

PHƯƠNG PHÁP KIỂM TRA GIA TỐC ĐỈNH NHÀ CAO TẦNG DO GIÓ GÂY RA

METHOD FOR CHECKING PEAK ACCELERATION OF HIGH-RISE BUILDINGS INDUCED BY WIND

TS. NGUYỄN NGỌC BÁ

Công ty TNHH TW-ASIA CONSULTANTS

Tóm tắt: Tiêu chuẩn Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép TCVN 5574:2018 có yêu cầu đối với kết cấu nhà cao tầng cần tính toán gia tốc dao động của các sàn tầng trên cùng, và giá trị của gia tốc dao động không được vượt quá các giá trị cho phép được quy định trong các tiêu chuẩn tương ứng. Tuy nhiên hiện tại trong hệ thống TCVN chưa có tiêu chuẩn nào hướng dẫn cách xác định gia tốc dao động của nhà cao tầng cũng như các giá trị gia tốc dao động cho phép. Bài báo này đề cập tới phương pháp tính gia tốc dao động công trình nhà theo các tiêu chuẩn Eurocode, với các giới hạn gia tốc dao động công trình theo tiêu chuẩn ISO 10137:2007 và đề xuất áp dụng phương pháp này trong việc kiểm tra gia tốc đỉnh của nhà cao tầng trong công tác thiết kế kết cấu tại Việt Nam.

Abstract: The standard for design of concrete and reinforced concrete structures TCVN 5574:2018 requires calculation of accelerations of upper floors in high-rise building structures and such accelerations shall not exceed limits given in relevant standards. However there is no standard in TCVN system gives guidance on how to compute the acceleration in highrise buildings as well as the limits of accelerations. This paper presents the method of calculation of building acceleration according to Eurocodes with the limits of building acceleration given in ISO 10137:2007 standard, and proposes to use this method in checking accelerations of high-rise buildings in Vietnam.

1. Mở đầu

Trước đây việc tính toán kiểm tra trạng thái giới hạn sử dụng của các công trình ở Việt Nam chỉ cần đáp ứng các yêu cầu về giới hạn chuyển vị, giới hạn bề rộng vết nứt và kiểm tra rung đối với công trình đặt thiết bị gây rung động, chưa có yêu cầu kiểm tra trạng thái giới hạn sử dụng liên quan tới phản ứng của người bên trong công trình đối với dao động ngang của công trình. Đối với nhà cao tầng, đặc biệt

công trình có tỷ lệ chiều cao: bề rộng công trình lớn thì việc đảm bảo giới hạn về chuyển vị tổng thể và chuyển vị lệch tầng chưa đảm bảo cho cư dân sinh sống hay làm việc ở trong công trình sẽ không gặp vấn đề do dao động của công trình gây ra, đặc biệt là ở những tầng trên cùng của công trình. Gần đây tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép (BTCT) TCVN 5574:2018 [1] có quy định đối với nhà cao tầng cần phải xác định dao động của các sàn tầng trên cùng, giá trị của chuyển vị và gia tốc dao động không được vượt quá các giá trị cho phép được quy định trong các tiêu chuẩn tương ứng. Tuy nhiên tiêu chuẩn này không nêu cách xác định dao động của các sàn tầng trên cùng như thế nào và cần đáp ứng tiêu chí giá trị cho phép của gia tốc dao động ở tiêu chuẩn nào. Trong hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam hiện nay có tiêu chuẩn TCVN 8629:2010 (ISO 6897:1984) [2] có đề cập tới ngưỡng cho phép của gia tốc dao động của công trình dạng r.m.s (viết tắt của root mean square – căn bậc hai của giá trị trung bình bình phương), được xác định đối với các chuyển động lắc ngang trong thời gian 10 phút liên tiếp ứng với chu kỳ lặp của gió là 5 năm, tuy nhiên tiêu chuẩn này cũng không nêu cách tính toán kiểm tra dao động của công trình như thế nào để đảm bảo không vượt quá ngưỡng cho phép đó.

