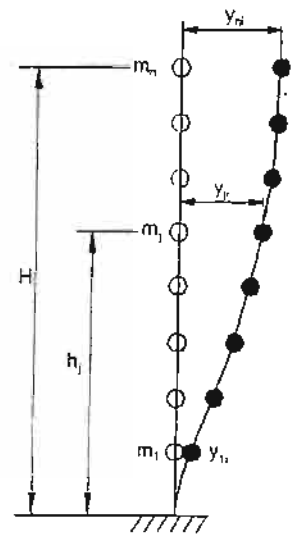
$$\Phi_{ww}(\omega) = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \Phi_{kj} \Phi_j W_k W_j \zeta_k \zeta_j S_v(\omega) \quad (A.6)$$

Trong đó :

Φ_{kj} , Φ_j - là dịch chuyển ngang tỉ đối ứng với dạng dao động chuẩn thứ i tại điểm k và điểm j ;

W_k , W_j - là giá trị tiêu chuẩn thành phần tĩnh của tải trọng gió đặt tại điểm k và j ;

ζ_k , ζ_j - là hệ số áp lực động của vận tốc gió, ứng với cao trình điểm k và j ,



Hình A.1 : Sơ đồ tính toán động lực tải trọng gió lên công trình

$S_v(\omega)$ - là mật độ phổ tương hỗ của xung dọc vận tốc gió ở điểm k và j, được xác định theo công thức thực nghiệm của Davenport [6] ;

$$S_v(\omega) = \frac{1200 \varepsilon^{5/3}}{3v_o(1 + \varepsilon^2)^{4/3}} \exp \left[\left(-\frac{|z_k - z_j|}{150 \varepsilon} \right) - \left(\frac{|x_k - x_j|}{60 \varepsilon} \right) \right] \quad (A.7)$$

Từ (A.5) suy ra :

$$|H(i\omega)|^2 = \frac{\varepsilon^4}{\omega_i^4 (\varepsilon^4 - 2(1 - 2\gamma_1^2) \varepsilon^2 \varepsilon_1^2 + \varepsilon_1^4)} \quad (A.8)$$

Trong đó :

$$\varepsilon = \frac{v_o}{1200 \omega} ; \varepsilon_1 = \frac{v_o}{1200 \omega_1} \quad (A.9)$$

Từ (A.4), (A.6), (A.7) và (A.8) ta có :

$$\bar{P}_i^2 = \frac{1}{3\pi \omega_i^4} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \Phi_{ki} \Phi_{ji} W_k W_j \xi_k \xi_j \int_0^{+\infty} \frac{e^{11/3} \exp \left[-\frac{|z_k - z_j|}{150 \varepsilon} - \frac{|x_k - x_j|}{60 \varepsilon} \right]}{(1 + \varepsilon^2)^{4/3} [\varepsilon^4 - 2(1 - 2\gamma_1^2) \varepsilon^2 \varepsilon_1^2 + \varepsilon_1^4]} d\varepsilon \quad (A.10)$$

Khi không xét tương quan giữa các điểm k và j, ta có :

$$\exp \left[-\frac{|z_k - z_j|}{150 \varepsilon} - \frac{|x_k - x_j|}{60 \varepsilon} \right] = 1$$

Khi đó ta có :

$$\bar{P}_{io}^2 = \frac{1}{\omega_i^4} \left(\sum_{j=1}^n \Phi_{ji} W_j \xi_j \right)^2 \frac{1}{3\pi} \int_0^{+\infty} \frac{\varepsilon^{11/3} d\varepsilon}{(1 + \varepsilon^2)^{4/3} [\varepsilon^4 - 2(1 - 2\gamma_1^2) \varepsilon^2 \varepsilon_1^2 + \varepsilon_1^4]} \quad (A.11)$$

Đặt :

$$\xi_1^2 = \frac{1}{3\pi} \int_0^{+\infty} \frac{\varepsilon^{11/3} d\varepsilon}{(1 + \varepsilon^2)^{4/3} [\varepsilon^4 - 2(1 - 2\gamma_1^2) \varepsilon^2 \varepsilon_1^2 + \varepsilon_1^4]} \quad (A.12)$$

ξ_1 - phụ thuộc vào ε_1 , tức là phụ thuộc vào tần số dao động riêng của công trình và cần của kết cấu, gọi là hệ số động lực. Dựa vào (A.12), lập được đồ thị xác định hệ số động lực ξ trong TCVN 2737 : 1995.

Ta có :
$$\bar{P}_{io}^2 = \frac{1}{\omega_i^4} \left(\sum_{j=1}^n \Phi_{ji} W_j \xi_j \right)^2 \xi_1^2 \quad (A.13)$$

Suy ra :
$$\bar{P}_i^2 = \bar{P}_{io}^2 \frac{\bar{P}_i^2}{\bar{P}_{io}^2} = \bar{P}_{io}^2 v_i^2$$

$$\bar{P}_i^2 = \frac{1}{\omega_i^4} \left(\sum_{j=1}^n \Phi_{ji} W_j \xi_j \right)^2 \xi_1^2 v_i^2$$

Hay :
$$\bar{P}_i = \frac{1}{\omega_i^2} \left(\sum_{j=1}^n \Phi_{ji} W_j \xi_j \right) \xi_1 v_i \quad (A.14)$$

Trong đó :

$$v_i^2 = \frac{\bar{P}_i^2}{\bar{P}_{io}^2} \quad (A.15)$$

v_i - là hệ số tương quan không gian của xung dọc vận tốc gió

Công thức (A.15) là cơ sở để thiết lập công thức tính hệ số tương quan không gian của TCVN 2737 : 1995 trong mặt phẳng đón gió.

Từ (A.2) ta có chuyển vị tại điểm j :

$$u_j = \sum_{i=1}^n \Phi_{ji} P_i \quad (A.16)$$

Trong đó :

$$\Phi_{ji} = \frac{y_{ji}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n M_j y_{ji}^2}} \quad (\text{A.17})$$

Với M_j - khối lượng ở điểm j ;

y_{ji} - dịch chuyển ngang tỉ đối tại điểm j ở dạng dao động thứ i ;

Từ (A.14), (A.16) và (A.17) ta có chuyển vị của công trình tại điểm j do thành phần động của tải trọng gió gây ra là :

$$u_j = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\omega_i^2} \xi_i \psi_i y_{ji} \quad (\text{A.18})$$

Hay :

$$u_j = \sum_{i=1}^n u_{ji}$$

Trong đó :

u_{ji} - chuyển vị tại điểm j do thành phần động của tải trọng gió gây ra trong dạng dao động thứ i :

$$u_{ji} = \frac{1}{\omega_i^2} \xi_i \psi_i y_{ji} \quad (\text{A.19})$$

$$\psi_i = \frac{\sum_{j=1}^n y_{ji} W_{ji} v_i}{\sum_{j=1}^n M_j y_{ji}^2} \quad (\text{A.20})$$

Theo định luật II Niuton, ta có lực quán tính tác dụng lên điểm tập trung khối lượng M_j ứng với dạng dao động thứ i là :

$$W_{ji} = M_j \ddot{u}_{ji} = M_j u_{ji} \omega_i^2$$

Suy ra :

$$W_{ji} = M_j \xi_i \psi_i y_{ji} \quad (\text{A.21})$$

Công thức (A.21) là công thức để xác định thành phần động của tải trọng do tác dụng động lực của gió ứng với từng dạng dao động.

1.2. Hệ số độ cao k

1.2.1. Hệ số tính đến sự thay đổi của áp lực gió theo độ cao k được xác định trên cơ sở mô tả biến thiên vận tốc gió theo độ cao là hàm số mũ :

$$V_i(z) = V_i^g \left(\frac{z}{z_i^g} \right)^{m_i} \quad (\text{A.22})$$

Trong đó :

z_i^g - là độ cao của địa hình dạng t mà ở đó vận tốc gió không còn chịu ảnh hưởng của mặt đệm, còn gọi là độ cao gradient ;

$V_i(z)$, V_i^g - là vận tốc gió ở độ cao z và độ cao gradient của địa hình dạng t ;

m_i - là số mũ tương ứng với địa hình dạng t .

Các giá trị z_i^g , m_i , ứng với $t = A, B, C$ theo TCVN 2737 : 1995 cho trong bảng A.1.

CÔNG TY TƯ VẤN TÀI CHÍNH VIỆT NAM
THƯ VIỆN

ĐKK:K U.....

Bảng A.1 : Độ cao Gradient và hệ số m_1

Dạng địa hình	z_f (m)	m_1
A	250	0,070
B	300	0,090
C	400	0,140

Từ công thức (A.22) và các giá trị thực nghiệm cho trong bảng A.1, có thể thiết lập được công thức xác định hệ số độ cao ứng với địa hình dạng t

$$k_1(z) = 1,844 \left(\frac{z}{z_f}\right)^{2m_1} \quad (A.23)$$

Từ công thức (A.23), ta có bảng giá trị hệ số thay đổi áp lực gió theo độ cao trong TCVN 2737 : 1995.

A.2.2. Các dạng địa hình :

Theo TCVN 2737 : 1995 có 3 dạng địa hình sau :

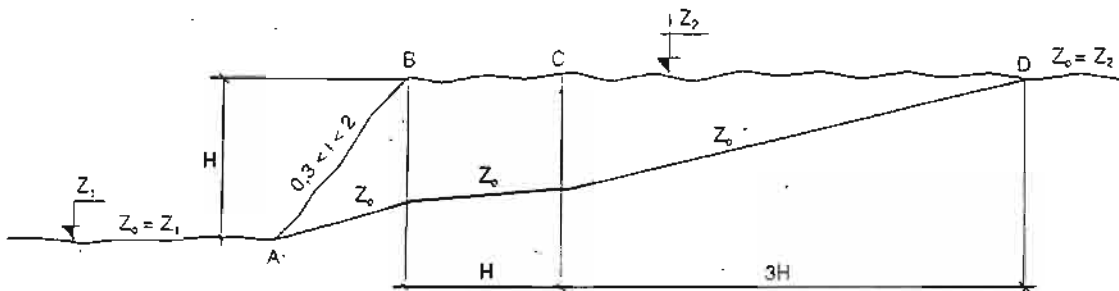
- Địa hình dạng A là địa hình trống trải, không có hoặc có rất ít vật cản cao không quá 1.5m (bờ biển thoáng, mặt sông, hồ lớn, đồng muối, cánh đồng không có cây cao...).
- Địa hình dạng B là địa hình tương đối trống trải, có một số vật cản thưa thớt cao không quá 10m (vùng ngoại ô ít nhà, thị trấn, làng mạc, rừng thưa hoặc rừng non, vùng trồng cây thưa...).
- Địa hình dạng C là địa hình bị che chắn mạnh, có nhiều vật cản khác nhau cao từ 10m trở lên (trong thành phố, vùng rừng rậm...)

Công trình được xem là thuộc dạng địa hình nào nếu tính chất của dạng địa hình đó không thay đổi trong khoảng cách 30H khi $H \leq 60$ mét và 2km khi $H > 60$ m tính từ mặt đón gió của công trình. H là chiều cao của công trình.

A.2.3. Khi xác định hệ số k trong bảng 7, nếu mặt đất xung quanh nhà không bằng phẳng thì mốc chuẩn để tính độ cao z được xác định như sau :

- a) Trường hợp mặt đất có độ dốc nhỏ so với phương nằm ngang : $i \leq 0,3$; độ cao z được kể từ mặt đất đặt nhà và công trình tới điểm cần xét.
- b) Trường hợp mặt đất có độ dốc $0,3 < i < 2$, độ cao z được kể từ cao trình quy ước z_0 thấp hơn mặt đất thực tới đến điểm cần xét.

Mặt cao trình quy ước z_0 được xác định theo hình A.2.

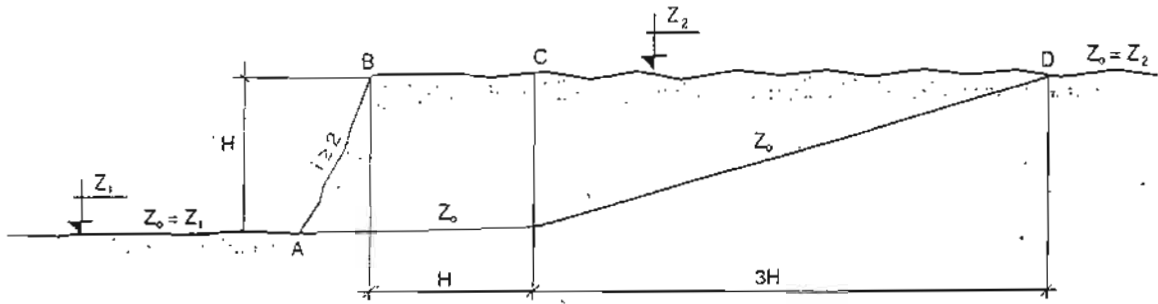


Hình A.2 : Cao trình z_0 khi $0,3 < i < 2$.

- Bên trái điểm A : $z_0 = z_1$
- Trên đoạn BC : $z_0 = H(2-i)/1,7$.
- Bên phải điểm D : $z_0 = z_2$

Trên đoạn AB và CD : Xác định z_0 bằng phương pháp nội suy tuyến tính.

- c) Trường hợp mặt đất có độ dốc $i \geq 2$ mặt cao trình quy ước z_0 để tính độ cao z thấp hơn mặt đất thực được xác định theo hình A.3.

Hình A.3 : Cao trình z_0 khi $i \geq 2$

Bên trái điểm C : $z_0 = z_1$
 Bên phải điểm D : $z_0 = z_2$
 Trên đoạn CD : Xác định z_0 bằng phương pháp nội suy tuyến tính.

3. Hệ số áp lực động của tải trọng gió ξ :

Áp lực gió tác dụng lên công trình ở độ cao z :

$$W(z, \tau) = W(z) + W'(z, \tau) \quad (\text{A.24})$$

Trong đó :

$W(z, \tau)$ - là áp lực của gió tác dụng lên công trình theo phương tác động của gió ;

$W(z)$ - là áp lực do thành phần trung bình của vận tốc gió, xác định theo công thức :

$$W(z) = 0.0613v^2(z)$$

$W'(z, \tau)$ - là áp lực do thành phần xung của vận tốc gió gây ra ở cùng độ cao z , được xác định theo công thức :

$$W'(z, \tau) = 2W(z) \frac{V'(z, \tau)}{V(z)} \quad (\text{A.25})$$

Trong đó :

$V(z)$ - là thành phần trung bình của vận tốc gió ở độ cao z ;

$V'(z, \tau)$ - là thành phần xung của vận tốc gió ở cùng độ cao z .

Mức độ ảnh hưởng của thành phần xung của vận tốc gió lên công trình được đặc trưng bởi cường độ rối của dòng gió $\gamma^*(z)$. Với một dạng địa hình xác định, ta có :

$$\gamma^*(z) = \frac{\delta_{V(z)}}{v(z)} \quad (\text{A.26})$$

Trong đó :

$\gamma^*(z)$ - là cường độ rối của dòng gió ;

$\delta_{V(z)}$ - là trung bình bình phương thành phần xung dọc vận tốc gió ở độ cao z ;

$v(z)$ - là giá trị thành phần trung bình vận tốc gió ở độ cao z .

Công thức (A.26) được lập dựa trên giả thiết :

- Thành phần xung của vận tốc gió, trong khảo sát này được giả thiết bằng tích của một hàm ngẫu nhiên theo thời gian và một hàm theo tọa độ không gian (tọa độ z).

$$V'(z, \tau) = \delta_{V(z)} \varphi(\tau) \quad (\text{A.27})$$

- Trung bình bình phương của hàm $\varphi(\tau)$ bằng đơn vị.

$$\delta_{\varphi(\tau)} = 1 \quad (\text{A.28})$$

Từ (A.25), (A.26) và (A.27) ta có :

$$W'(z, \tau) = 2W(z) \gamma_i^*(z) \varphi(\tau) \quad (\text{A.29})$$

Theo Davenport [6], cường độ dòng rối xác định theo công thức :

$$\gamma_i^*(z) = 2.45(r_1)^{1/2} \left(\frac{z}{10} \right)^{-m_1} \quad (\text{A.30})$$

Trong đó :

t = A, B, C - là các dạng địa hình, xác định theo điều A.2.2 ;

r_t - là độ nhám mặt đệm của địa hình dạng t ;

z - là độ cao tính toán ;

m_t - là số mũ ứng với địa hình dạng t.

Theo Davenport [6], hệ số áp lực động của tải trọng gió được xác định theo công thức :

$$\zeta_1(z) = 2 \alpha_c \gamma_t^*(z) \quad (A.31)$$

Trong đó : α_c là hệ số.

Trong TCVN 2737 : 1995, ứng với thời gian lấy trung bình vận tốc gió là 3 giây, hệ số áp lực động xác định theo công thức :

$$\begin{aligned} \zeta_A(z) &= 0,303 \left(\frac{z}{10} \right)^{-0,07} \\ \zeta_B(z) &= 0,486 \left(\frac{z}{10} \right)^{-0,09} \\ \zeta_C(z) &= 0,684 \left(\frac{z}{10} \right)^{-0,14} \end{aligned} \quad (A.32)$$

Trong đó : $\alpha = 1,395$

$$r_A = 0,002 ; r_B = 0,005 ; r_C = 0,01$$

Từ (A.32) ta thiết lập được bảng hệ số áp lực động ζ trong TCVN 2737 : 1995.

A.4. Hệ số tương quan không gian ν .

Từ (A.10) suy ra \bar{P}_p được tính theo công thức :

$$\bar{P}_p^2 = \frac{1}{3 \pi \omega_1^4} \int_0^{-\infty} \frac{\varepsilon^{11/3} J(\varepsilon) d\varepsilon}{(1 + \varepsilon)^{4/3} [\varepsilon^4 - 2(1 - 2\gamma^2) \varepsilon^2 \varepsilon_1^2 + \varepsilon_1^4]} \quad (A.33)$$

Trong đó :

$$J(\varepsilon) = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \Phi_{ki} \Phi_{jj} W_k W_j \zeta_k \zeta_j \exp\left(-\frac{|z_k - z_j|}{150 \varepsilon} - \frac{|x_k - x_j|}{60 \varepsilon}\right) \quad (A.34)$$

Xét công trình có khối lượng phân bố đều và độ cứng không thay đổi theo chiều cao. Dạng chuẩn của dao động riêng thứ nhất giả thiết có dạng :

$$\Phi(z) = \left(\frac{z}{H} \right)$$

Từ (A.23) suy ra :

$$\begin{aligned} W(z) &= 1,844 W_0 \left(\frac{H}{z\beta} \right)^{2m_1} \left(\frac{z}{H} \right)^{2m_1} \\ W(z) &= W_0 k_1 (H) \left(\frac{z}{H} \right)^{2m_1} \\ W(z) &= W(H) \left(\frac{z}{H} \right)^{2m_1} \end{aligned} \quad (A.35)$$

Từ (A.30) và (A.31) ta có :

$$\begin{aligned} \zeta_1(z) &= 2 \alpha_c \gamma_1^*(z) = 2 \times 2,45 \alpha_c (r_1)^{1/2} \left(\frac{z}{10} \right)^{-m_1} \\ \zeta_1(z) &= 2 \times 2,45 \alpha_c (r_1)^{1/2} \left(\frac{H}{10} \right)^{-m_1} \left(\frac{z}{H} \right)^{-m_1} \\ \zeta_1(z) &= \zeta_1(H) \left(\frac{z}{H} \right)^{m_1} \end{aligned} \quad (A.36)$$

Trong đó :

$W(z)$, $W(H)$ - áp lực tiêu chuẩn do thành phần trung bình của vận tốc gió gây ra tại cao trình z và H ;

$\zeta_1(z)$; $\zeta_1(H)$ - hệ số áp lực động của địa hình dạng t ở độ cao z và H ;

m_1 - số mũ ứng với địa hình dạng t lấy theo mục A.2.1.

Thay (A.35) và (A.36) vào (A.34) ta có :

$$J(\varepsilon) \left[W_{(H)} \zeta_1(H) DH \right]^2 \int_0^1 \int_0^1 \int_0^1 \int_0^1 \beta^{m_1+1} \beta_1^{m_1+1} \exp \left(-\frac{\rho}{\varepsilon} |\beta - \beta_1| - \frac{\chi}{\varepsilon} |\lambda - \lambda_1| \right) d\beta d\beta_1, d\lambda d\lambda_1 \quad (A.37)$$

$$\text{Trong đó : } \beta = \frac{z}{H} ; \rho = \frac{H}{150} ; \lambda = \frac{x}{D} ; \chi = \frac{D}{60} \quad (A.38)$$

H - là chiều cao của công trình (m) ;

D - là bề rộng bề mặt đón gió của công trình (m).

Từ (A.37) suy ra :

$$J(\varepsilon) = \left[\frac{2W_{(H)} \zeta_1(H) DH \varepsilon \operatorname{sh} \left(\frac{\chi}{2\varepsilon} \right)}{\chi} \right]^2 \int_0^1 \int_0^1 \beta^{(m_1+1)} \beta_1^{(m_1+1)} \exp \left(-\frac{\rho}{\varepsilon} |\beta - \beta_1| \right) d\beta d\beta_1 \quad (A.39)$$

Khi không xét đến ảnh hưởng tương quan giữa các điểm k và j ta có :

$$\exp \left(-\frac{\rho}{\varepsilon} |\beta - \beta_1| \right) = 1$$

Tương ứng khi đó, từ (A.39) suy ra :

$$J_0 = \left[\frac{2W_{(H)} \zeta_1(H) DH \varepsilon}{\chi} \right]^2 \int_0^1 \int_0^1 \beta^{(m_1+1)} \beta_1^{(m_1+1)} d\beta d\beta_1$$

$$J_0 = \left[\frac{2W_{(H)} \zeta_1(H) DH \varepsilon \operatorname{sh} \frac{\chi}{2\varepsilon}}{\chi} \right]^2 \frac{1}{(m_1+2)^2} \quad (A.40)$$

Từ (A.11), ta có

$$\bar{P}_{10}^2 = \frac{1}{3\pi \cdot \omega_1^4} \int_0^{\infty} \frac{\varepsilon^{11/3} J_0 d\varepsilon}{(1+\varepsilon^2)^{4/3} \left[\varepsilon^4 - 2(1-2\gamma_1^2) \varepsilon^2 \varepsilon_1^2 + \varepsilon_1^4 \right]} \quad (A.41)$$

$$\text{Hay } \bar{P}_{10}^2 = \frac{1}{\omega_1^4} \xi_1 J_0 \quad (A.42)$$

Từ (A.15), (A.33), (A.39), (A.40) và (A.42) ta có :

$$v_1^2 = \frac{\bar{P}_1^2}{\bar{P}_{10}^2} = \frac{1}{3\pi \xi_1 (m_1+2)^2} \int_0^{\infty} \left\{ \int_0^1 \int_0^1 \beta^{(m_1+1)} \beta_1^{(m_1+1)} \exp \left(-\frac{\rho}{\varepsilon} |\beta - \beta_1| \right) d\beta d\beta_1 \right\} \times$$

$$\times \operatorname{sh}^2 \left(\frac{\chi}{2\varepsilon} \right) \frac{\varepsilon^{17/3} d\varepsilon}{(1+\varepsilon)^{4/3} \left[\varepsilon^4 - 2(1-2\gamma_1^2) \varepsilon^2 \varepsilon_1^2 + \varepsilon_1^4 \right]} \quad (A.43)$$

Nếu bỏ qua ảnh hưởng của tham số ε_1 , m_1 , ξ_1 và tỉ lệ cản γ_1 của kết cấu trong công thức (A.43), thì hệ số tương quan không gian v_1 chỉ phụ thuộc vào các tham số ρ , χ là kích thước đặc trưng ở các bề mặt của công trình trên đó lấy tương quan không gian áp lực động của tải trọng gió. Từ công thức (A.43), ta xác định được bảng giá trị của hệ v_1 trong TCVN 2737 : 1995.

5. Hệ số động lực ξ :

Công thức (A.12) là cơ sở để thiết lập đồ thị xác định hệ số động lực ξ , trong TCVN 2737 : 1995, trong đó ξ phụ thuộc vào thông số ε_1 và cản của kết cấu, tức là phụ thuộc vào tần số f_1 và độ giảm lôga của dao động δ

Phụ lục B
(Tham khảo)

Xác định các đặc trưng động lực

B.1. Xác định tần số và dạng dao động của hệ kết cấu dạng thanh công xôn có hữu hạn khối lượng tập trung :

Xét hệ gồm một thanh công xôn, có n điểm tập trung khối lượng, hình B.1. Phương trình vi phân tổng quát mô tả dao động của hệ khi bỏ qua trọng lượng của thanh có dạng (A.1).

Tần số và dạng dao động riêng được xác định từ phương trình vi phân thuần nhất không có cân :

$$M\ddot{U} + KU = 0 \tag{B.1}$$

$$U = y \sin(\omega\tau - \alpha) \tag{B.2}$$

Đặt

Từ (B.1) và (B.2) ta có :

$$[K - \omega^2 M] y = 0 \tag{B.3}$$

Trong đó :

$$M = \begin{bmatrix} M_1 & & & \\ & M_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & M_n \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix}$$



Hình B.1 : Sơ đồ tính toán hệ thanh công xôn có hữu hạn khối lượng tập trung

Với $K_{ij} = \frac{1}{\delta_{ij}}$

Điều kiện tồn tại dao động : $y \neq 0$, suy ra :

$$K - \omega^2 M = 0 \tag{B.4}$$

Hay :

$$D(\omega_i^2) = \begin{vmatrix} \delta_{11} M_1 \omega_i^2 - 1 & \delta_{12} M_2 \omega_i^2 & \dots & \delta_{1n} M_n \omega_i^2 \\ \delta_{21} M_1 \omega_i^2 & \delta_{22} M_2 \omega_i^2 - 1 & \dots & \delta_{2n} M_n \omega_i^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n1} M_1 \omega_i^2 & \delta_{n2} M_2 \omega_i^2 & \dots & \delta_{nn} M_n \omega_i^2 - 1 \end{vmatrix} = 0 \tag{B.5}$$

Trong đó :

M_j - là khối lượng tập trung ở điểm thứ j ;

δ_{ji} - là chuyển vị tại điểm j do lực đơn vị đặt tại điểm i gây ra ;

ω_i - là tần số vòng của dao động riêng (Rad/s).

Phương trình (B.5) gọi là phương trình đặc trưng. Từ (B.5) có thể xác định được n giá trị thực, dương của ω_i . Thay các giá trị ω_i tìm được vào phương trình (B.3) sẽ xác định được các dạng dao động riêng. Khi số điểm tập trung khối lượng $n > 4$, phương trình (B.5) chỉ có thể tìm được nghiệm gần đúng và phải thông qua một khối lượng tính toán lớn và phức tạp. Khi đó tần số và dạng dao động được xác định bằng cách giải trên máy tính nhờ các chương trình chuyên dụng hoặc bằng các công thức gần đúng hay các công thức thực nghiệm.

Dưới đây là một số công thức để xác định tần số và dạng dao động riêng.

B.1.1. Công trình có sơ đồ tính toán là thanh công xôn có một khối lượng tập trung.

- Phương trình đặc trưng có dạng

$$\delta_{11} M_1 \omega^2 - 1 = 0 \quad (\text{B.6})$$

- Tần số dao động riêng xác định từ công thức

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{M_1 \delta_{11}}} \quad (\text{B.7})$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{M_1 \delta_{11}}} \quad (\text{B.8})$$

Thứ nguyên của ω là Rad/s, còn thứ nguyên của f là 1/s hay Hz.

Trường hợp công trình có độ cứng EJ không đổi và liên kết ngàm ở móng :

$$\delta_{11} = \frac{H^3}{3EJ} \quad (\text{B.9})$$

với H là chiều cao công trình (m).

Thay (B.9) vào (B.8) ta có tần số dao động riêng :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EJ}{M_1 H^3}} \quad (\text{B.10})$$

B.1.2. Công trình có sơ đồ tính toán là thanh công xôn có hai khối lượng tập trung.

- Phương trình đặc trưng có dạng :

$$\begin{vmatrix} \delta_{11} M_1 \omega_i^2 - 1 & \delta_{12} M_2 \omega_i^2 \\ \delta_{21} M_1 \omega_i^2 & \delta_{22} M_2 \omega_i^2 - 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (\text{B.11})$$

$$\text{Hay : } \frac{1}{\omega_i^4} - (M_1 \delta_{11} + M_2 \delta_{22}) \frac{1}{\omega_i^2} + M_1 M_2 (\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12}^2) = 0 \quad (\text{B.12})$$

- Tần số dao động riêng xác định từ công thức :

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{A \mp \sqrt{A^2 - 4B}}{2B} \quad (\text{B.13})$$

$$f_{1,2}^2 = \frac{A \mp \sqrt{A^2 - 4B}}{8\pi^2 B} \quad (\text{B.14})$$

Trong đó :

$$A = M_1 \delta_{11} + M_2 \delta_{22}$$

$$B = M_1 M_2 (\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12}^2) \quad (\text{B.15})$$

- Các dạng dao động riêng xác định được từ phương trình :

$$(\delta_{11} M_1 \omega_i^2 - 1) y_{i1} + \delta_{12} M_2 \omega_i^2 y_{i2} = 0 \quad (\text{B.16})$$

Trong đó : ω_i - được xác định từ (B.13)

y_{i1} - chọn trước bằng một giá trị nào đó, thường lấy $y_{i1} = 1$.

B.1.3. Công trình có sơ đồ tính toán là thanh công xôn có ba khối lượng tập trung.

- Phương trình đặc trưng có dạng :

$$\begin{vmatrix} \delta_{11} M_1 \omega_i^2 - 1 & \delta_{12} M_2 \omega_i^2 & \delta_{13} M_3 \omega_i^2 \\ \delta_{21} M_1 \omega_i^2 & \delta_{22} M_2 \omega_i^2 - 1 & \delta_{23} M_3 \omega_i^2 \\ \delta_{31} M_1 \omega_i^2 & \delta_{32} M_2 \omega_i^2 & \delta_{33} M_3 \omega_i^2 - 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (B.17)$$

hay : $\frac{1}{\omega_i^6} + \frac{C}{\omega_i^4} + \frac{D}{\omega_i^2} + E = 0 \quad (B.18)$

Trong đó :

$$\begin{aligned} C &= -(M_1 \delta_{11} + M_2 \delta_{22} + M_3 \delta_{33}) \\ D &= M_1 M_2 (\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12}^2) + M_1 M_3 (\delta_{11} \delta_{33} - \delta_{13}^2) + M_2 M_3 (\delta_{22} \delta_{33} - \delta_{23}^2) \\ E &= M_1 M_2 M_3 (\delta_{11} \delta_{23}^2 + \delta_{22} \delta_{13}^2 + \delta_{33} \delta_{12}^2 - \delta_{11} \delta_{22} \delta_{33} - 2 \delta_{12} \delta_{13} \delta_{23}) \end{aligned}$$

Từ phương trình (B.18) sẽ xác định được 3 nghiệm thực dương ứng với 3 tần số dao động riêng.

- Các dạng dao động riêng xác định được từ hệ phương trình :

$$\begin{cases} (\delta_{11} M_1 \omega_i^2 - 1) + \delta_{12} M_2 \omega_i^2 \frac{y_{i2}}{y_{i1}} + \delta_{13} M_3 \omega_i^2 \frac{y_{i3}}{y_{i1}} = 0 \\ \delta_{12} M_1 \omega_i^2 + (\delta_{22} M_2 \omega_i^2 - 1) \frac{y_{i2}}{y_{i1}} + \delta_{13} M_3 \omega_i^2 \frac{y_{i3}}{y_{i1}} = 0 \end{cases} \quad (B.19)$$

Trong đó : y_{ij} chọn trước bằng một giá trị nào đó, thường lấy $y_{i1} = 1$.

B.1.4. Công trình có sơ đồ tính toán là thanh công xôn có n khối lượng tập trung.

- Trường hợp $n > 4$, có thể xác định tần số dao động riêng từ bất đẳng thức kép :

$$\frac{1}{\sqrt{B_{12}}} < \omega_i^2 < \frac{2}{B_{11} \left(1 + \sqrt{2 \frac{B_{12}}{B_{11}^2} - 1} \right)} \quad (B.20)$$

Khi xác định tần số dao động riêng thứ nhất ($i = 1$), giá trị B_{11} , B_{12} lấy bằng :

$$B_{11} = \sum_{j=1}^n M_j \delta_{jj} \quad (B.21)$$

$$B_{12} = \sum_{j=1}^n M_j^2 \delta_{jj}^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n M_j M_k \delta_{jk}^2$$

Khi xác định tần số dao động riêng thứ hai ($i = 2$), giá trị B_{21} , B_{22} lấy bằng :

$$B_{21} = B_{11} - \frac{1}{\omega_i^2} \quad (B.22)$$

$$B_{22} = B_{12} - \frac{1}{\omega_i^4}$$

- Các dạng dao động riêng xác định từ hệ phương trình :

$$\begin{cases} (\delta_{11} M_1 \omega_i^2 - 1) + \delta_{12} M_2 \omega_i^2 \frac{y_{i2}}{y_{i1}} + \dots + \delta_{1n} M_n \omega_i^2 \frac{y_{in}}{y_{i1}} = 0 \\ \delta_{21} M_1 \omega_i^2 + (\delta_{22} M_2 \omega_i^2 - 1) \frac{y_{i2}}{y_{i1}} + \dots + \delta_{2n} M_n \omega_i^2 \frac{y_{in}}{y_{i1}} = 0 \\ \dots \\ \delta_{1,n-1} M_1 \omega_i^2 + \dots + (\delta_{n-1,n-1} M_{n-1} \omega_i^2 - 1) \frac{y_{i,n-1}}{y_{i1}} + \delta_{n,n-1} M_n \omega_i^2 \frac{y_{in}}{y_{i1}} = 0 \end{cases} \quad (B.23)$$

Trong đó : y_{i1} thường lấy bằng đơn vị.

B.2. Công trình có sơ đồ tính toán là thanh công xôn có khối lượng phân bố đều.

3.2.1. Đối với các công trình có khối lượng phân bố đều (m), độ cứng EJ không đổi và liên kết ngàm ở đáy thì tần số dao động riêng được xác định theo công thức [3.6].

$$f_i = \frac{\alpha_i^2}{2\pi H^2} \sqrt{\frac{EJg}{q}} \quad (B.24)$$

Các tung độ của ba dạng dao động đầu tiên cho trong bảng B.1 hoặc xác định theo công thức [3.6].

$$Y_{ji} = \sin \alpha_i \xi_j^* - \operatorname{sh} \alpha_i \xi_j^* - B_i (\cos \alpha_i \xi_j^* - \operatorname{ch} \alpha_i \xi_j^*) \quad (B.25)$$

Trong các công thức (B.24) và (B.25), các hệ số α_i và B_i ứng với 3 dạng dao động đầu tiên lấy bằng :

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 1,875 & B_1 &= 1,635 \\ \alpha_2 &= 4,694 & B_2 &= 0,980 \\ \alpha_3 &= 7,860 & B_3 &= 1,000 \\ \xi_j^* &= \frac{h_j}{H} \end{aligned} \quad (B.26)$$

Trong đó :

f_i - là tần số dao động riêng thứ i (Hz) ;

q - là trọng lượng đơn vị dài theo chiều cao công trình (kN/m) ;

EJ - là độ cứng chống uốn của công trình (kN.m²) ;

g - là gia tốc trọng trường (m/s²) ;

h_j - là chiều cao của điểm khối lượng thứ j (m) ;

H - là chiều cao của toàn bộ công trình (m).