Dựa trên các nghiên cứu về mô phỏng dao động và kế thừa từ ISO 6897-1984, Viện Kiến trúc Nhật Bản (AIJ) đã đưa ra hướng dẫn đánh giá tác động của dao động công trình đối với người sử dụng năm 1991 và cập nhật năm 2004 [3], trong đó đưa ra các đường giới hạn dựa trên giá trị gia tốc đỉnh (peak acceleration) thay vì sử dụng giá trị gia tốc r.m.s do tác động của gió với chu kỳ lặp 1 năm gây ra. Tiêu chuẩn mới thay thế ISO 6897:1984 là ISO 10137:2007 [4] cũng đã thay đổi theo hướng của AIJ, sử dụng tiêu chí gia tốc đỉnh thay vì gia tốc r.m.s, tính với tác động của gió dựa trên chu kỳ lặp

1 năm gây ra và có 2 đường giới hạn gia tốc đỉnh riêng cho 2 mục đích sử dụng là nơi ở và văn phòng.

Theo tiêu chuẩn EN 1990 [5], mục A1.4.4, dao động của công trình phải đáp ứng được yêu cầu sao cho người sử dụng công trình được thoải mái, chi tiết cần theo hướng dẫn trong các tiêu chuẩn EN 1991-1-1, EN 1991-1-4 và ISO 10137. Như vậy việc kiểm tra dao động của công trình cao tầng dưới tác động của tải trọng gió theo trạng thái giới hạn sử dụng cần áp dụng tiêu chuẩn EN 1991-1-4 và ISO 10137. Việc kiểm tra dao động của sàn nhà theo phương thẳng đứng nằm ngoài phạm vi của bài báo này. Tiêu chuẩn EN 1991-1-4 [6] có 2 phương pháp xác định gia tốc đỉnh công trình nêu ở Phụ lục B và Phụ lục C, phụ lục quốc gia của mỗi nước áp dụng có thể quyết định sử dụng phương pháp nào, khuyến cáo của tiêu chuẩn là áp dụng phương pháp nêu ở phụ lục B. Do Việt Nam chưa có phụ lục áp dụng EN 1991-1-4 nên bài báo này sẽ trình bày phương pháp tính giá trị gia tốc đỉnh công trình theo phương pháp nêu ở Phụ lục B.

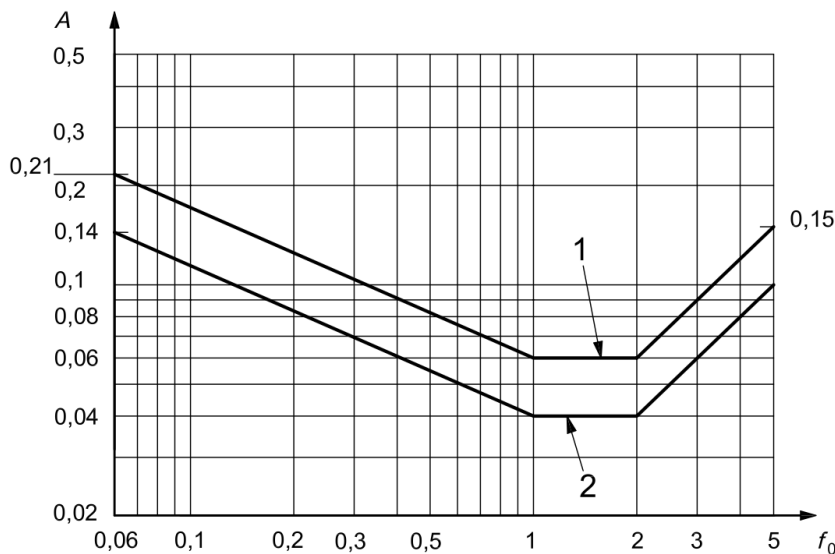
2. Tiêu chí chấp thuận về gia tốc dao động của công trình dưới tác động của tải trọng gió

Thông thường đối với nhà cao tầng, sàn càng cao càng có gia tốc dao động lớn, do đó việc kiểm tra gia tốc dao động thường được thực hiện đối với sàn sử dụng cao nhất. Tuy nhiên theo tiêu chuẩn ISO 10137:2007 tiêu chí chấp thuận đối với sàn

được sử dụng làm văn phòng và sàn có chức năng để ở là khác nhau, trong đó giá trị giới hạn gia tốc dao động đối với sàn để ở chỉ bằng 2/3 giá trị giới hạn gia tốc dao động đối với sàn sử dụng làm văn phòng. Như vậy đối với tòa nhà có chức năng khác nhau có thể phải kiểm tra cả hai mức sàn cao nhất của mỗi khu chức năng, ví dụ bố trí văn phòng ở tầng cao có thể đạt yêu cầu về hạn chế gia tốc dao động nhưng tầng thấp hơn bố trí căn hộ để ở có thể vẫn không thỏa mãn yêu cầu này.