Bảng B.1. Giá trị các dịch chuyển ngang tỉ đối ứng với 3 dạng dao động đầu tiên của hệ có khối lượng phân bố đều và độ cứng không đổi

$i \backslash \xi^*$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
1	0	0,017	0,064	0,136	0,230	0,340	0,462	0,558	0,725	0,863	1
2	0	0,093	0,301	0,526	0,685	0,715	0,589	0,317	0,007	-0,523	-1
3	0	0,224	0,605	0,957	0,526	0,020	-0,474	-0,658	-0,395	0,228	1

3.2.2. Nếu ngoài khối lượng phân bố đều, công trình còn có các khối lượng tập trung, thì có thể sử dụng công thức (B.24) để xác định các tần số dao động riêng nhưng khi đó q được lấy bằng trọng lượng phân bố đều quy đổi [3,6] :

$$q = q' + \frac{\lambda_i}{H} \sum_{j=1}^n P_j y_{ji}^2 \quad (B.27)$$

Trong đó :

q' - trọng lượng phân bố đều (kN/m) ;

P_j - trọng lượng tập trung thứ j (kN) ;

y_{ji} - xác định theo công thức (B.25), không thứ nguyên ;

n - số khối lượng tập trung ;

λ - là hệ số phụ thuộc vào dạng dao động riêng ;

H - là chiều cao công trình (m).

Với 3 dạng dao động đầu tiên, giá trị của λ_i lần lượt là :

$$\lambda_1 = 0,54 \quad \lambda_2 = 1,04 \quad \lambda_3 = 1 ;$$

B.2.3. Đối với công trình có tiết diện thay đổi theo chiều cao, tần số dao động riêng thứ nhất có thể xác định theo công thức [6]

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g y_{11}}{\sum_{j=1}^n P_j y_j^2}} \quad (B.28)$$

Trong đó :

y_{11}, y_j - là chuyển vị ở đỉnh và trọng tâm của đoạn thứ j của công trình do lực $P = 1\text{kN}$ đặt ở đỉnh công trình gây ra (m) ;

P_j - trọng lượng của đoạn công trình thứ j (kN) ;

n - số đoạn công trình ;

g - gia tốc trọng trường (m/s^2).

B.2.4. Đối với công trình dạng ống khối hoặc các công trình tương tự có mặt cắt ngang hình vành khuyên, tần số dao động riêng có kể đến ảnh hưởng biến dạng của nền, được xác định theo công thức [3.4.6].

$$f_1 = \frac{\lambda_1 r_o}{2\pi H^2} \sqrt{\frac{Eg}{q}} \quad (B.29)$$

Trong đó :

f_1 - là tần số dao động riêng thứ i (Hz) ;

E - là môđun đàn hồi của vật liệu làm thân ống khối (kN/m^2) ;

H - là chiều cao của ống khối từ đỉnh đến móng (m) ;

g - là gia tốc trọng trường (m/s^2) ;

q - là trọng lượng thể tích của thân ống khối (kN/m^3) ;

r_o - là bán kính quán tính của tiết diện đáy ống khối (m).

$$r_o = \sqrt{\frac{J_o}{F_o}} \quad (B.30)$$

J_o, F_o - là mômen quán tính và diện tích tiết diện đáy ống khối (m^4, m^2)

λ_i - là hệ số, ứng với dạng dao động thứ i . Với 3 dạng dao động đầu tiên, λ_i được xác định theo các đồ thị hình B.2.

Lớp lót ống khối thường chỉ làm tăng trọng lượng còn hầu như không ảnh hưởng đến độ cứng của ống khối, khi đó giá trị q được tính gần đúng theo công thức :

$$q = q_{th} + q_l \frac{F_l}{F_{th}} \quad (B.31)$$

Trong đó :

q_{th} và q_l - là trọng lượng thể tích của vật liệu làm thân ống khối và lớp lót (kN/m^3)

F_{th} và F_l - diện tích tiết diện ngang của phần thân và phần lớp lót ứng với độ cao trung bình của ống khối (m^2).

Các dạng dao động riêng của ống khối được xác định theo công thức [3,4,6].

$$y_{ji} = \frac{1}{1 + k \frac{h_j}{H}} \left[\sin \frac{\pi h_j}{2H} + A_i \sin \frac{3\pi h_j}{2H} + B_i \sin \frac{5\pi h_j}{2H} \right] \quad (B.32)$$

Trong đó :

$$k = 0,75 \left(\frac{J_H}{J_o} - 1 \right)$$

A_i, B_i - là các hệ số ứng với các dạng dao động riêng, được xác định theo các biểu đồ hình B.3.

Các hệ số λ_i, A_i, B_i đối với mỗi dạng dao động phụ thuộc vào các tham số :

$$\frac{J_1}{J_0}, \frac{H}{r_0}, \alpha = \frac{2EJ_0}{C_z F_m H^3}$$

Trong đó :

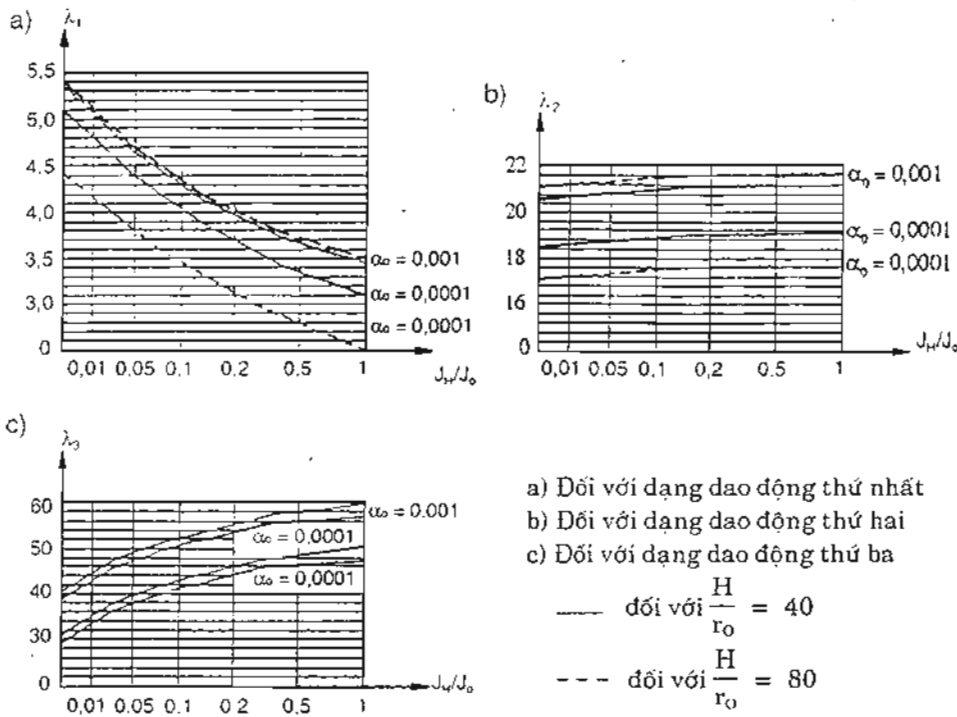
J_H, J_0 - là mômen quán tính của tiết diện đỉnh và đáy ống khói (m^4) ;

E - là môđun đàn hồi của vật liệu làm thân ống khói (kN/m^2) ;

h_j - chiều cao từ đáy ống khói đến điểm đang xét (m) ;

F_m - diện tích đế móng ống khói (m^2) ;

C_z - hệ số nền của đất (kN/m^2).



Hình B.2 : Biểu đồ xác định hệ số λ_i

3.3. Một số công thức thực nghiệm [3.6]

Chu kỳ dao động riêng cơ bản của các nhà cơ thể tính theo công thức thực nghiệm :

Công thức 1 : $T = \alpha n$ (B.33)

Trong đó :

n - là số tầng nhà ;

α - là hệ số phụ thuộc vào kết cấu của nhà và dạng nền. Đối với nền móng có biến dạng trung bình thì :

- + Nhà tấm lớn $\alpha = 0,047$;
- + Nhà ở tường chịu lực bằng gạch đá và bấc lớn $\alpha = 0,056$;
- + Nhà trường học và các công trình công cộng khác với tường chịu lực bằng gạch đá và bấc lớn $\alpha = 0,065$;
- + Khung bê tông cốt thép toàn khối, tường bằng gạch hoặc bê tông nhẹ $\alpha = 0,064$;
- + Khung thép chèn gạch hoặc bê tông nhẹ $\alpha = 0,08$.

Công thức 2 : $T = \mu \frac{H}{\sqrt{D}}$ (B.34)

Trong đó :

H - là chiều cao nhà tính bằng (m) ;

D - kích thước bề rộng mặt đón gió tính bằng (m) ;

μ - hệ số phụ thuộc vào dạng kết cấu :

+ Nhà có hệ thống chống gió bằng khung bê tông cốt thép $\mu = 0,09$;

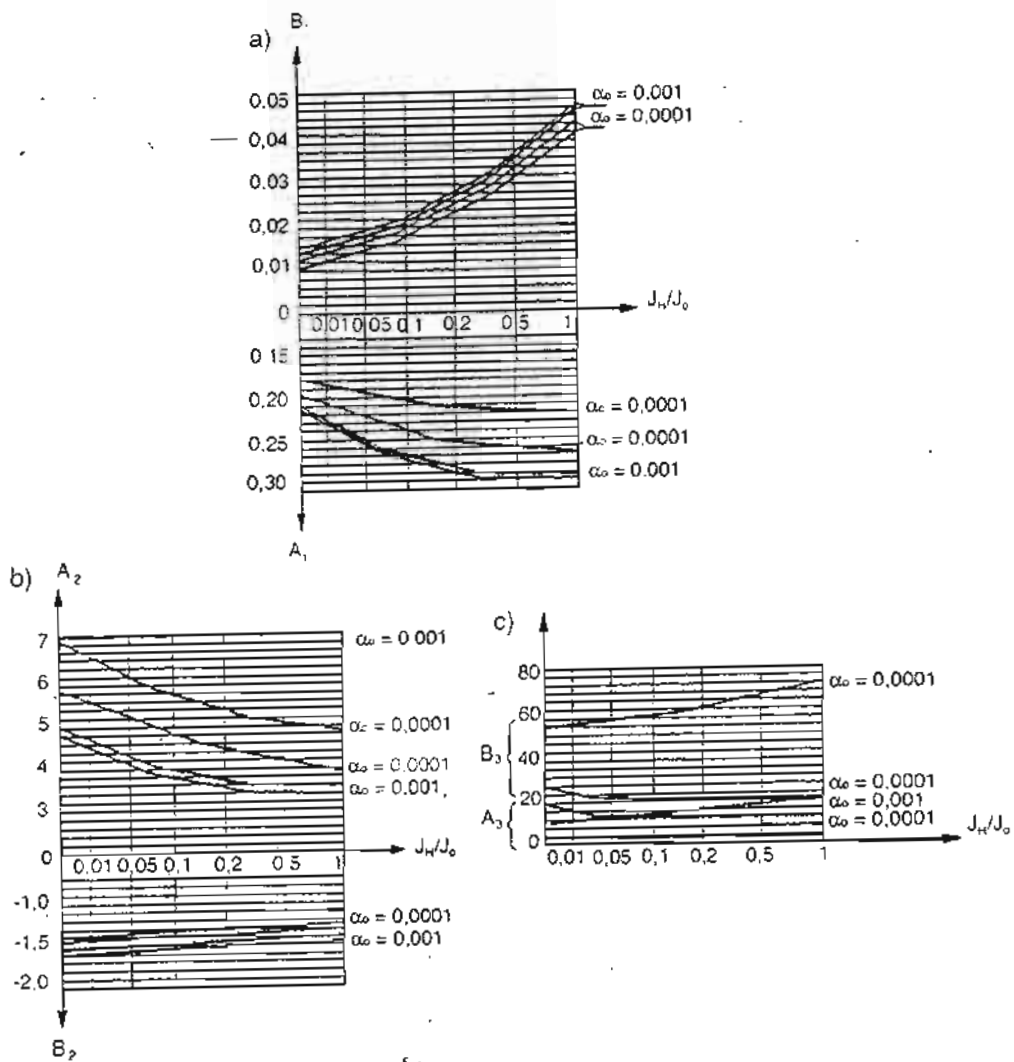
+ Nhà có hệ thống chống gió bằng khung thép $\mu = 0,10$;

+ Nhà có hệ thống chống gió bằng tường xây gạch, đá hoặc bê tông thường

$$\mu = 0,06 \sqrt{\frac{H}{2D + H}} ;$$

+ Nhà có hệ thống chống gió bằng tấm tường bê tông cốt thép

$$\mu = 0,08 \sqrt{\frac{H}{D + H}}$$



Hình B.3 : Biểu đồ xác định hệ số A_1 và B_1

a) Đối với dạng dao động thứ nhất ;

b) Đối với dạng dao động thứ hai ; c) Đối với hạng dao động thứ ba.

Phụ lục C
(Tham khảo)

Kiểm tra mất ổn định khí động cho công trình cao và kết cấu mềm

C.1. Đặt vấn đề

Trong TCVN 2737 : 1995, điều 6.12 quy định : đối với các công trình cao và kết cấu mềm (ống khói, trụ, tháp...) cần phải kiểm tra mất ổn định khí động theo các chỉ dẫn riêng.

Dưới đây trình bày hiện tượng mất ổn định khí động và phương pháp tính toán, kiểm tra cho các công trình dạng trụ tròn và lăng trụ ứng với hai hiện tượng :

- Mất ổn định khí động do kích động xoáy đối với kết cấu và công trình dạng trụ tròn ;
- Mất ổn định khí động galoping đối với kết cấu và công trình dạng lăng trụ.

C.2. Mất ổn định do kích động xoáy đối với kết cấu và công trình dạng trụ tròn :

C.2.1. Sự tách xoáy và lực khí động

Gió tạo nên phía sau công trình một dòng khí. Tính chất của dòng khí này phụ thuộc vào độ nhớt của nó mà đặc trưng là trị số Reynolds R_c :

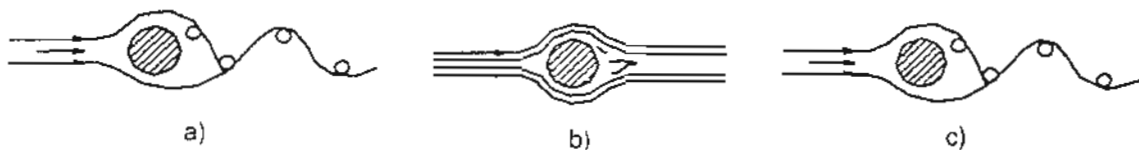
$$R_c = 6900 vD \quad (C.1)$$

Trong đó :

- v - là vận tốc gió (m/s) ;
- D - là bề rộng mặt đón gió (m) ;
- R_c - số Reynolds không thứ nguyên.

Các kết quả nghiên cứu [7, 8, 9, 10] cho thấy, đối với các công trình dạng trụ tròn khi :

- $3 \cdot 10^2 \leq R_c < 3 \cdot 10^5$ luồng khí phía sau công trình hình thành các xoáy có quy tắc và tách ra với chu kì xác định (hình C.1a) gọi là phạm vi gần tới hạn ;
- $3 \cdot 10^5 < R_c < 3,5 \cdot 10^6$ các xoáy phía sau công trình không theo quy tắc nào cả (hình C.1b) gọi là phạm vi trong giới hạn ;
- $R_c > 3,5 \cdot 10^6$ các xoáy dần trở lại và có quy tắc và tách ra với một chu kì xác định (hình C.1c) gọi là phạm vi vượt giới hạn.



Hình C.1 : Sự tách xoáy của dòng khí ở phía sau công trình dạng trụ tròn.

Dòng xoáy tách ra ở phía sau công trình tạo nên lực ngang làm công trình dao động theo phương vuông góc với luồng gió. Tùy theo tính chất tách xoáy có chu kì hay không có chu kì xác định mà dao động ngang của công trình và lực ngang tác dụng lên nó có tính tiến định hoặc ngẫu nhiên :

- Phạm vi gần tới hạn và vượt giới hạn, lực ngang có tính tiến định và tuần hoàn :

$$P_L(z, \tau) = 0,5 \rho(z) v^2(z) D(z) \mu_L(z) \sin \omega_c \tau \quad (C.2)$$

- Phạm vi trong giới hạn, lực ngang có tính ngẫu nhiên :

$$P_L(z, \tau) = 0,5 \rho(z) v^2(z) D(z) \mu_L(z) f(\tau) \quad (C.3)$$

Trong đó :

$P_L(z, \tau)$ - là lực ngang hướng gió tác dụng lên công trình ở cao độ z tại thời điểm τ ;

$\rho(z)$ - là mật độ không khí ở độ cao z ;

$D(z)$ - là bề rộng diện tích đón gió ở độ cao z ;

$\mu_L(z)$ - là hệ số lực ngang hướng gió ở độ cao z , xác định bằng thực nghiệm, $\mu_L(z)$ phụ thuộc vào R_c . Đối với công trình dạng trụ tròn quan hệ giữa, $\mu_L(z)$ và R_c cho trong biểu đồ hình C.2 ;

$f(\tau)$ - là hàm ngẫu nhiên theo thời gian ;

ω_s - là tần số tách xoáy phía sau công trình, ω_s được xác định từ các công thức :

$$S_h = \frac{f_s D}{v} = \frac{D(z)}{v T_s} \quad (C.4)$$

$$\omega_s = 2\pi f_s \quad (C.5)$$

Với : S_h - số Struhal không thứ nguyên xác định bằng thực nghiệm, cho trong bảng C.1 ;

f_s - tần số tách xoáy (Hz) ;

$D(z)$ - bề rộng mặt đón gió (m), ở độ cao z ;

v - vận tốc gió (m/s) ;

T_s - chu kì tách xoáy phía sau công trình (s).