Đối với dao động do gió tác động lên công trình, giá trị giới hạn gia tốc đỉnh cho văn phòng và nhà ở được biểu thị dưới dạng biểu đồ tương quan giữa gia tốc giới hạn và tần số dao động ở hình 1 dưới đây, được trích dẫn từ hình D.1 của tiêu chuẩn ISO 10137:2007, trong đó đường 1 là giá trị giới hạn áp dụng cho văn phòng và đường 2 là giá trị giới hạn áp dụng cho nhà ở. Tác động của gió lên công trình được tính với chu kỳ lặp 1 năm và hệ số cản của kết cấu được lấy bằng 0,01 đối với kết cấu thép, bằng 0,02 đối với kết cấu BTCT.

Hình 1 cho thấy yêu cầu đối với những công trình có tần số dao động từ 1 Hz đến 2 Hz (chu kỳ dao động từ 0,5s đến 1s) là khắt khe nhất. Như vậy không chỉ các công trình rất cao mới cần kiểm soát dao động mà những công trình có chiều cao thông thường, ví dụ thấp hơn 20 tầng, vẫn có nguy cơ không thỏa mãn trạng thái giới hạn sử dụng này.



Hình 1. Các đường giới hạn về dao động do gió gây ra cho kết cấu nhà theo phương ngang (X, Y) áp dụng đối với chu kỳ lặp 1 năm [theo ISO 10137:2007, phụ lục D]

- Ký hiệu:
 A - gia tốc đỉnh, m/s².
 f₀ - chu kỳ dao động tự nhiên đầu tiên của công trình theo phương tính toán, Hz
- 1 - Đường giới hạn cho văn phòng
 - 2 - Đường giới hạn cho nhà ở

3. Tính toán gia tốc dao động tại mức sàn cần xét

Để tính toán gia tốc dao động do gió gây ra và kiểm tra theo tiêu chí nêu ở mục 2 cần xác định vận tốc gió theo EN 1991-1-4, nghĩa là giá trị vận tốc gió lấy trung bình trong 10 phút ở độ cao 10m và địa hình dạng II, chu kỳ lặp 1 năm. Hiện tại quy chuẩn QCVN 02:2009 [7] có cung cấp giá trị vận tốc gió cơ bản theo EN 1991-1-4 với chu kỳ lặp 50 năm (V_{b0}), cần chuyển đổi về vận tốc gió cơ bản với chu kỳ lặp 1 năm (V_{b1}) theo công thức:

$$V_{b1} = V_{b0} \cdot C_{prob} \quad (1)$$

hệ số chuyển đổi C_{prob} được tính theo phương trình (4.2) của EN 1991-1-4 như sau:

$$C_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0.98))} \right)^n \quad (2)$$

trong đó:

K - hệ số phụ thuộc vào hệ số biến động giá trị cực đại của gió ($K=0,2$);

n - hệ số mũ ($n = 0,5$);

p - xác suất vượt quá hàng năm.

Mối tương quan giữa chu kỳ lặp và xác suất vượt quá hàng năm được liên hệ với nhau theo công thức [8]: $T_R = -1/\ln(1-p)$ và $p = 1 - \exp(-1/T_R)$. Do đó đối với chu kỳ lặp $T_R = 1$ năm thì $p = 0,63$ và hệ số chuyển đổi $C_{prob} = 0,75$.