Các kết quả nghiên cứu [2] cho thấy rằng : Khi vận tốc gió tăng thì tần số tách xoáy f_s cũng tăng. Cho đến khi f_s đạt đến f_1 - là tần số dao động riêng của công trình thì xảy ra cộng hưởng dẫn đến công trình có thể bị mất ổn định khí động.

C.2.2. Vận tốc gió giới hạn và phạm vi tác dụng của lực khí động khi mất ổn định do kích động xoáy.

Khoảng vận tốc gió làm cho tần số tách xoáy f_s trùng với tần số dao động riêng f_1 của công trình gọi là khoảng vận tốc giới hạn. Theo chiều cao công trình, vận tốc gió thay đổi nên R_c cũng thay đổi theo. Vì vậy, một công trình tối đa có thể có ba phạm vi gần tới hạn, trong giới hạn và vượt giới hạn (hình C.2). Khoảng vận tốc gió giới hạn gây mất ổn định dạng kích động xoáy có thể nằm trong phạm vi gần tới hạn hoặc phạm vi vượt giới hạn. Ở phạm vi vượt giới hạn thường vận tốc gió là lớn nên trong một số trường hợp, lực ngang hướng gió tác động lên công trình sẽ rất lớn gây mất ổn định khí động.

Vận tốc gió giới hạn nhỏ nhất sẽ ứng với trường hợp tần số tách xoáy f_s trùng với tần số dao động riêng thứ nhất f_1 của công trình, và được gọi là vận tốc gió tới hạn.

Từ quan hệ (C.4), ta có công thức để xác định vận tốc gió tới hạn

$$v^* = \frac{f_1 D(z)}{S_h} \quad (C.6)$$

Trong đó :

v^* - là vận tốc gió tới hạn gây mất ổn định khi kích động xoáy ;

$D(z), S_h$ - giống như trong công thức (C.4) ;

f_1 - là tần số dao động riêng thứ nhất của công trình (Hz). Quan hệ giữa f_1 và ω_1 được xác định theo công thức (C.5) với $s = 1$.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm [2] thấy rằng phạm vi xảy ra mất ổn định khí động do kích động xoáy nằm trong khoảng vận tốc gió :

$$v^* \leq v \leq 1,3v^* \quad (C.7)$$

Vận tốc gió theo độ cao thay đổi theo quy luật :

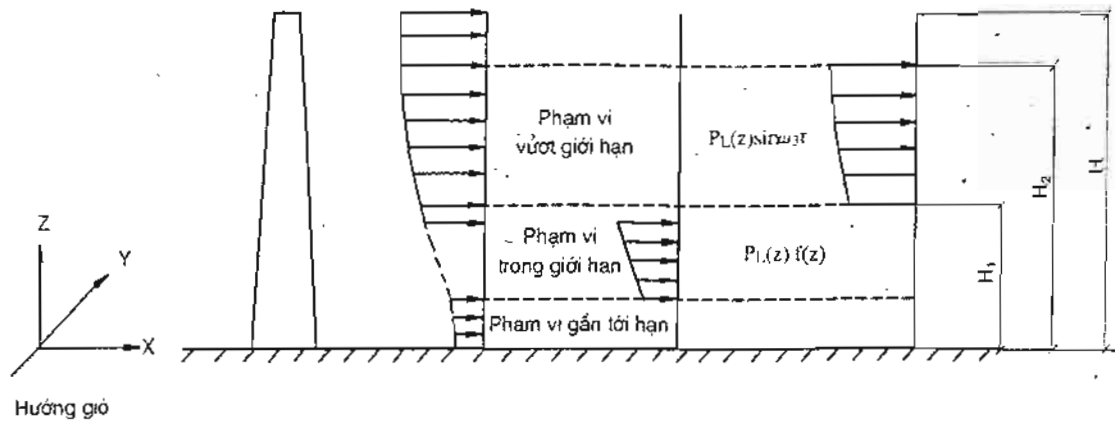
$$V_1(z) = V_1^g \left(\frac{z}{z^g} \right)^{m_1} \quad (C.8)$$

Trong đó :

z^g - là độ cao của địa hình dạng t mà ở đó vận tốc gió không còn chịu ảnh hưởng của mặt đê, còn gọi là độ cao gradient ;

$V_1(z), V_1^g$ - là vận tốc gió ở độ cao z và độ cao gradient của địa hình dạng t ;

m_1 - là số mũ tương ứng với địa hình dạng t , xác định bằng thực nghiệm.



Hình C.2 : Các phạm vi tác dụng của lực ngang hướng gió lên công trình

Từ (C.7) và (C.8) ta có cao độ khởi đầu H_1 và cao độ kết thúc H_2 của khu vực cộng hưởng xác định theo công thức :

$$H_1 = 10 \left(\frac{v^*}{v_0} \right)^{\frac{1}{m_1}} \tag{C.9}$$

$$H_2 = 10 \left(\frac{1,3 v^*}{v_0} \right)^{\frac{1}{m_1}}$$

Trong đó :

v^* - là vận tốc gió tới hạn (m/s) ;

v_0 - là vận tốc gió cơ bản ở độ cao 10 mét (m/s) ;

m_1 - là số mũ ứng với địa hình dạng t ;

1,3 - là hệ số xác định từ thực nghiệm.

Trường hợp $H_2 > H$ (H là chiều cao công trình) thì lấy $H_2 = H$.

3.2.3. Chuyển vị và tải trọng tác dụng lên công trình khi mất ổn định dạng kích động xoay :

Nếu hướng gió theo phương y , ta có phương trình dao động của hệ

$$[M]\ddot{X} + [C]\dot{X} + [K]X = F(\tau) \tag{C.10}$$

Trong đó

$[M]$, $[C]$, $[K]$ - là các ma trận khối lượng, ma trận cản, và ma trận độ cứng của hệ theo phương vuông góc với luồng gió ;

\ddot{X} , \dot{X} , X - là véc tơ gia tốc, vận tốc và dịch chuyển theo phương vuông góc với luồng gió của những tọa độ xác định khối lượng tập trung của hệ ;

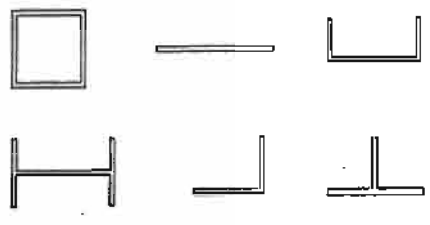
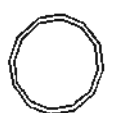
$F(\tau)$ - là véc tơ lực ngang hướng gió đặt tại các tọa độ tương ứng.

Dùng phép biến đổi : $X = [\varphi]q$

$$\tag{C.11}$$

Trong đó $[\varphi]$ là ma trận biến đổi có tính trực giao với $[M]$, $[C]$, $[K]$.

Bảng C.1 : Số Struhhal cho một số dạng mặt cắt

Hướng gió	Dạng mặt cắt	Giá trị Sh
→		0,15
→	 $3.102 < R_c < 3.10^5$ $3.10^5 \leq R_c < 3.5.10^6$ $R_c \geq 3,5.10^6$	0,2 0,2 ÷ 0,3 0,3

Thay (C.11) vào (C.10), rút gọn ta có hệ phương trình vi phân tuyến tính

$$\ddot{q}_i + 2\gamma_i \omega_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n M_j \varphi_{ji}^2} \sum_{k=1}^n \varphi_{ki} F_k(\tau) \tag{C.12}$$

Trong đó : $F_k(\tau)$ - là lực ngang hướng gió tác dụng lên điểm k

Nếu chỉ xét đến ảnh hưởng của lực công hưởng, ta có

$$\ddot{q}_i + 2\gamma_i \omega_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n M_j \varphi_{ji}^2} \sum_{k=l_1}^{l_2} \varphi_{ki} F_k(\tau) \tag{C.13}$$

Trong đó :

$$F_k(\tau) = 0,5\rho v_k^2 D_k \mu_{1,k} \sin \omega_s \tau \tag{C.14}$$

l_1 và l_2 - là điểm thấp nhất và điểm cao nhất trong vùng công hưởng từ H_1 đến H_2 ;

ω_s - là tần số tách xoáy ở phía sau công trình tại vùng công hưởng.

Thay (C.14) vào (C.13), ta có :

$$\ddot{q}_i + 2\gamma_i \omega_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = \sum_{k=l_1}^{l_2} C_{ki} \sin \omega_s \tau \tag{C.15}$$

Với

$$C_{ki} = \frac{1}{2} \rho \frac{1}{\sum_{j=1}^n M_j \varphi_{ji}^2} \varphi_{ki} v_k^2 D_k \mu_{1,k} \tag{C.16}$$

Nghiệm của (C.15) có dạng :

$$q_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n M_j \varphi_{ji}^2} \sum_{k=l_1}^{l_2} \frac{\frac{1}{2} \rho v_k^2 D_k \mu_{1,k} \varphi_{ki} \sin(\omega_s \tau + \theta)}{\omega_i^2 \sqrt{\left(1 - \frac{\omega_s^2}{\omega_i^2}\right)^2 + 4\gamma_i^2 \frac{\omega_s^2}{\omega_i^2}}} \tag{C.17}$$

Trong đó :

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{2\gamma_i \omega_s}{\omega_i^2 - \omega_s^2} \quad (\text{C.18})$$

Trường hợp cộng hưởng $\omega_i = \omega_s$ và $v_k = v_k^*$, ta có :

$$q_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n M_j \varphi_{ji}^2} \frac{\sum_{k=l_1}^{l_2} \frac{1}{2} \rho v_k^{*2} D_k \mu_{Lk} \varphi_{ki} \sin(\omega_i \tau + \frac{\pi}{2})}{2\gamma_i \omega_i^2} \quad (\text{C.19})$$

Suy ra :

$$q_{i\max} = \frac{\frac{1}{2} \rho \sum_{k=l_1}^{l_2} v_k^{*2} D_k \mu_{Lk} \varphi_{ki}}{2\gamma_i \omega_i^2 \sum_{j=1}^n M_j \varphi_{ji}^2} \quad (\text{C.20})$$

v_k^* - là vận tốc gió tới hạn ứng với cao trình điểm k

Từ (C.11) ta có :

$$X_j = \sum_{i=1}^n q_i \varphi_{ji} = \sum_{i=1}^n X_{ji} \quad (\text{C.21})$$

Trong đó :

$$X_{ji} = q_i \cdot \varphi_{ji} \quad (\text{C.22})$$

$$X_{ji} = \frac{\varphi_{ji}}{2\gamma_i \omega_i^2 \sum_{j=1}^n M_j \varphi_{ji}^2} \sum_{k=l_1}^{l_2} \frac{1}{2} \rho v_k^{*2} D_k \mu_{Lj} \varphi_{ki} \sin(\omega_i \tau + \frac{\pi}{2}) \quad (\text{C.23})$$

Từ (C.23) ta có chuyển vị lớn nhất tại điểm j ứng với dạng dao động thứ i là

$$X_{j\max} = \frac{1}{\omega_i^2} \eta_{Lji} \xi_{Li} \quad (\text{C.24})$$

Tải trọng tác dụng lên phần thứ j của công trình ứng với dạng dao động thứ i khi xảy ra mất ổn định dạng kích động xoáy là :

$$Q_{ji} = M_j \ddot{X}_{j\max} = M_j X_{j\max} \omega_i^2$$

Suy ra

$$Q_{ji} = M_j \eta_{Lji} \xi_{Li} \quad (\text{C.25})$$

Trong đó : M_j - khối lượng tập trung tại điểm j

$$\xi_{Li} = \frac{1}{2\gamma_i} \quad (\text{C.26})$$

Với kết cấu thép $\gamma_i = 0,02$; kết cấu bê tông cốt thép $\gamma_i = 0,05$

$$\eta_{Lji} = \frac{\frac{1}{2} \rho \varphi_{ji} \sum_{k=l_1}^{l_2} v_k^{*2} D_k \mu_{Lk} \varphi_{ki}}{\sum_{j=1}^n M_j \varphi_{ji}^2} \quad (\text{C.27})$$

Với :

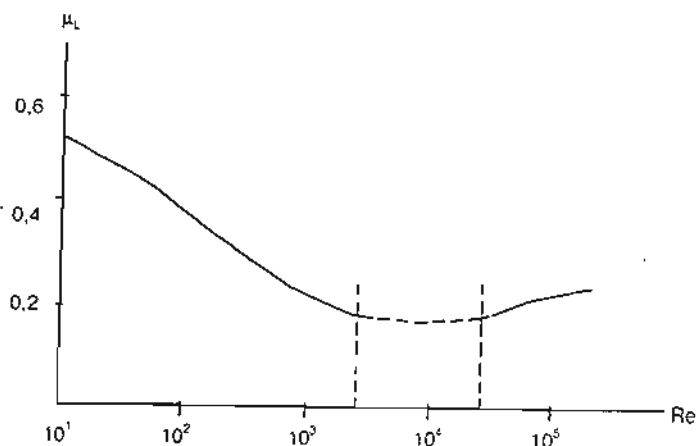
ρ - là mật độ không khí ($\text{kN.s}^2/\text{m}^4$)

v_k^* - là vận tốc gió tới hạn ở độ cao ứng với điểm k (m/s) ;

D_k - là bề rộng đón gió của công trình ở độ cao ứng với điểm k (m) ;

$\varphi_{ji}, \varphi_{ki}$ - là các dịch chuyển ngang tỉ đối với điểm j và điểm k ứng với dạng dao động thứ i.

μ_{Lk} - là hệ số lực ngang hướng gió ở cao trình điểm k, lấy theo thực nghiệm, phụ thuộc vào trị số Reynolds Re (hình C.3).



Hình C.3 : Quan hệ thực nghiệm Re và μ_L của kết cấu ống tròn.

Dựa vào công thức (C.25), (C.26) ta có nhận xét : Cân của kết cấu càng nhỏ, tải trọng do cộng hưởng gây nên càng lớn, nếu bỏ qua ảnh hưởng của cân kết cấu, tải trọng do cộng hưởng bằng vô cùng.

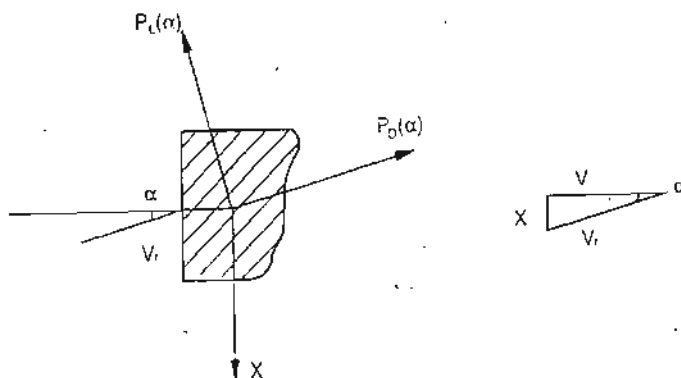
C.3. Mất ổn định khí động dạng galoping đối với kết cấu và công trình lẳng trụ

C.3.1. Hiện tượng

Công trình phản ứng dưới tác dụng của tải trọng gió, thông thường do có cân kết cấu nên phản ứng bị khống chế, dao động sẽ ổn định, nhưng trong một số trường hợp nhất định, bộ phận kích động có thể sinh ra thành phần cân khí động. Nếu tốc độ gió đạt đến một trị nhất định nào đó mà giá trị của thành phần cân khí động lớn hơn giá trị cân của kết cấu, khi đó chấn động động sinh ra sẽ ngày một tăng cho đến cực đại và gây ra phá hoại do mất ổn định khí động [2, 5, 6], còn gọi là hiện tượng galoping. Vấn đề ở đây là thiết kế sao cho công trình không rơi vào trạng thái mất ổn định.

C.3.2. Phản ứng của công trình và vận tốc gió tới hạn

Xét mặt cắt ngang của vật thể hình lẳng trụ có độ cứng và tiết diện không đổi chịu tác dụng của tải trọng gió (hình C.4).



Hình C.4 : Lực tác dụng của gió lên vật thể lẳng trụ.

Phương trình dao động ngang hướng gió

$$\ddot{m}x + c\dot{x} + kx = P_0(\alpha) \tag{C.28}$$

Trong đó :

m - là khối lượng phân bố ;

c - là hệ số cản của kết cấu theo phương ngang luồng gió ;

k - là độ cứng của hệ theo phương ngang luồng gió.

Chiếu các lực lên phương x , ta có :

$$P_o(\alpha) = -P_D(\alpha) \sin \alpha - P_L \cos \alpha \quad (C.29)$$

Trong đó :

$P_o(\alpha)$ - lực tác dụng lên vật thể theo phương ngang luồng gió ứng với góc tới α của gió ;

$P_D(\alpha), P_L(\alpha)$ - lực tác dụng của gió lên vật thể ứng với góc tới α theo phương dọc và vuông góc với luồng gió :

$$P_D(\alpha) = 0,5 \rho v_r^2 D \mu_D(\alpha) \sin \alpha \quad (C.30)$$

$$P_L(\alpha) = 0,5 \rho v_r^2 D \mu_L(\alpha) \cos \alpha$$

$\mu_D(\alpha), \mu_L(\alpha)$ - hệ số lực theo phương dọc và vuông góc với luồng gió ứng với góc tới α .