Theo phương pháp nêu ở phụ lục B của EN 1991-1-4, giá trị gia tốc đỉnh đặc trưng của công trình được xác định bằng cách nhân độ lệch chuẩn $\sigma_{a,x}(z)$ tại cao độ đang xét với hệ số đỉnh k_p được xác định với tần số dao động tự nhiên của dao động theo phương đang xét:

$$a_{peak} = \sigma_{a,x}(z) \cdot k_p \quad (3)$$

Độ lệch chuẩn $\sigma_{a,x}(z)$ và hệ số đỉnh k_p được xác định lần lượt theo các công thức (B.10) và (B.4) của tiêu chuẩn như sau:

$$\sigma_{a,x}(z) = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot I_v(z_s) \cdot v_m^2(z_s)}{m_{1,x}} \cdot R \cdot K_x \cdot \Phi_{1,x}(z) \quad (4)$$

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} \geq 3 \quad (5)$$

trong đó:

c_f - hệ số lực;

ρ - trọng lượng không khí, có thể lấy bằng $1,25 \text{ kg/m}^3$;

b - bề rộng kết cấu;

$I_v(z_s)$ - cường độ rối tại độ cao $z = z_s$ so với mặt đất;

$v_m(z_s)$ - vận tốc gió trung bình ở độ cao $z = z_s$;

z_s - độ cao tham chiếu;

R - căn bậc hai của phần ứng cộng hưởng;

K_x - hệ số không thứ nguyên;

$m_{1,x}$ - khối lượng tương đương cơ bản theo hướng gió (T/m). Đối với kết cấu dạng công xôn như nhà cao tầng thì có thể lấy bằng giá trị trung bình khối lượng của 1/3 phía trên tính cho một đơn vị chiều cao;

$\Phi_{1,x}(z)$ - dạng dao động cơ bản;

ν - tần số vượt ngưỡng (up-crossing frequency);

T - thời gian để tính vận tốc gió trung bình trong Eurocode, $T = 600$ giây.

Đối với kết cấu có mặt cắt ngang dạng chữ nhật thì hệ số lực c_f được xác định theo công thức (7.9) của tiêu chuẩn như sau:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \quad (6)$$

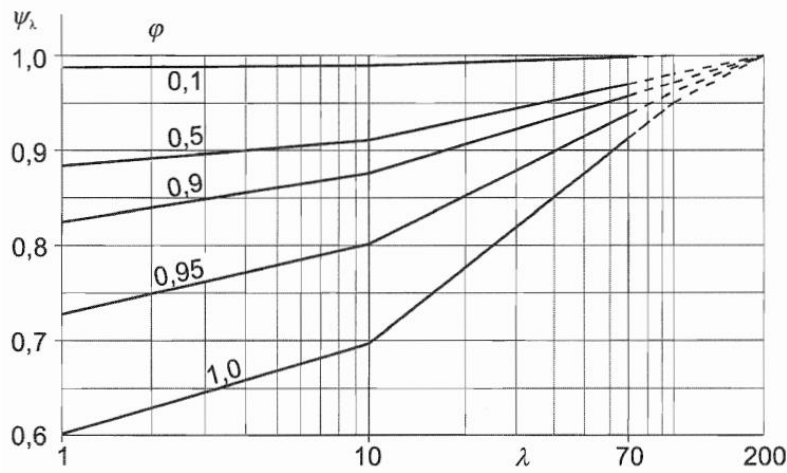
trong đó:

$c_{f,0}$ - hệ số lực của mặt cắt ngang hình chữ nhật có góc vuông thành sắc cạnh;

ψ_r - hệ số giảm đối với công trình có các góc được uốn cong, phụ thuộc vào tỷ số giữa bán kính góc uốn và bề rộng của mặt cắt (r/b). Tiêu chuẩn khuyến cáo có thể lấy hệ số này bằng 0,5 đối với tỷ số $r/b > 0,2$ và bằng 1,0 khi $r/b = 0$, nội suy tuyến tính trong khoảng giá trị của r/b từ 0,2 đến 0;

ψ_λ - hệ số tác động cuối, xét đến sự giảm sức kháng của kết cấu do luồng gió ở phía sau công trình theo hướng tác động, phụ thuộc vào độ mảnh hiệu dụng λ và tỷ số đặc φ (tỷ số giữa diện tích chắn gió và diện tích bao của kết cấu, đối với kết cấu nhà không có khoảng rỗng ở giữa thì có thể lấy $\varphi = 1,0$).