Thay (C.30) vào (C.29), ta có :

$$P_o(\alpha) = 0,5 \rho v_r^2 D [-\mu_D(\alpha) \sin \alpha - \mu_L(\alpha) \cos \alpha]$$

Vì
$$v_r = \frac{v}{\cos \alpha}$$

Nên
$$P_o(\alpha) = \frac{1}{2} \rho v^2 D \left[-\mu_D(\alpha) \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} - \mu_L(\alpha) \frac{1}{\cos \alpha} \right]$$

Hay
$$P_o(\alpha) = \frac{1}{2} \rho v^2 D \mu_{DL}(\alpha) \quad (C.31)$$

Trong đó :

$$\mu_{DL}(\alpha) = - \left[\mu_D(\alpha) \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} + \mu_L(\alpha) \frac{1}{\cos \alpha} \right] \quad (C.32)$$

Với α nhỏ, ta có thể khai triển $\mu_{DL}(\alpha)$ theo chuỗi Taylo tại $\alpha = 0$ và lấy gần đúng với hai số hạng đầu của chuỗi.

$$\mu_{DL}(\alpha) = \mu_{DL}(0) + \mu'_{DL}(0) \alpha$$

Với $\alpha = 0$, suy ra $\alpha = \frac{\dot{x}}{v}$, vì vậy ta có :

$$\mu_{DL}(\alpha) = \mu_{DL}(0) + \mu'_{DL}(0) \frac{\dot{x}}{v} \quad (C.33)$$

Thay $\mu_{DL}(\alpha)$ từ (C.33) vào (C.31) và thế vào $P_o(\alpha)$ trong (C.28), rút gọn ra có :

$$\ddot{x} + 2\gamma \omega \dot{x} + \omega^2 x = \frac{1}{2m} \rho v^2 D \mu_{DL}(0) \quad (C.34)$$

Trong đó :

$$\gamma = \frac{1}{2} \left[c - \frac{1}{2} \rho v^2 D \mu'_{DL}(0) \right] \quad (C.35)$$

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad (C.36)$$

Nghiệm của (C.34) có dạng :

$$x = x_o + \beta e^{-\gamma \omega t} \cos(\sqrt{1 - \gamma^2} \omega t + \theta) \quad (C.37)$$

Trong đó :

x - là chuyển vị ngang luồng gió của tiết diện khảo sát ;

x_o - là nghiệm riêng của phương trình (C.34) ;

β, θ - là các hằng số tích phân.

Từ (C.37) ta thấy :

- Khi $\gamma > 0$, biên độ dao động sẽ giảm dần, công trình trong trạng thái ổn định.
- Khi $\gamma < 0$, biên độ dao động tăng lên vô hạn theo t, công trình trong trạng thái mất ổn định.
- Khi $\gamma = 0$, công trình ở trạng thái tới hạn. Khi đó, từ (C.35) ta có điều kiện gây mất ổn định khi động dạng galoping là :

$$v \geq v^* = \frac{2c}{\rho D \mu_{DL}(0)} \quad (C.38)$$

Trong đó :

- v - là vận tốc gió tác dụng lên công trình (m/s) ;
- v* - là vận tốc gió tới hạn (m/s) ;
- ρ - là mật độ không khí ($kN.s^2/m^4$) ;
- D- là bề rộng đón gió của công trình ở cao trình tính toán (m)
- c - là hệ số cản của kết cấu theo phương ngang luồng gió.

Từ (C.28) và (C.34) ta có :

$$c = 2\omega m \quad (C.39)$$

Trong đó :

- ω - Xác định từ công thức (C.36) ;
- m - Khối lượng phân bố của công trình (T/m) ;
- γ - Là tỉ cản của kết cấu theo phương ngang luồng gió ;

$$\gamma = \frac{\delta}{2\Pi} \quad (C.40)$$

δ - là độ giảm loga của dao động.

$\mu_{DL}(0)$ - được xác định bằng thực nghiệm. Ứng với các dạng tiết diện khác nhau, $\mu_{DL}(0)$ cho trong bảng C.2.

Công thức (C.38) dùng để kiểm tra khả năng mất ổn định khi động dạng galoping cho các công trình.

Thường hệ số cản của kết cấu $c > 0$, nên điều kiện cần để $\gamma < 0$ là $\mu_{DL}(0) > 0$.

Từ (C.32), ta có :

$$\mu_{DL}(0) = -[\mu_D(0) + \mu_L(0)]$$

Vậy điều kiện cần để xảy ra mất ổn định khi động dạng galoping là :

$$\mu_D(0) + \mu_L(0) < 0 \quad (C.41)$$


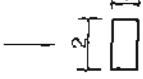
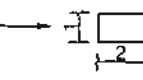
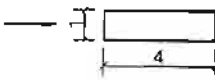

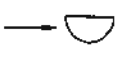
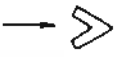
Với kết cấu và công trình có tiết diện tròn ta có :

$$\frac{d\mu_L(\alpha)}{d\alpha} = 0$$

Mặt khác $\mu_D(\alpha) > 0$.

Vì vậy theo (C.41) thì kết cấu và công trình có tiết diện tròn không thể xảy ra mất ổn định khi động dạng galoping được

Bảng C.2 : Giá trị $\mu'_{DL}(0)$

Mặt cắt	R_e	$\mu'_{DL}(0)$
	66000	+ 2,7
	66000	0
	33000	+ 3,0
	2000 ~ 20.000	+ 10,0
	63.000	0
	51.000	-0,5
	7.500	+0,66

C.4. Kết luận

- Đối với các công trình cao và kết cấu mềm cần phải kiểm tra tình trạng mất ổn định khí động
- Mất ổn định do kích động xoáy thường xảy ra với các kết cấu và công trình có tiết diện tròn với vận tốc gió trong một khoảng giới hạn nhất định. Lực khí động trong trường hợp này tác dụng chủ yếu lên một phạm vi của chiều cao công trình, phạm vi này càng cao thì lực khí động càng lớn.
- Mất ổn định galoping thường xảy ra với công trình cao và kết cấu mềm dạng lăng trụ, các công trình có tiết diện ngang dạng tròn nhưng mặt ngoài đón gió xù xì, góc cạnh, khi vận tốc gió lớn hơn vận tốc gió giới hạn.
- Có thể thiết kế để công trình chịu được lực khí động khi mất ổn định do kích động xoáy. Còn đối với mất ổn định dạng galoping thì phải thay đổi giải pháp thiết kế để công trình không rơi vào trạng thái mất ổn định này.

C.5. Ví dụ 1

Tìm chuyển vị ngang ở đỉnh và lực khí động cho công trình tháp bằng thép dạng hình trụ tròn, cao 90m có sơ đồ tính toán như hình C.5. Đường kính của công trình $D = 5,3m$; số Strouhal $S_H = 0,22$; tần số dao động $f_1 = 0,75$ (Hz); hệ số lực $\mu_L = \text{const} = 0,2$; tỉ lệ cản $\gamma = 0,02$; hệ số $m_1 = 0,14$; vận tốc gió ở độ cao 10m: $v_{10} = 15m/s$.

Vận tốc gió tới hạn:

$$v^* = \frac{5,30 \times 0,75}{0,22} = 18,07 \text{ m/s}$$

Phạm vi tác động của kích động xoáy là :

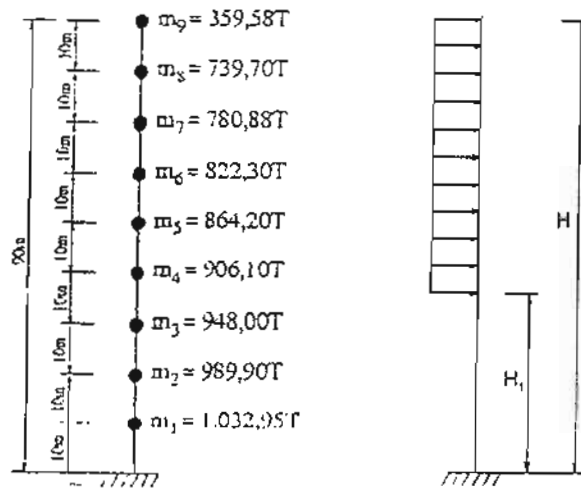
$$H_1 = 10 \times \left(\frac{18,07}{15} \right)^{\frac{1}{0,14}} = 37,81m$$

Ta có $H_1 = 37,81$ mét < $H = 90$ mét, vậy có xảy ra hiện tượng cộng hưởng do kích động xoáy đối với công trình.

$$H_2 = 10 \times \left(\frac{1,3 \times 18,07}{15} \right)^{\frac{1}{0,14}} = 246,32 \text{ m} > H.$$

Lấy $H_2 = H = 90m$

$J = 28,32m^4$
 $E = 2,1.10^8 kN/m^2$



Hình C.5 : Sơ đồ tính toán động lực

Chuyển vị lớn nhất và tải trọng lớn nhất tác dụng lên công trình được xác định theo công thức :

$$X_{ji\max} = \frac{1}{\omega_1^2} \eta_{Lji} \xi_{Li}$$

$$Q_{ji} = M_j \eta_{Lji} \xi_{Li}$$

Trong đó :

$$\xi_{Li} = \frac{1}{2\gamma_i} = \frac{1}{2 \cdot 0,02} = 25$$

ω_1 - là tần số dao động riêng của công trình ứng với dạng dao động thứ i. Để đơn giản, ở đây chỉ xét dạng dao động thứ nhất có $\omega_1 = 2 \pi f_1 = 4,71 \text{ Rad/s}$.

η_{Lji} - hệ số được xác định theo công thức :

$$\eta_{Lji} = \frac{\frac{1}{2} \rho \varphi_{ji} \sum_{k=l_1}^{l_2} V_k^2 D_k \mu_{Lk} \varphi_{ki}}{\sum_{j=1}^n M_j \varphi_{ji}^2}$$

Với :

- $V_k^2 = V_{10}^2 k$ (k là hệ số kể đến sự thay đổi áp lực gió theo độ cao và dạng địa hình ứng với các điểm tập trung khối lượng trong khoảng từ H_1 đến H - Tra bảng 7) ;
- D_k - bề rộng mặt đón gió của công trình, lấy $D_k = D = 5,3m$;
- $\mu_{Lk} = \text{const} = 0,2$;
- φ_{ki} - dịch chuyển ngang tỉ đối theo phương ngang luồng gió của công trình tại điểm k ứng với dạng dao động thứ i ;
- Do $H_1 = 37,81m$; $H_2 = 90m$ nên lấy l_1 tại điểm 4 có độ cao $z_4 = 40m$ và lấy l_2 tại điểm 9 có độ cao $z_9 = 90m$;
- M_j - khối lượng tập trung của công trình đặt tại điểm thứ j ;

Kết quả tính chuyển vị và tải trọng lớn nhất tác dụng lên công trình tại điểm thứ j ứng với dạng dao động đầu tiên được cho trong bảng C.3.

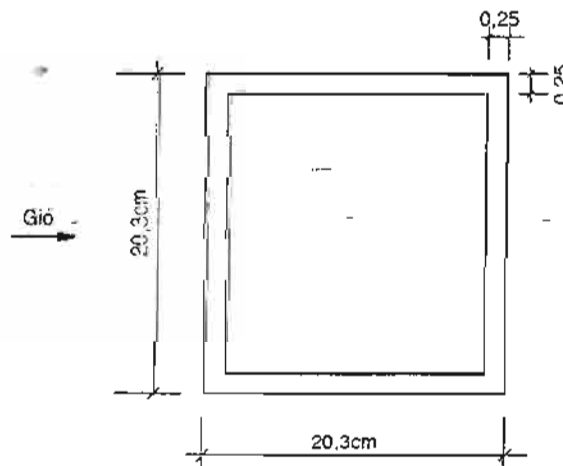
Bảng C.3 : Giá trị $X_{ij\max}$ và Q_{ij} của công trình

Điểm J	Độ cao z(m)	Khối lượng m_j (kg)	φ_{ij}	η_{Li}	$X_{ij\max}$ (m)	Q_{ij} (kN)
1	10	1.032.950	$4,95 \cdot 10^{-4}$	$14,85 \cdot 10^{-7}$	0,0163	0,12783
2	20	989.900	$1,87 \cdot 10^{-3}$	$5,61 \cdot 10^{-6}$	0,0617	1,38833
3	30	948.000	$3,97 \cdot 10^{-3}$	$11,91 \cdot 10^{-6}$	0,1010	2,82267
4	40	906.100	$6,22 \cdot 10^{-3}$	$19,86 \cdot 10^{-6}$	0,2185	4,49879
5	50	864.200	$9,70 \cdot 10^{-3}$	$29,10 \cdot 10^{-6}$	0,3201	6,28706
6	60	822.300	$1,31 \cdot 10^{-2}$	$3,93 \cdot 10^{-5}$	0,4323	8,07909
7	70	780.880	$1,66 \cdot 10^{-2}$	$4,98 \cdot 10^{-5}$	0,5478	9,72196
8	80	739.700	$2,02 \cdot 10^{-2}$	$6,06 \cdot 10^{-5}$	0,6666	11,20646
9	90	359.580	$2,38 \cdot 10^{-2}$	$7,14 \cdot 10^{-5}$	0,7854	6,41850

Vậy chuyển vị lớn nhất ở đỉnh công trình 0,7854m

C.6. Ví dụ 2

Kiểm tra mất ổn định khí động của một dầm thép thành mỏng hình vuông, kích thước mặt cắt như hình C.6. Nhip $L = 12m$, tốc độ gió thiết kế $v = 44,5m/s$; tỉ cản của kết cấu $\gamma = 0,01$.



Hình C.6 : Mặt cắt dầm thép.

Môđun đàn hồi : $E = 2 \cdot 10^4 \text{ kN/cm}^2$

Mômen quán tính chống uốn của tiết diện $J = 1420 \text{ cm}^4$

Diện tích tiết diện $A = 20,5 \text{ cm}^2$

Khối lượng phân bố : $m = 1,678 \times 10^6 \text{ kN.s}^2 \cdot \text{cm}^2$

Mật độ không khí : $\rho = 0,125 \times 10^{-10} \text{ kN.s}^2 \cdot \text{cm}^4$

Tần số dao động f_1

$$f_1 = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}$$

$$f_1 = 4,49\text{Hz}$$

Từ bảng C.2 ta có : $\mu'_{DL}(0) = + 2,7$

Hệ số cản : $C = 2\gamma\omega m$

$$C = 4\pi\gamma f_1 m$$

$$C = 0,9468 \cdot 10^6.$$

Vận tốc gió tới hạn :

$$v^* = \frac{2 \times 0,9468 \times 10^6}{0,125 \times 10^{-10} \times 20,3 \times 2,7} = 2764 \text{ cm/s} = 27,64 \text{ m/s}$$

Vì $v > v^*$ nên dầm bị mất ổn định. Cần phải mở rộng kích thước của dầm.

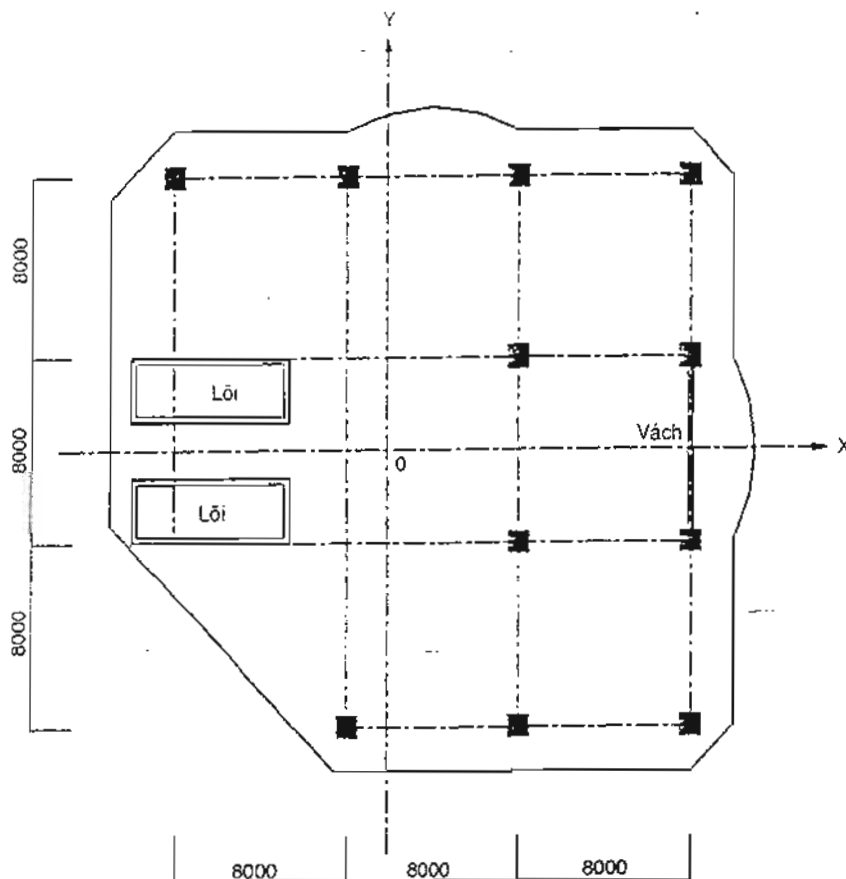
Phụ lục D
(Tham khảo)

Ví dụ tính toán

D.1. Ví dụ 1 :

Xác định thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên nhà cao 21 tầng xây dựng ở Hà Nội. Chiều cao nhà $H = + 77,7\text{m}$; kích thước mặt bằng $D \times L = 24\text{m} \times 24\text{m}$. Thời gian sử dụng 50 năm.

Mặt bằng bố trí kết cấu vách, lõi cứng và các khung của nhà xem hình D.1.



Hình D.1 : Sơ đồ mặt bằng công trình

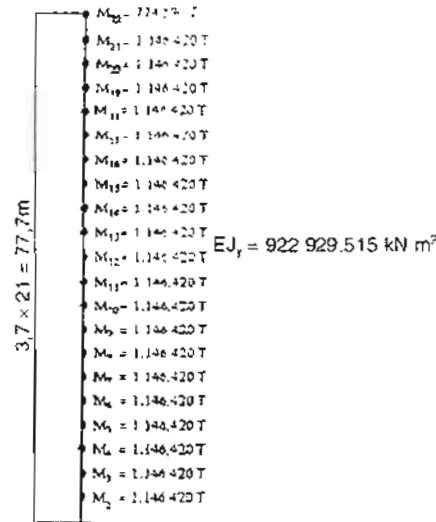
Công trình có chiều cao $H = 77,7\text{m} > 40\text{m}$ nên phải kể đến thành phần động của tải trọng gió.