Việc xác định độ mảnh hiệu dụng λ nêu trong khuyến cáo của EN 1991-1-4 (bảng 7.16) không rõ ràng và dễ gây nhầm lẫn, do đó phụ lục quốc gia UK [9] đã đưa ra cách xác định đơn giản hơn, nêu trong bảng NA.10 của phụ lục đó. Đối với nhà có mặt bằng hình chữ nhật thì $\lambda = 4h/(b \cdot c_{f,0})$.



Hình 2. Quan hệ giữa hệ số tác động cuối ψ_λ và các thông số φ và λ

Vận tốc gió trung bình $v_m(z_s)$ tại độ cao $z = z_s$ được xác định theo công thức (4.3) của EN 1991-1-4 như sau:

$$V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_{b1} \quad (7)$$

trong đó:

$V_m(z)$ - vận tốc gió trung bình tại độ cao z ;

$c_r(z)$ - hệ số nhám;

$c_0(z)$ - hệ số đồi núi.

Hệ số đồi núi $c_0(z)$ xét tới trường hợp công trình đặt trên đồi, núi tạo ra hiệu ứng làm tăng vận tốc gió lên công trình. Có thể lấy hệ số này bằng 1,0 nếu độ

đốc trung bình của địa hình trong phạm vi 10 lần chiều cao công trình không quá 3^0 , trường hợp độ dốc cao hơn cần tính hệ số này theo phụ lục A của EN 1991-1-4 hoặc theo phụ lục quốc gia thích hợp.

Hệ số nhám $c_r(z)$ được tính như sau:

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{khi } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (8)$$

$$c_c(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{khi } z \leq z_{\min} \quad (9)$$

trong đó: z_0 - chiều dài nhám và z_{\min} - chiều cao tối thiểu, phụ thuộc dạng địa hình và được cho trong bảng 4.1 của EN 1991-1-4 và được trích dẫn lại ở bảng 1 như sau:

Bảng 1. Các giá trị chiều dài nhám z_0 và chiều cao tối thiểu z_{\min}

Mô tả dạng địa hình	z_0 (m)	z_{\min} (m)
0 Biển hoặc bờ biển thoáng	0,003	1
I Hồ hoặc địa hình bằng phẳng, cây cỏ không đáng kể và không có vật cản	0,01	1
II Địa hình bằng phẳng có cây thấp dạng cỏ và vật cản rời rạc (cây, nhà) với khoảng cách giữa chúng tối thiểu bằng 20 lần chiều cao vật cản	0,05	2
III Địa hình có nhiều cây cỏ hoặc các vật cản cách nhau tối đa 20 lần chiều cao vật cản (khu làng xóm, ngoại ô, rừng)	0,3	5
IV Địa hình có ít nhất 15% bề mặt là nhà và chiều cao trung bình lớn hơn 15m	1,0	10

hệ số k_r trong công thức (8) là hệ số địa hình, tính theo công thức:

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{0,05}\right)^{0,07} \quad (10)$$

Cường độ rối $I_v(z_s)$ trong công thức (4) được xác định như sau:

$$I_v(z_s) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{khi } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (11)$$

$$I_v(z_s) = I_v(z_{\min}) \quad \text{khi } z < z_{\min} \quad (12)$$

trong đó: k_I - hệ số rối, giá trị khuyến cáo bằng 1,0.

Hệ số R trong công thức (4) được tính từ công thức:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} \cdot S_L(z_s, n_1) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b) \quad (13)$$

trong đó: δ - tổng độ giảm lôga:

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d \quad (14)$$

δ_s - độ giảm lôga do cản kết cấu, có giá trị bằng 0,1 đối với kết cấu nhà BTCT và 0,05 đối với kết cấu nhà thép. Với các loại kết cấu và công trình khác xem bảng F.2 của tiêu chuẩn EN 1991-1-4;

δ_d - độ giảm lôga của các thiết bị giảm chấn kết cấu đặc biệt;

δ_a - độ giảm lôga do lực cản khí động đối với dạng dao động cơ bản, đối với nhà cao tầng có thể tính theo công thức đơn giản hóa:

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e} \quad (15)$$

đại lượng m_e tương tự như $m_{1,x}$ trong công thức (4).

n_1 - tần số dao động cơ bản của kết cấu theo hướng gió.