D.1.1. Sơ đồ tính toán động lực

Độ cứng theo phương bất lợi của nhà $EJ_y = 922529,515 \text{ kN.m}^2$; 21 điểm tập trung khối lượng ứng với các mức sàn. Sơ đồ tính toán động lực của nhà lấy là một công xôn ngàm chặt vào đất, hình D.2.

D.1.2. Xác định các đặc trưng động lực

D1.2.1. Xác định tần số dao động riêng



Hình D.2. : Sơ đồ tính toán động lực

Công trình có tiết diện và độ cứng không đổi theo chiều cao, tần số dao động riêng được xác định theo công thức B.24, phụ lục B

$$f_1 = \frac{\alpha_1^2}{2 \pi H^2} \sqrt{\frac{EJg}{q}} = \frac{\alpha_1^2}{2 \pi H^2} \sqrt{\frac{EJh}{m}}$$

Trong đó :

α_1 - hệ số ứng với dạng dao động riêng của công trình, với 3 dạng đầu tiên, ta có :

$$\alpha_1 = 1,875 ; \alpha_2 = 4,694 ; \alpha_3 = 7,86$$

H - chiều cao của công trình, H = 77,7m :

m - khối lượng của công trình trên một đơn vị dài theo chiều cao công trình (T/m) :

Do đó :

$$f_1 = \frac{1,875^2}{2 \times 3,14 \times 77,7^2} \sqrt{\frac{922529515 \times 3,7}{1146,42}} = 0,16\text{Hz}$$

$$f_2 = \left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right)^2 f_1 = \left(\frac{4,694}{1,875}\right)^2 \times 0,16 = 1,002\text{Hz}$$

$$f_3 = \left(\frac{\alpha_3}{\alpha_1}\right)^2 f_1 = \left(\frac{7,86}{1,875}\right)^2 \times 0,16 = 2,819\text{Hz}$$

Vì $f_2 < f_L < f_3$ (Với f_L là giá trị giới hạn của tần số dao động riêng, theo bảng 2 có $f_L = 1,3$), nên việc xác định thành phần động của tải trọng gió chỉ cần kể đến ảnh hưởng của hai dạng dao động đầu tiên.

D.1.2.2. Xác định các dạng dao động riêng

Biên độ dạng dao động riêng thứ i tại điểm j được xác định theo công thức

$$y_{ji} = \sin \alpha_i \xi_j^* - \text{sh} \alpha_i \xi_j^* - B(\cos \alpha_i \xi_j^* - \text{ch} \alpha_i \xi_j^*)$$

Với 3 dạng đầu tiên, ta có

$$\alpha_1 = 1,875 ; \alpha_2 = 4,694 ; \alpha_3 = 7,86$$

$$B_1 = 1,365 ; B_2 = 0,980 ; B_3 = 1,00$$

$$\xi_j^* = \frac{h_j}{H}$$

Với h_j là khoảng cách từ điểm đặt khối lượng thứ j đến mặt móng của công trình.

Kết quả tính toán các giá trị y_{ji} của hai dạng dao động đầu tiên cho trong bảng D.1.

Bảng D.1. Biên độ của hai dạng dao động đầu tiên

Tầng	Cao độ z (m)	ξ_j^*	y_{j1}	y_{j2}
2	3,7	0,048	0,0108	0,0459
3	7,4	0,095	0,0414	0,1653
4	11,1	0,143	0,0917	0,3410
5	14,8	0,190	0,1583	0,5442
6	18,5	0,238	0,2423	0,7628
7	22,2	0,286	0,3413	0,9725
8	25,9	0,333	0,4512	1,1521
9	29,6	0,381	0,5756	1,2938
10	33,3	0,429	0,7107	1,3808
11	37,0	0,476	0,8521	1,4040
12	40,7	0,524	1,0046	1,3587
13	44,4	0,571	1,1600	1,2447
14	48,1	0,620	1,3257	1,0535
15	51,8	0,667	1,4955	0,8049
16	55,5	0,714	1,6655	0,4993
17	59,2	0,762	1,8418	0,1371
18	62,9	0,810	2,0201	-0,2656
19	66,6	0,857	2,1959	-0,6888
20	70,3	0,905	2,3763	-1,1405
21	74,0	0,952	2,5533	-1,5951
22	77,7	1,000	2,7343	-2,0656

D.1.3. Xác định giá trị tiêu chuẩn thành phần tĩnh của áp lực gió tác dụng lên các phần tính toán của công trình.

Giá trị tiêu chuẩn thành phần tĩnh của áp lực gió W_j ở độ cao z_j so với mốc chuẩn được xác định theo công thức (4.11).

$$W_j = W_0 k(z_j) c$$

Trong đó :

W_0 - giá trị áp lực gió tiêu chuẩn. Công trình xây dựng ở Hà Nội thuộc vùng II-B,
 $W_0 = 95 \text{ daN/m}^2 = 0,95 \text{ kN/m}^2$;

$k(z_j)$ - hệ số tính đến sự thay đổi áp lực gió theo độ cao, lấy theo bảng 7 ;

c - hệ số khí động. Phía đón gió $c_d = 0,8$; phía hút gió $c_h = 0,6$

$$c = 0,8 + 0,6 = 1,4$$

Kết quả tính toán các giá trị W_j cho trong bảng D.2.

Bảng D.2 : Các giá trị W_j ứng với các phần tính toán của công trình

Tầng	Cao độ z(m)	k	W_j (kN/m ²)
1	2	3	4
2	3,7	0,828	1,10124
3	7,4	0,938	1,24754
4	11,1	1,018	1,35394
5	14,8	1,077	1,43241
6	18,5	1,115	1,48295
7	22,2	1,150	1,52950

1	2	3	4
8	25,9	1,183	1,57339
9	29,6	1,216	1,61728
10	33,3	1,240	1,64920
11	37,0	1,262	1,67846
12	40,7	1,284	1,70772
13	44,4	1,306	1,73698
14	48,1	1,329	1,76757
15	51,8	1,347	1,79151
16	55,5	1,362	1,81146
17	59,2	1,377	1,83141
18	62,9	1,390	1,84870
19	66,6	1,403	1,86599
20	70,3	1,416	1,88328
21	74,0	1,429	1,90057
22	77,7	1,442	1,91786

D.1.4. Xác định thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên công trình. —

Giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên phần thứ j (có độ cao z) ứng với dạng dao động riêng thứ i được xác định theo công thức (4.3).

$$W_{p(i)} = M_j \cdot \xi_i \cdot \psi_i \cdot y_{ji}$$

Trong đó :

M_j - khối lượng tập trung của phần công trình thứ j ;

ξ_i - hệ số đồng lực ứng với dạng dao động thứ i ;

y_{ji} - dịch chuyển ngang tỉ đối của trọng tâm phần công trình thứ j ứng với dạng dao động thứ i ;

ψ_i - hệ số được xác định bằng cách chia công trình thành n phần, trong phạm vi mỗi phần tải trọng gió có thể coi như không đổi

a) Xác định hệ số ψ_i

Hệ số ψ_i được xác định bằng công thức (4.5).

$$\psi_i = \frac{\sum_{j=1}^n (y_{ji}^2 W_{Fj})}{\sum_{j=1}^n (y_{ji}^2 M_j)}$$

Với W_{Fj} : giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên phần thứ j của công trình, ứng các dạng dao động khác nhau khi chỉ kể đến ảnh hưởng của xung vận tốc gió, được xác định theo công thức :

$$W_{Fj} = W_j \xi_j \nu D_j h_j$$

Trong đó : W_j - đã xác định trong bảng D.2 ;

D_j, h_j - bề rộng và chiều cao của mặt đón gió ứng với phần thứ j ;

ξ_j - hệ số áp lực động của tải trọng gió ở độ cao z ứng với phần thứ j của công trình, tra bảng 3 ,

ν - hệ số tương quan không gian áp lực động của tải trọng gió được xác định phụ thuộc vào tham số ρ, χ và dạng dao động. Với mặt phẳng tọa độ cơ bản song song với bề mặt tính toán zOx , ta có :

$$\rho = D = 24m ; \chi = H = 77,7m.$$

Từ bảng 4 và bảng 5, ta có : đối với dạng dao động thứ nhất, $\nu_1 = 0,673$; còn đối với dạng dao động thứ hai, ν_2 lấy bằng 1.

Kết quả tính toán W_{Fj} cho trong bảng D.3

Bảng D.3 : Các giá trị W_{Fj}

Tầng	Cao độ z (m)	W_j (kN/m ²)	ξ_j	W_{Fj} (kN)	
				dạng 1	dạng 2
2	3,7	1,10124	0,517	34,02519	50,55749
3	7,4	1,24754	0,504	37,57622	55,83390
4	11,1	1,35394	0,483	39,08180	58,07103
5	14,8	1,43241	0,472	40,40521	60,03746
6	18,5	1,48295	0,461	40,85596	60,70723
7	22,2	1,52950	0,454	41,49859	61,66210
8	25,9	1,57339	0,449	42,21927	62,73295
9	29,6	1,61728	0,444	42,52712	63,76482
10	33,3	1,64920	0,438	43,16934	64,14464
11	37,0	1,67846	0,433	43,43371	64,53796
12	40,7	1,70772	0,428	43,68059	64,90429
13	44,4	1,73698	0,426	44,22140	65,70787
14	48,1	1,76757	0,423	44,68328	66,39417
15	51,8	1,79151	0,420	44,96727	66,81616
16	55,5	1,81146	0,417	45,14325	67,07767
17	59,2	1,83141	0,414	45,31208	67,32849
18	62,9	1,84780	0,412	45,49673	67,63580
19	66,6	1,86599	0,410	45,72158	67,93696
20	70,3	1,88328	0,408	45,92018	68,23199
21	74,0	1,90057	0,406	46,11455	68,52087
22	77,7	1,91786	0,404	46,30483	68,80361

Từ các giá trị của M_j , y_{ji} và W_{Fj} , ta xác định được hệ số ψ_i ứng với 2 dạng dao động đầu tiên :

$$\psi_1 = 0,0229 ; \psi_2 = 0,017$$

b) Xác định hệ số động lực ξ_i

Hệ số động lực ξ_i xác định phụ thuộc vào thông số ε_i và độ giảm loga của dao động δ .

Thông số ε_i xác định theo công thức (4.4).

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{\gamma W_0}}{940 f_i}$$

Trong đó :

γ - là hệ số tin cậy của tải trọng gió lấy bằng 1,2 ;

f_i - tần số dao động riêng thứ i ;

W_0 - lấy bằng 950 N/m².

Ở đây công trình bằng bê tông cốt thép nên có $\delta = 0,3$. Theo đồ thị hình 1, xác định được hệ số động lực ξ_i như trong bảng D.4.

Bảng D.4 : Hệ số động lực ξ_i ứng với 2 dạng dao động riêng đầu tiên.

f_i (Hz)		ε		ξ	
dạng 1	dạng 2	dạng 1	dạng 2	dạng 1	dạng 2
0,16	1,002	0,22	0,036	2,14	1,45

c) Xác định thành phần động của tải trọng gió

Từ giá trị M_p , ξ_p , ψ_1 và y_{ji} , ta xác định được các giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió $W_{p(j)}$.

Giá trị tính toán thành phần động của tải trọng gió được xác định theo công thức (4.10) :

$$W_{p(j)}^{tt} = W_{p(j)} \cdot \gamma \cdot \beta$$

Trong đó :

γ - hệ số độ tin cậy đối với tải trọng gió ; γ lấy bằng 1,2 ;

β - hệ số điều chỉnh tải trọng gió theo thời gian ; β lấy bằng 1,0.

Kết quả các giá trị tiêu chuẩn và các giá trị tính toán thành phần động của tải trọng gió cho trong bảng D.5.

Bảng D.5 : Các giá trị $W_{p(j)}$ và $W_{p(j)}^{tt}$

Tầng	Cao độ z (m)	$W_{p(j)}$ (kN)		$W_{p(j)}^{tt}$ (kN)	
		dạng 1	dạng 2	dạng 1	dạng 2
2	1146,42	0,6068	1,2971	0,7282	1,5565
3	1146,42	2,3259	4,6741	2,7911	5,6089
4	1146,42	5,1462	9,6308	6,1754	11,5569
5	1146,42	8,8762	15,3843	10,6520	18,4612
6	1146,42	13,5959	21,5505	16,3151	25,8606
7	1146,42	19,1523	27,4708	22,9828	32,9650
8	1146,42	25,3210	32,5547	30,3582	39,0656
9	1146,42	32,3043	37,2061	38,7652	44,6474
10	1146,42	39,8945	39,0204	47,8734	96,8245
11	1146,42	47,9172	39,6760	57,5006	47,6112
12	1146,42	56,4792	38,3930	67,7750	46,0716
13	1146,42	65,2435	35,1771	78,2922	42,2125
14	1146,42	74,5191	29,8898	89,4229	35,8678
15	1146,42	84,0643	22,7430	100,8772	27,2917
16	1146,42	93,5927	14,0901	112,3112	16,9081
17	1146,42	103,4975	3,8659	124,197	4,6390
18	1146,42	113,5146	-7,4792	136,2175	-8,9966
19	1146,42	123,3801	-19,4791	148,0561	-23,3749
20	1146,42	133,5152	-32,2353	160,2182	-38,6824
21	1146,42	143,4481	-45,0933	172,1377	-54,1119
22	774,59	103,7928	-39,4396	124,5514	-47,3278

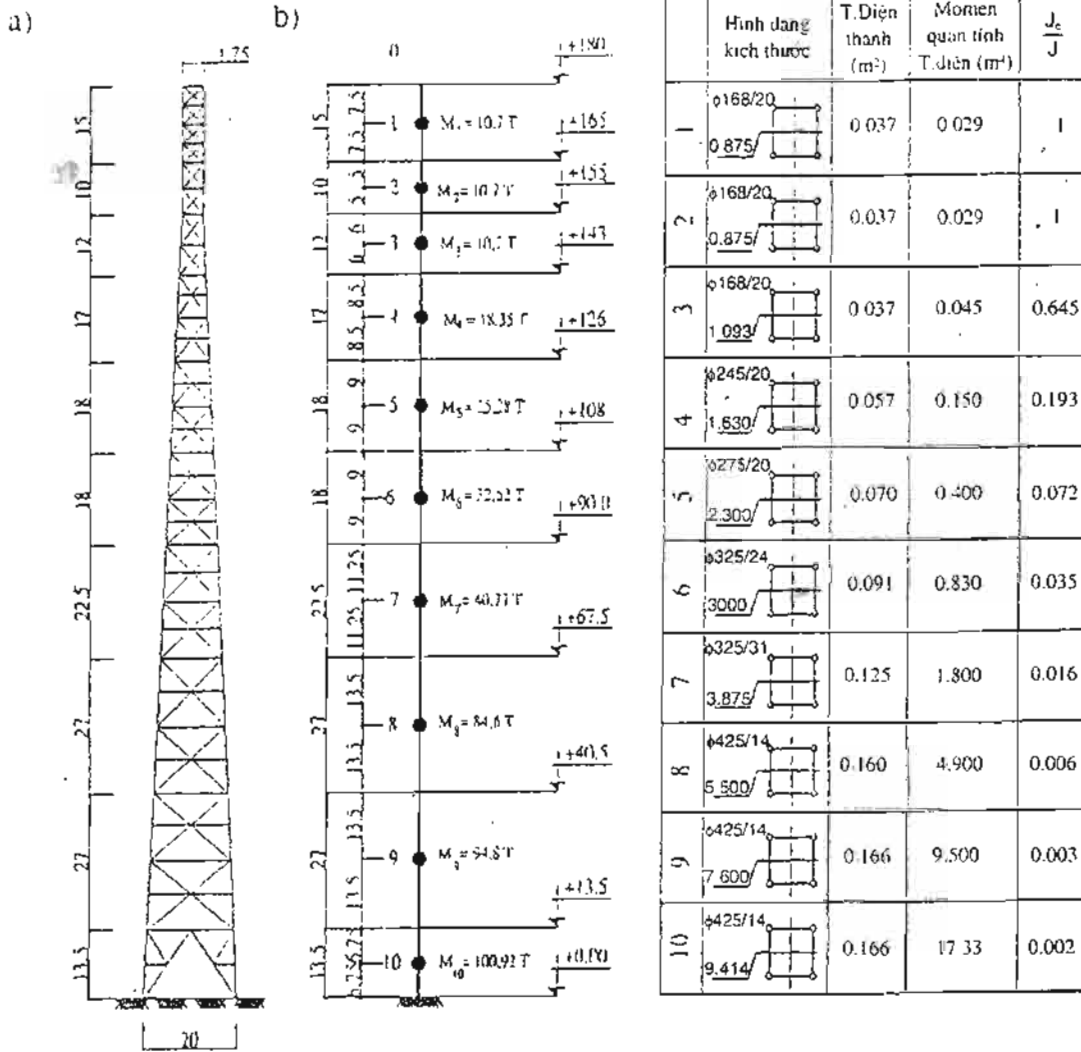
D.2. Ví dụ 2 : Xác định thành phần động của tải trọng gió lên cột diện bằng thép.

Cột được xây dựng ở vùng II, địa hình dạng B, giá trị áp lực gió tiêu chuẩn bằng 95 daN/m^2 . Cột có kết cấu không gian bằng các thép ống có các đường kính khác nhau. Các tiết diện của cột là hình vuông, kích thước hình học của cột cho trong hình D.3a.

Chọn mô hình tính toán cột có dạng là thanh công xôn ngấm vào đất với các khối lượng tập trung như trong hình D.3b.