Hàm S_L trong công thức (13) là hàm mật độ phổ mũ không thứ nguyên, được tính như sau:

$$S_L(z, n) = \frac{6,8 \cdot f_L(z, n)}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z, n))^{5/3}} \quad (16)$$

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h}) \quad R_h = 1 \text{ khi } \eta_h = 0$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b}) \quad R_h = 1 \text{ khi } \eta_b = 0$$

trong đó:

$$\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x}) \quad (22)$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x}) \quad (23)$$

Trong công thức (4) $\Phi_{1,x}(z)$ là dạng dao động cơ bản, có giá trị nhỏ hơn hoặc bằng 1,0 và được xác định theo công thức:

$$\Phi_1(z) = \left(\frac{z}{h}\right)^\zeta \quad (24)$$

hệ số mũ của dạng dao động ζ đối với kết cấu khung mảnh có tường bao che không tham gia chịu lực được lấy bằng 0,6; đối với nhà có lõi ở giữa kết hợp với các cột xung quanh hoặc các cột lớn và giằng chịu cắt lấy bằng 1,0; đối với nhà cao và mảnh có lõi BTCT trung tâm chịu lực thì lấy bằng 1,5.

Đối với địa hình bằng phẳng có $c_o(z) = 1$, hệ số không thứ nguyên K_x trong công thức (4) được xác định theo công thức:

$$K_x = \frac{(2 \cdot \zeta + 1) \left\{ (\zeta + 1) \left[\ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right) + 0,5 \right] - 1 \right\}}{(\zeta + 1)^2 \cdot \ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right)} \quad (25)$$

với ζ là số mũ đã nêu ở trên. Trường hợp địa hình phức tạp cần sử dụng hàm tích phân theo công thức (B.11) phụ lục B của EN 1991-1-4.

Tần số vượt ngưỡng ν trong công thức (5) được tính theo công thức:

$$\nu = n_1 \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \quad (26)$$

$$f_L(z, n) = \frac{n \cdot L(z)}{v_m(z)} \quad (17)$$

Đại lượng $L(z)$ là khoảng chiều dài rối được tính theo công thức:

$$L(z) = L_t \cdot \left(\frac{z}{z_t}\right)^\alpha \geq L(z_{min}) \quad (18)$$

$$\text{với } \alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0) \quad (19)$$

các giá trị z_0, z_{min} cho ở bảng 1, chiều cao tham chiếu $z_t = 200\text{m}$, khoảng chiều dài tham chiếu $L_t = 300\text{m}$.

Các hàm số $R_h(\eta_h)$ và $R_b(\eta_b)$ là hàm tiếp nhận khí động học được tính như sau:

$$(20)$$

$$(21)$$

các hệ số n_1 và R^2 đã định nghĩa ở trên. Hệ số nền B^2 được tính theo công thức:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)^{0,63}} \quad (27)$$

trong đó: b, h là bề rộng và chiều cao kết cấu, $L(z_s)$ được xác định từ công thức (18) tại chiều cao $z = z_s$.

Tóm lại việc kiểm tra trạng thái giới hạn sử dụng theo gia tốc dao động do gió gây ra trên công trình bao gồm việc xác định giá trị gia tốc giới hạn từ tần số dao động của công trình theo hướng đang xét theo đồ thị ở hình 1 và tính gia tốc đỉnh của công trình tại cao độ sàn cần kiểm tra theo công thức (3), với các tham số tính toán được thể hiện trong các công thức từ (4) tới (27) cho các công trình thông thường. Đối với các công trình phức tạp hoặc xây dựng ở khu vực đồi núi cao cần tham khảo thêm tiêu chuẩn EN 1991-1-4 cho các trường hợp đặc biệt đó.

4. Ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Kiểm tra gia tốc dao động do gió gây ra đối với công trình chung cư 20 tầng, chiều cao tầng 1 là 4,5m, chiều cao tầng điển hình là 3,3m, chiều cao tường mái là 3m, tổng chiều cao công trình $H = 67,5\text{m}$, kích thước mặt bằng là $B \times L = 12\text{m} \times 32\text{m}$ không có góc cấu tạo tròn, kết cấu chịu lực có lõi thang máy BTCT và các cột chịu lực BTCT. Tường ngăn sử dụng gạch bê tông cốt liệu, tổng trọng lượng 1 tầng là 597,12 tấn, hoạt tải tính trung bình 1

KẾT CẤU - CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

sàn là 57,6 tấn. Công trình được xây dựng tại Hà Nội, khu vực xung quanh có nhiều nhà thấp tầng nhưng chiều cao trung bình không quá 15m (địa hình III theo EN 1991-1-4). Tầng cần kiểm tra là tầng 20 có cao độ sàn $z = 63,9\text{m}$.

Tra QCVN 02:2009 được giá trị vận tốc gió cơ bản lấy trung bình 10 phút, chu kỳ lặp 50 năm là $V_{b0} = 30,12\text{ m/s}$, quy đổi về chu kỳ lặp 1 năm theo công thức 1 ta có $V_{b1} = 0,75 \cdot 30,12 = 22,59\text{ m/s}$. Kết quả tính Etabs cho chu kỳ dao động cơ bản lớn nhất ở mode 1 theo phương X (vuông góc với cạnh có $B =$

42m) là 1,62 s tương ứng với tần số dao động là 0,617 Hz. Tra bảng ở hình 1 với $f_0 = 0,617\text{ Hz}$ thì giá trị giới hạn gia tốc đỉnh cho phép đối với nhà ở ở là $A = 0,050\text{ m/s}^2$. Để xác định khối lượng tương đương cơ bản theo hướng gió ($m_{1,x}$), do các tầng ở 1/3 chiều cao phía trên là tầng điển hình nên chỉ cần tính tổng khối lượng của 1 tầng, bao gồm khối lượng của toàn bộ tính tải và giá trị dài hạn của hoạt tải (theo Eurocode đối với nhà ở bằng 0,3 x hoạt tải) rồi chia cho chiều cao tầng, cụ thể trong trường hợp này bằng $(597,12 + 0,3 \cdot 57,6) / 3,3 = 186,2\text{ T/m}$.

Kết quả tính toán chi tiết được thể hiện trong bảng dưới đây:

I. Số liệu đầu vào			
Hướng gió song song trục:	X	Chức năng SD (phần đỉnh):	Đề ở
Chiều cao nhà (từ mặt nền):	$h = 67.50\text{ m}$	Loại kết cấu chịu lực:	BTCT
Chiều cao sàn kiểm tra:	$z = 63.90\text{ m}$	Chiều rộng mặt đón gió:	$b = 32.00\text{ m}$
Chiều dài theo hướng gió:	$d = 12.00\text{ m}$	Khối lượng/m cao:	$m_e = 186.20\text{ T/m}$
Vận tốc gió cơ bản:	$V_{b,0} = 30.12\text{ (m/s)}$	Trọng lượng không khí:	$\rho = 1.25\text{ kg/m}^3$
Hệ số đồi núi:	$c_o(z) = 1.0$	Dạng địa hình:	III
Tần số DDCB của công trình:	$n_1 = 0.617\text{ (Hz)}$	Hệ số rói:	$k_1 = 1.0$
Bán kính góc lượn tròn:	$r = 0\text{ m}$	Hệ số mũ:	$\zeta = 1.0$
II. Các thông số tính toán			
Vận tốc gió với CK lặp 1 năm:	$V_{b1} = 22.59\text{ (m/s)}$	Tỷ số:	$d/b = 0.38$
Vận tốc gió trung bình:	$v_m(z_s) = 23.87\text{ (m/s)}$	Hệ số mũ:	$\alpha = 0.61$
Độ mảnh hiệu dụng:	$\lambda = 3.83$	Các hệ số lực:	$c_{f,0} = 2.201$
Hệ số End-effect:	$\psi_\lambda = 0.66$		$c_f = 1.442$
Hệ số nhám:	$z_0 = 0.3\text{ (m)}$	Hệ số địa hình:	$k_r = 0.215$
Chiều cao tối thiểu:	$z_{min} = 5\text{ (m)}$	Cường độ rói:	$I_v(z_s) = 0.204$
Chiều cao tham chiếu:	$z_s = 40.5\text{ (m)}$		$\eta_h = 8.03$
Hệ số giảm do có góc lượn tròn:		$\psi_r = 1.00$	$\eta_b = 3.81$
Độ giảm lôga do cản kết cấu:		$\delta_s = 0.10$	
Độ giảm lôga do cản khí động học:		$\delta_a = 0.006$	
Tổng độ giảm lôga:		$\delta = 0.106$	
Hệ số nhám:		$c_r(z_s) = 1.06$	
Khoảng chiều dài rói:		$L(z_s) = 113.29\text{ (m)}$	
Tần số không thứ nguyên:		$f_L(z_s, n) = 2.93$	
Hàm mật độ phổ mũ:		$S_L(z_s, n) = 0.07$	
Hàm tiếp nhận khí động:		$R_n = 0.12$	
Hàm tiếp nhận khí động:		$R_b = 0.23$	
Hệ số phản ứng cộng hưởng:		$R^2 = 0.081$	
Hệ số nền:		$B^2 = 0.55$	
Tần số vượt ngưỡng:		$v = 0.222$	