D.2.1. Xác định tần số và dạng dao động riêng cơ bản của công trình

Tần số dao động riêng cơ bản của công trình được tính bằng công thức (B. 28), phụ lục B.



Hình D.3 : Kích thước hình học và sơ đồ tính toán của cột diện

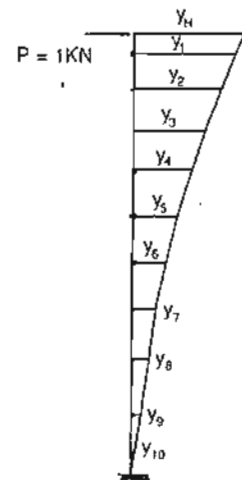
$$r_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{8Y_H}{\sum_{j=1}^n P_j y_j^2}}$$

Trong đó :

P_j - là trọng lượng của đoạn công trình thứ j, tính bằng kN ;

y_H, y_j - là chuyển vị tại đỉnh và trọng tâm đoạn thứ j của công trình, do lực bằng đơn vị (1kN) đặt tại đỉnh công trình gây ra.

Kết quả tính toán y_H, y_j , và P_j, y_j^2 được cho trong bảng D.6.



Hình D.4 : Các chuyển vị y_H và y_j do lực $P = 1$ kN đặt tại đỉnh gây ra

Bảng D.6 : Các giá trị y_j và $P_j \cdot y_j^2$

Số thứ tự	y_j (m)	P_j (kN)	$P_j y_j^2$ (kN.m ²)
y_H	$6,20 \cdot 10^{-2}$		
y_1	$5,10 \cdot 10^{-2}$	104,967	$27,30 \cdot 10^{-2}$
y_2	$3,43 \cdot 10^{-2}$	104,967	$12,35 \cdot 10^{-2}$
y_3	$2,37 \cdot 10^{-2}$	104,967	$5,896 \cdot 10^{-2}$
y_4	$1,51 \cdot 10^{-2}$	180,014	$4,104 \cdot 10^{-2}$
y_5	$0,89 \cdot 10^{-2}$	247,997	$1,964 \cdot 10^{-2}$
y_6	$0,51 \cdot 10^{-2}$	320,002	$8,323 \cdot 10^{-3}$
y_7	$0,26 \cdot 10^{-2}$	399,954	$2,704 \cdot 10^{-3}$
y_8	$0,98 \cdot 10^{-3}$	830,024	$7,792 \cdot 10^{-4}$
y_9	$0,33 \cdot 10^{-3}$	929,988	$1,013 \cdot 10^{-4}$
y_{10}	$0,10 \cdot 10^{-4}$	990,025	$1,198 \cdot 10^{-7}$
		Cộng :	0,529

Vậy tần số dao động riêng thứ nhất của công trình sẽ là :

$$f_1 = \frac{1}{2 \times 3,14} \sqrt{\frac{9,81 \times 6,2 \times 10^{-2}}{0,529}} = 0,17 \text{ Hz} < f_L = 4,1 \text{ Hz}$$

Do đó thành phần động của tải trọng gió phải kể đến ảnh hưởng của cả phần xung vận tốc gió và phần quán tính của công trình. Trong ví dụ này, để đơn giản, ta chỉ tính ảnh hưởng của dạng dao động riêng thứ nhất đến giá trị thành phần động của tải trọng gió.

Dạng dao động riêng cơ bản trong trường hợp này có thể lấy gần đúng theo đường đàn hồi của hệ, do lực $P = 1 \text{ kN}$ đặt ở đỉnh gây ra [6] đã cho trong bảng D.6.

D.2.2. Xác định giá trị tiêu chuẩn thành phần tĩnh của áp lực gió tác dụng lên các phần tính toán của công trình.

Giá trị tiêu chuẩn thành phần tĩnh của áp lực gió được xác định theo công thức (4.11)

$$W_j = W_o k(z_j) c$$

Trong đó :

W_o - lấy bằng $95 \text{ daN/m}^2 = 0,95 \text{ kN/m}^2$;

$k(z_j)$ - hệ số tính đến sự thay đổi áp lực gió theo độ cao ;

c - hệ số cân chỉnh diện đối với công trình có dạng giàn không gian và tháp rỗng, được tính theo công thức :

$$c = c_x (1 + \eta) k_1$$

a) Xác định hệ số cân chỉnh diện c

c_x - hệ số khí động đối với một giàn phẳng độc lập

$$c_x = \frac{1}{A} \sum c_{xi} A_i$$

Trong đó :

c_{xi} - hệ số khí động của cấu kiện thứ i xác định trong bảng 6 trong TCVN 2737 : 1995 ;

A_i - diện tích hình chiếu của cấu kiện thứ i lên mặt phẳng đón gió của giàn ;

A - diện tích giới hạn đường bao ngoài của giàn.

Cụ thể, xét đoạn cột 7, hệ số khí động đối với từng cấu kiện cho trong bảng D.7.

Bảng D.7 : Hệ số khí động c_{xi} đối với từng loại thanh của đoạn cột 7

Số thứ tự	Đường kính (mm)	Chiều dài thanh, (m)	Số thanh	R_e	c_{xi}
1	325	22,50	2	$3,672.10^5$	0,70
2	28	27,60	2	$0,316.10^5$	1,20
3	168	17,78	1	$1,898.10^5$	1,10
4	114	15,28	1	$1,288.10^5$	1,20

$$A_7 = (3,875 \times 2 + 0,325) \times 22,5 = 181,69m^2$$

$$\sum c_{xi} A_{i7} = 2 \times 0,325 \times 22,5 \times 0,70 + 2 \times 0,028 \times 27,6 \times 1,2 + 0,168 \times 17,78 \times 1,10 + 0,114 \times 15,28 \times 1,20 = 17,468m^2$$

Vậy hệ số c_x bằng

$$c_x = \frac{1}{181,69} \times 17,468 = 0,096$$

η - hệ số phụ thuộc vào hệ số choán φ của kết cấu và R_e .

Hệ số choán φ được xác định bằng công thức :

$$\varphi = \frac{\sum A_i}{A}$$

$$\sum A_{i7} = 2 \times 0,325 \times 22,5 + 2 \times 0,028 \times 27,6 + 0,168 \times 17,78 + 0,114 \times 15,28 = 20,9m^2$$

$$\text{Do đó : } \varphi_7 = \frac{20,90}{181,69} = 0,115$$

Đối với đoạn 7, tra bảng ta có $\eta_7 = 0,95$

k_1 - hệ số phụ thuộc vào hướng gió, tra bảng có $k_1 = 1,2 \times 0,9$ (ở đây 0,9 là hệ số đối với tháp tổ hợp từ thép đơn).

Vậy, hệ số cần chỉnh diện sẽ bằng :

$$c_7 = 0,094 \times (1 + 0,95) \times 1,2 \times 0,9 = 0,206$$

b) Xác định hệ số tính đến sự thay đổi áp lực gió theo độ cao $k(z_j)$.

Đối với đoạn 7, tại cao trình $z_7 = +78,75m$, với địa hình dạng B, ta có $k_7 = 1,446$.

Vậy, giá trị tiêu chuẩn thành phần tĩnh của áp lực gió tại đoạn 7 sẽ là :

$$W_7 = 0,95 \times 1,446 \times 0,206 = 0,28298 \text{ kN.m}^2$$

D.2.3. Xác định thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên công trình.

Giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió được xác định theo công thức (4.3). Khi chỉ xét với dạng dao động cơ bản, công thức này có dạng :

$$W_{pj} = M_j \xi \psi y_j$$

Trong đó :

M_j - khối lượng của phần công trình thứ j có trọng tâm ở độ cao z .

ξ - hệ số động lực ứng với dạng dao động cơ bản :

y_j - dịch chuyển ngang tỉ đối của phần công trình thứ j ở độ cao z ứng với dạng dao động cơ bản ;

ψ - hệ số được xác định bằng cách chia công trình thành n phần trong phạm vi mỗi phần tải trọng gió có thể coi như không đổi.

a) Xác định hệ số ψ :

Hệ số ψ được xác định theo công thức (4.5). Khi chỉ xét với dạng dao động cơ bản, công thức này có dạng :

$$\psi = \frac{\sum_{j=1}^n y_j W_{Fj}}{\sum_{j=1}^n y_j^2 M_j}$$

Trong đó :

y_j - gần đúng lấy bằng các giá trị trong cột 2 của bảng D.6 ;

W_{Fj} - giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên phần thứ j của công trình ứng với dạng dao động thứ nhất, khi chỉ kể đến ảnh hưởng của xung vận tốc gió, được xác định theo công thức (4.6).

$$W_{Fj} = W_j \zeta_j \nu S_j$$

Trong đó :

W_j - đã xác định ở phần D.2.2 ; $W_7 = 0.28298 \text{ kN m}^2$;

ζ_j - hệ số áp lực động của tải trọng gió ở phần thứ j của công trình ;

ν - hệ số tương quan không gian, ở đây ν lấy bằng ν_1 tương ứng với dạng dao động cơ bản.

Xét đoạn cột 7, tại đây có khối lượng $M_7 = 40,77\text{t}$, đặt tại cao trình 78,75m. Công trình được xây dựng ở địa hình dạng B, tra bảng có $\zeta_7 = 0.404$.

Hệ số tương quan không gian ν_1 xác định phụ thuộc vào các tham số ρ , χ và dạng dao động. Ta có : $\rho = D$, với D lấy bằng bề rộng đón gió của cột điện tại tiết diện ở 2/3 chiều cao cột :

$$\rho = D = (20 - 1,75) \times \frac{2}{3} + 1,75 + 0,325 = 14,242\text{m}$$

$$\chi = H = 180 \text{ m ;}$$

Từ bảng 4 và 5, ta có $\nu_1 = 0,616$

S_7 - Diện tích đón gió lấy bằng diện tích giới hạn bởi đường bao ngoài của phần cột, $S_7 = A_7$.

Vậy :

$$W_{F7} = 0,28298 \times 0,404 \times 0,616 \times 181,69 = 12,79525 \text{ kN}$$

Tương tự như trên, ta tính được giá trị W_{Fj} ở các phần khác của công trình. Các kết quả cho trong bảng D.8.

Bảng D.8 : Các giá trị W_{Fj} , y_j , M_j

Số thứ tự	$W_{Fj}(\text{kN})$	y_j	$M_j(\text{t})$
1	5,1237	$5,1 \cdot 10^{-2}$	10,70
2	3,34778	$3,43 \cdot 10^{-2}$	10,70
3	3,86710	$2,37 \cdot 10^{-2}$	10,70
4	6,75861	$1,51 \cdot 10^{-2}$	18,35
5	8,64151	$0,89 \cdot 10^{-2}$	25,28
6	10,12816	$0,51 \cdot 10^{-2}$	32,62
7	12,79525	$0,26 \cdot 10^{-2}$	40,77
8	17,94117	$0,98 \cdot 10^{-3}$	84,61
9	14,56051	$0,33 \cdot 10^{-3}$	94,80
10	8,94394	$0,10 \cdot 10^{-4}$	100,92

$$\sum y_j W_{Fj} = 0,7541$$

$$\sum y_j^2 M_j = 0,0538$$

$$\psi_1 = \frac{0,7541}{0,0538} = 14,017$$

b) Xác định hệ số động lực ξ

Hệ số động lực ξ được xác định theo đồ thị hình 1 phụ thuộc vào thông số ε và độ giảm loga của dao động δ

Thông số ε được xác định theo công thức (4.4) :

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\gamma W_0}}{940f}$$

Trong đó :

γ - là hệ số tin cậy của tải trọng gió, lấy $\gamma = 1,2$;

W_0 - giá trị tiêu chuẩn của áp lực gió, lấy $W_0 = 950\text{N/m}^2$;

f - tần số của dạng dao động riêng cơ bản.

Vậy :

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{1,2 \times 950}}{940 \times 0,17} = 0,21$$

Vì công trình có dạng trụ thép nên có độ giảm loga của dao động $\delta = 0,15$

Tra bảng, có hệ số động lực $\xi = 2,8$.

c) Xác định W_{pj} và W_{pj}^u

Từ các giá trị M_j , ξ , ψ và y_{j1} tìm được ở trên, ta xác định được các giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió W_{pj} tác dụng lên các phần của công trình.

Giá trị tính toán thành phần động của tải trọng gió được xác định bằng công thức (4.10) :

$$W_{pj}^u = W_{pj} \gamma \beta$$

Trong đó :

γ - hệ số tin cậy đối với tải trọng gió, $\gamma = 1,2$;

β - hệ số điều chỉnh tải trọng gió theo thời gian sử dụng giả định của công trình. Với công trình có thời gian sử dụng 50 năm, lấy $\beta = 1$.

Kết quả tính toán các giá trị W_{pj} và W_{pj}^u cho trong bảng D.9.

Bảng D.9 : Các giá trị W_{pj} và W_{pj}^u

Phần công trình thứ j	Khối lượng $M_j(t)$	y_{j1}	W_{pj} (kN)	W_{pj}^u (kN)
1	10,70	$5,1 \cdot 10^{-2}$	21,417	25,700
2	10,70	$3,43 \cdot 10^{-2}$	14,404	17,285
3	10,70	$2,37 \cdot 10^{-2}$	9,953	11,944
4	18,35	$1,51 \cdot 10^{-2}$	10,887	13,064
5	25,28	$0,89 \cdot 10^{-2}$	8,830	10,596
6	32,62	$0,51 \cdot 10^{-2}$	6,529	7,835
7	40,77	$0,26 \cdot 10^{-2}$	4,160	4,992
8	84,61	$0,98 \cdot 10^{-3}$	3,254	3,905
9	94,80	$0,33 \cdot 10^{-3}$	1,228	1,473
10	100,92	$0,10 \cdot 10^{-4}$	0,040	0,048

D.3. Ví dụ 3 : Xác định thành phần động của tải trọng gió lên ống khói bê tông cốt thép, xây dựng trong vùng II B. Ống khói cao $H = 180\text{m}$, bằng bê tông mác M250 ($E_b = 2,8 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$), mômen quán tính tiết diện đáy ống khói $J_0 = 1020\text{m}^4$; diện tích tiết diện đáy ống khói $F_0 = 40,1\text{m}^2$; mômen quán tính của tiết diện ở đỉnh ống khói : $j_H = 22,1\text{m}^4$; diện tích đế móng : $F_m = 615\text{m}^2$. Lớp lót của thân ống khói tựa lên các bậc công xôn bằng bê tông cốt thép và xây bằng gạch chịu lửa. Giữa thành bê tông và lớp lót có lớp bông khoáng cách nhiệt.

Trọng lượng thể tích của vật liệu làm thân ống khói và lớp lót là :

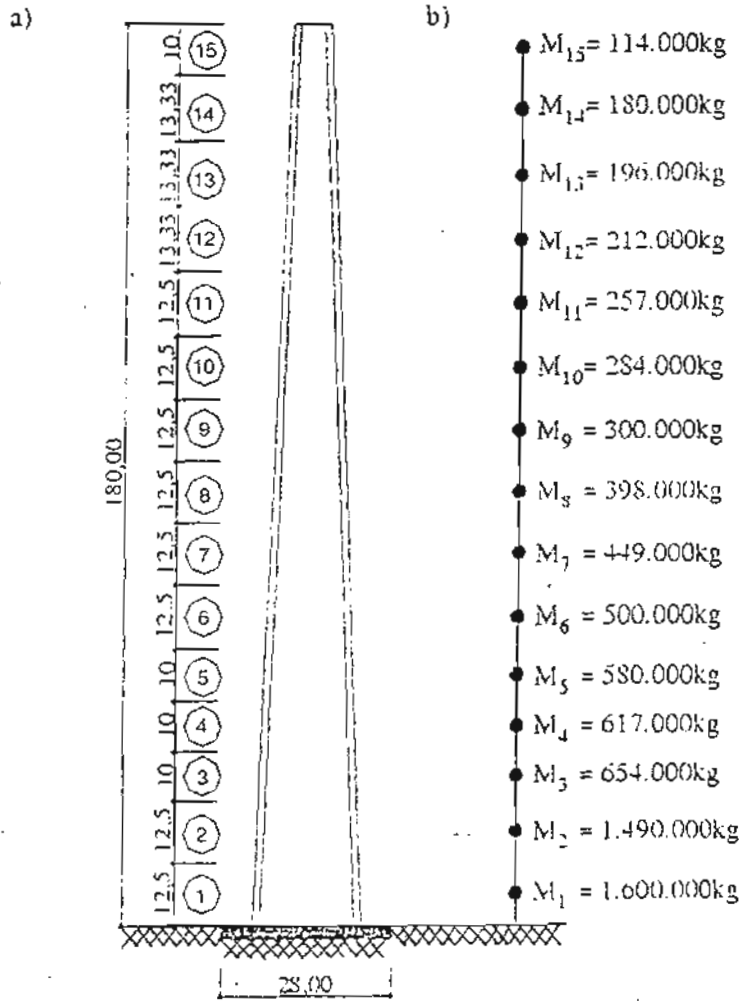
$$q_{th} = 24 \text{ kN/m}^3 ; q_l = 14 \text{ kN/m}^3$$

Diện tích tiết diện ngang của phần thân và phần lớp lót ứng với cao độ trung bình của ống khói là :

$$F_{th} = 5,2 \text{ m}^2 ; F_l = 6,56 \text{ m}^2$$

Phần đỉnh của ống khói cao 10m dùng gạch chịu axit và dặt cốt thép dọc. Móng ống khói là móng bè, đường kính 28m. Hệ số nén $C_z = 60000 \text{ kN/m}^2$. Sơ đồ hình học ống khói cho trong hình D.5a.

Chia ống khói thành 15 phần, khối lượng của mỗi một phần dặt tập trung ở giữa mỗi đoạn. Sơ đồ tính toán động lực cho trong hình D.5b.



Hình D.5 : Sơ đồ hình học và sơ đồ tính toán ống khói

D.3.1. Xác định tần số và dạng dao động riêng của công trình

D.3.1.1. Xác định tần số dao động riêng

Tần số dao động riêng thứ i (f_i) của công trình dạng ống khói, có kể đến ảnh hưởng của biến dạng nén, được xác định theo công thức (B.29), phụ lục B.

$$f_i = \frac{\lambda_i r_o}{2 \pi H^2} \sqrt{\frac{Eg}{q}}$$

Trong đó :

H - chiều cao ống khói tính đến mặt của móng, $H = 180 \text{ m}$;

E - là môđun đàn hồi của vật liệu làm ống khói, $E = 2,8 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$;

r_o - bán kính quán tính của tiết diện đáy ống khối (m), được xác định bằng công thức :

$$r_o = \sqrt{\frac{J_o}{F_o}} = \sqrt{\frac{1202}{40,1}} = 5,475\text{m}$$

q - trọng lượng thể tích của thân ống khối, q được tính bằng công thức (B. 31)

$$q = q_{th} + q_l \frac{F_l}{F_{th}}$$

Vậy : $q = 24 + 14 \times (5,2/6,56) = 35,10 \text{ kN/m}^3$

λ_i - hệ số ứng với dạng dao động thứ i , phụ thuộc vào các tham số :

$$\frac{J_H}{J_o} = 0,022 ; \alpha = \frac{2EJ_o}{C_z F_m H^3} = 0,00026 ; \frac{H}{r_o} = 35,76$$

Theo biểu đồ hình B.2. phụ lục B, ta có hệ số λ ứng với 3 dạng đầu tiên là

$$\lambda_1 = 4,9 \quad \lambda_2 = 18,7 \quad \lambda_3 = 35$$

Vậy, tần số dao động riêng của ống khối theo 3 dạng đầu tiên sẽ là

$$f_1 = \frac{4,9 \times 5,475}{2 \times 3,14 \times 180^2} \sqrt{\frac{2,8 \times 10^7 \times 9,81}{3510}} = 0,369 \text{ Hz.}$$

$$f_2 = 1,4 \text{ Hz}$$

$$f_3 = 2,6 \text{ Hz}$$

Vì $f_3 < f_L$ (Với f_L là giá trị giới hạn của tần số dao động riêng của ống khối có độ giảm loga dao động $\delta = 0,15$; theo bảng 2 có $f_L = 4,1$), trong ví dụ này, để đơn giản, ta chỉ kể đến ảnh hưởng 3 dạng dao động đầu tiên.

D.3.1.2. Xác định các dạng dao động riêng

Biên độ dao động riêng thứ i tại điểm j của ống khối được xác định theo công thức (B.32)

$$y_{ji} = \frac{1}{1 + k \frac{h_j}{H}} \left[\sin \frac{\pi h_j}{2H} + A_i \sin \frac{3\pi h_j}{2H} + B_i \sin \frac{5\pi h_j}{2H} \right]$$

Trong đó :

$$k = 0,75 \left(\frac{J_H}{J_o} - 1 \right) = 0,75 \left(\frac{22,10}{1020} - 1 \right) = -0,73$$

h_j - là chiều cao từ đáy ống khối đến điểm đang xét (m)

A_i, B_i - là hệ số ứng với các dạng dao động ;

Với : $\frac{J_H}{J_o} = 0,022 ; \alpha = \frac{2EJ_o}{C_z F_m H^3} = 0,00026$ và $\frac{H}{r_o} = 35,76$ theo các biểu đồ hình B.3, phụ

lục B, ta có :

$$A_1 = 0,197 \quad A_2 = 5,8 \quad A_3 = 9,5$$

$$B_1 = 0,011 \quad B_2 = -1,5 \quad B_3 = 27$$

Kết quả tính toán các giá trị y_{ji} của 3 dạng dao động đầu tiên cho trong bảng D.9.

Bảng D.10 : Dịch chuyển ngang tỉ đối của 3 dạng dao động đầu tiên

Phần	Chiều cao từng phần,(m)	Cao độ z,(m)	y ₁	y ₂	y ₃
15	10,00	173,00	4,300	-22,20	63,50
14	13,33	163,33	3,610	-16,40	39,60
13	13,33	150,00	2,890	-8,96	4,78
12	13,33	136,67	2,300	-2,53	-23,80
11	12,50	123,75	1,830	3,32	-40,05
10	12,50	111,25	1,450	6,36	-44,45
9	12,50	98,75	1,080	12,08	-32,00
8	12,50	86,35	0,795	9,25	-9,42
7	12,50	73,75	0,594	8,85	-10,90
6	12,50	61,25	0,422	7,40	29,45
5	10,00	50,00	0,304	6,03	39,75
4	10,00	40,00	0,216	4,55	42,60
3	10,00	30,00	0,148	3,32	37,55
2	12,50	18,75	0,083	1,96	26,20
1	12,50	6,25	0,027	0,605	9,25

D.3.2. Xác định giá trị tiêu chuẩn thành phần tĩnh của áp lực gió tác dụng lên các phần tính toán của công trình.

Giá trị tiêu chuẩn thành phần tĩnh của áp lực gió W_j ở độ cao z so với mốc chuẩn được xác định theo công thức (4.11)

$$W_j = W_0 k(z) c$$

Trong đó :

W_0 - là giá trị áp lực gió tiêu chuẩn, $W_0 = 95 \text{ daN/m}^2 = 0,95 \text{ kN/m}^2$;

$k(z)$ - là hệ số tính đến sự thay đổi áp lực gió theo độ cao, lấy theo bảng 7 ;

c - hệ số khí động. Đối với công trình hình trụ tròn ta lấy giá trị trung bình. Theo bảng 6 TCVN 2737 : 1995, lấy c = 0,8.

Kết quả tính toán các giá trị W_j cho trong bảng D.10.

Bảng D.11 : Các giá trị W_j ứng với các phần tính toán của công trình

Phần	Cao độ h _i (m)	k	W _j (kN/m ²)
15	173,00	1,67	1,2692
14	163,33	1,65	1,2540
13	150,00	1,63	1,2388
12	136,67	1,60	1,2160
11	123,75	1,57	1,1932
10	111,25	1,54	1,1704
9	98,75	1,51	1,1476
8	86,35	1,47	1,1172
7	73,75	1,43	1,0868
6	61,25	1,38	1,0488
5	50,00	1,34	1,0184
4	40,00	1,28	0,9728
3	30,00	1,22	0,9272
2	18,75	1,11	0,8436
1	6,25	0,90	0,6840

D.3.3. Xác định thành phần động của tải trọng gió

Giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên phần thứ j (có cao độ z) ứng với dạng dao động riêng thứ i được xác định theo công thức (4.3)

$$W_{p(ji)} = M_j \xi_i \psi_i y_{ji}$$

Trong đó :

M_j - khối lượng tập trung của phần công trình thứ j ;

ξ_i - hệ số động lực ứng với dạng dao động thứ i ;

y_{ji} - dịch chuyển ngang tỉ đối của trọng tâm phần công trình thứ j ứng với dạng dao động thứ i ;

ψ_i - hệ số được xác định bằng cách chia công trình thành n phần, trong phạm vi mỗi phần tải trọng gió có thể coi như không đổi.

a) Xác định hệ số ψ_i

Hệ số ψ_i được xác định bằng công thức (4.5)

$$\psi_i = \frac{\sum_{j=1}^n (y_{ji} W_{Fj})}{\sum_{j=1}^n (y_{ji}^2 M_j)}$$

Với W_{Fj} - giá trị tiêu chuẩn thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên phần thứ j của công trình, ứng với các dạng dao động khác nhau khi chỉ kể đến ảnh hưởng của xung vận tốc gió, được xác định theo công thức :

$$W_{Fj} = W_j \xi_j \nu_i D_j h_j$$

Trong đó :

W_j - đã xác định trong bảng D.10 ;

D_j, h_j - bề rộng và chiều cao của mặt đón gió ứng với phần thứ j ;

ξ_j - hệ số áp lực động của tải trọng gió ở độ cao z ứng với phần thứ j của công trình, tra bảng 3 ;

ν - hệ số tương quan không gian áp lực động của tải trọng gió được xác định phụ thuộc vào tham số ρ, χ và dạng dao động, ta có : $\rho = D$; (D là đường kính trung bình của ống khói bằng 9m)

$$\rho = 9m ; \chi = H = 180m.$$

Từ bảng 4 và 5, ta có : đối với dạng dao động thứ nhất, $\nu_1 = 0,63$; Còn đối với dạng dao động thứ hai và thứ ba, ν_2 và ν_3 lấy = 1.

Kết quả tính toán W_{Fj} cho trong bảng D.11.

Bảng D.12 : Các giá trị W_{Fj}

Phần	Cao độ z(m)	h_j (m)	d_j (m)	ξ_j	W_j (kN/m ²)	W_{Fj} (kN)	
						dạng 1	dạng 2 và 3
1	2	3	4	5	6	7	8
15	175,00	10,00	5.80	0,376	1,2692	17,4356	27,6787
14	163,33	13,33	6.10	0,378	1,2540	24,2823	38,5433
13	150,00	13,33	6.50	0,381	1,2388	25,7638	40,8950
12	136,67	13,33	6.90	0,385	1,2160	27,1278	43,0600
11	123,75	12,50	7.30	0,388	1,1932	26,6145	42,2453
10	111,25	12,50	7.80	0,392	1,1704	28,1816	44,7327
9	98,75	12,50	8.30	0,396	1,1476	29,7040	47,1492

1	2	3	4	5	6	7	8
8	86,35	12,50	8,80	0,400	1,1172	30,9688	49,1568
7	73,75	12,50	9,57	0,407	1,0868	33,3355	52,9134
6	61,25	12,50	10,30	0,413	1,0488	35,1342	55,7686
5	50,00	10,00	11,00	0,422	1,0184	29,7827	47,2741
4	40,00	10,00	11,70	0,429	0,9728	30,7615	48,8278
3	30,00	10,00	12,40	0,443	0,9272	32,0878	50,9330
2	18,75	12,50	13,10	0,460	0,8436	40,0328	63,5442
1	6,25	12,50	14,10	0,514	0,6840	39,0381	61,9653

Từ các giá trị của M_i , y_{ji} và W_{Fj} , ta xác định được hệ số ψ_i ứng với 3 dạng dao động đầu tiên

$$\psi_1 = 0,0052 ; \quad \psi_2 = 0,00045 ; \quad \psi_3 = 0,00011$$

b) Xác định hệ số động lực ξ_i

Hệ số động lực ξ_i xác định phụ thuộc vào thông số ε_i và độ giảm loga của dao động δ

Thông số ε_i xác định theo công thức (4.4).

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{\gamma W_0}}{940 f_i}$$

Trong đó :

γ - là hệ số tin cậy của tải trọng gió lấy bằng 1,2 ;

f_i - tần số dao động riêng thứ i ;

W_0 - lấy bằng 950N/m².

Ở đây, công trình có $\delta = 0,15$. Theo đó thì hình 1, ta xác định được hệ số động lực ξ_i

$$\xi_1 = 2,4 \quad \xi_2 = 1,75 \quad \xi_3 = 1,56$$

c) Xác định thành phần động của tải trọng gió.

Từ các giá trị M_j , ξ_j , ψ_j và y_{ji} ta xác định được giá trị tiêu chuẩn thành phần động $W_{p(ji)}$.

Giá trị tính toán thành phần động của tải trọng gió được xác định theo công thức (4.10) :

$$W_{p(ji)}^u = W_{p(ji)} \gamma \beta$$

Trong đó :

γ - hệ số độ tin cậy đối với tải trọng gió ; γ lấy bằng 1,2 ;

β - hệ số điều chỉnh tải trọng gió theo thời gian ; β lấy bằng 1,0.

Kết quả các giá trị tiêu chuẩn và các giá trị tính toán thành phần động của tải trọng gió cho trong bảng D.12.

Bảng D.13 : Các giá trị $W_{p(ji)}$ và $W_{p(ji)}^u$

Phần	Cao độ z(m)	$W_{p(ji)}$ (kN)			$W_{p(ji)}^u$ (kN)		
		dạng 1	dạng 2	dạng 3	dạng 1	dạng 2	dạng 3
1	2	3	4	5	6	7	8
15	175,00	61,1770	-19,9301	12,4221	73,4124	-23,9161	14,9066
14	163,33	81,0951	-23,2470	12,2317	97,3141	-27,8964	14,6780
13	150,00	70,6917	-13,8298	1,6077	84,8300	-16,5957	1,9292
12	136,67	60,8515	-4,2238	-8,6583	73,0230	- 5,0686	-10,3899

1	2	3	4	5	6	7	8
11	123,75	58,6947	6,7193	-17,6625	70,4336	8,0631	-21,1950
10	111,25	51,3926	14,2241	-21,6624	61,6712	17,0690	--25,9949
9	98,75	40,4352	28,5390	-16,4736	48,5222	34,2468	-19,7683
8	86,35	39,4880	28,9918	-6,4336	47,3856	34,7902	-7,7203
7	73,75	33,2849	31,2925	8,3983	39,9419	37,5510	10,0779
6	61,25	26,3328	29,1375	25,2681	31,5994	34,9650	30,3217
5	50,00	22,0047	27,5420	39,5624	26,4057	33,0504	47,4749
4	40,00	16,6324	22,1079	45,1037	19,9588	26,5295	54,1244
3	30,00	12,0796	17,0988	42,1410	14,4956	20,5186	50,5692
2	18,75	15,4340	22,9982	66,9892	18,5208	27,5978	80,3871
1	6,25	5,3914	7,6230	25,3968	6,4696	9,1476	30,4762

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế. TCVN 2737 : 1995
Nhà xuất bản Xây dựng Hà Nội.
2. Trương Tương Đình - Tính toán tải trọng gió và số tay tính toán chống gió.
Nhà xuất bản Đại học Đồng tế. Thượng Hải 1990, (bản Trung văn).
3. Báo cáo tổng kết đề tài 26B.03.01. "Nghiên cứu phương pháp tính toán công trình có kế đến tải trọng động đất và gió bão". Viện KHKT Xây dựng - 1998.
4. Báo cáo tổng kết đề tài 02.15.14 - RO1. "Một số biện pháp phòng chống bão trong xây dựng".
Viện KHKT Xây dựng - 1992.
5. Э Симиу, Р Скалан - Воздействие ветра на здания и сооружения. Москва Стройиздат
1984, 358 с.
6. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. Москва Стройиздат,
1978, 216 с.
7. G.A. Dobrodzicki, Flow Visualization in the National Aeronautical Establishment's Water
tunnel. Aeronautical Report No.LR - 557. National Research Council of Canada.
Ottawa, 1972.
8. G.e. Mattingly, An experimental Study of the Three - Dimensionality of the Flow Around
a Circular Cylinder, Report No. BN295, Institute for Fluid Dynamics and Applied
Mathematics, University of Maryland, College Park, Md. , June 1972.
9. C. Farrell, O.Güven and F.Maisch, "Mean Wind loading on Rough - Walled Cooling Towers",
J.Eng. Mech. Div., ASCE, 102, No.EM 6, Proc. paper 12647 (1976) 1059 - 1081
10. Ray W.Clough, Joseph Penzien. Dynamics of Structures.
11. C.S. Durst, "Wind speeds over short periods of time". Meteor. May., 89 (1960) 181 - 186.

MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
Lời nói đầu	3
1. Phạm vi áp dụng	5
2. Nguyên tắc cơ bản	5
3. Trình tự các bước tính toán xác định thành phần động của tải trọng gió	6
4. Xác định thành phần động của tải trọng gió theo TCVN 2737 : 1995	7
Phụ lục A. Thiết lập các công thức tính toán thành phần động của tải trọng gió	15
A.1. Phản ứng của công trình và thành phần động của tải trọng gió	15
A.2. Hệ số độ cao k	17
A.3. Hệ số áp lực động của tải trọng gió ξ	19
A.4. Hệ số tương quan không gian v	20
A.5. Hệ số động lực ξ	21
Phụ lục B. Xác định các đặc trưng động lực	22
B.1. Xác định tần số và dạng dao động của hệ kết cấu dạng thanh công xôn có hữu hạn khối lượng tập trung	22
B.2. Công trình có sơ đồ tính toán là thanh công xôn có khối lượng phân bố đều	25
B.3. Một số công thức thực nghiệm	27
Phụ lục C. Kiểm tra mất ổn định khí động cho công trình cao và kết cấu mềm	29
C.1. Đặt vấn đề	29
C.2. Mất ổn định do kích động xoáy đối với kết cấu và công trình dạng trụ tròn	29
C.3. Mất ổn định khí động dạng galoping đối với kết cấu và công trình dạng lăng trụ	34
C.4. Kết luận	37
C.5. Ví dụ 1	37
C.6. Ví dụ 2	39
Phụ lục D. Ví dụ tính toán	41
D.1. Ví dụ 141	41
D.2. Ví dụ 2	46
D.3. Ví dụ 3	51
Tài liệu tham khảo	58

TCXD 229 : 1999
**CHỈ DẪN TÍNH TOÁN THÀNH PHẦN ĐỘNG
CỦA TẢI TRỌNG GIÓ THEO TCVN 2737 : 1995**

Chịu trách nhiệm xuất bản :
KS. BÙI HỮU HẠNH

Biên tập : LƯƠNG XUÂN HỘI
Sửa bản in : HOÀNG GIANG, XUÂN HỘI
Chế bản : PHÒNG VI TÍNH NHÀ XBXD
Trình bày bìa : H.S. NGUYỄN HỮU TÙNG

In 1000 cuốn, khổ 21 × 31 cm. In tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng kí kế hoạch xuất bản số 802/CXB-QLXB ngày 30/8/1999. In xong và nộp lưu chiểu tháng 9-1999