KẾT CẤU - CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

Hệ số đỉnh:	$k_p = 3.320$
Hệ số không kích thước:	$K_x = 1.50$
Dạng dao động cơ bản:	$\Phi_1(z) = 0.947$
Độ lệch chuẩn của gia tốc:	$\sigma_{ax} = 0.015$
Gia tốc đỉnh tại vị trí kiểm tra:	$a_{peak} = 0.048 \text{ (m/s}^2\text{)}$
Gia tốc cho phép:	$a_{allow} = 0.050 \text{ (m/s}^2\text{)}$
Kết quả kiểm tra:	Đạt yêu cầu

Ví dụ 2: Cũng với chung cư như trên nhưng khi triển khai chủ đầu tư thay các tường ngăn bên trong bằng gạch nhẹ AAC dẫn đến trọng lượng mỗi sàn giảm bớt 76,8 tấn còn lại 520,32 tấn. Trường hợp này khối lượng tương đương cơ bản theo hướng gió ($m_{1,x}$) sẽ giảm còn $(520,32 + 0,3 \cdot 57,6) / 3,3 =$

162,90 T/m. Thông thường khi giảm khối lượng tham gia dao động thì tần số dao động tăng, tuy nhiên với tải trọng giảm thì kết cấu cũng được thiết kế nhỏ hơn nên lại làm giảm tần số dao động, giả thiết trong trường hợp này tần số dao động không thay đổi.

Kết quả tính toán kiểm tra lại như sau:

I. Số liệu đầu vào

Hướng gió song song trục:	X	Chức năng SD (phần đỉnh):	Đề ở
Chiều cao nhà (từ mặt nền):	$h = 67.50 \text{ m}$	Loại kết cấu chịu lực:	BTCT
Chiều cao sàn kiểm tra:	$z = 63.90 \text{ m}$	Chiều rộng mặt đón gió:	$b = 32.00 \text{ m}$
Chiều dài theo hướng gió:	$d = 12.00 \text{ m}$	Khối lượng/m cao:	$m_e = 162.90 \text{ T/m}$
Vận tốc gió cơ bản:	$V_{b,0} = 30.12 \text{ (m/s)}$	Trọng lượng không khí:	$\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$
Hệ số đồi núi:	$c_o(z) = 1.0$	Dạng địa hình:	III
Tần số DDCB của công trình:	$n_1 = 0.617 \text{ (Hz)}$	Hệ số rỗng:	$k_1 = 1.0$
Bán kính góc lượn tròn:	$r = 0 \text{ m}$	Hệ số mũ:	$\zeta = 1.0$

II. Các thông số tính toán

Vận tốc gió với CK lặp 1 năm:	$V_{b1} = 22.59 \text{ (m/s)}$	Tỷ số:	$d/b = 0.38$
Vận tốc gió trung bình:	$v_m(z_s) = 23.87 \text{ (m/s)}$	Hệ số mũ:	$\alpha = 0.61$
Độ mảnh hiệu dụng:	$\lambda = 3.83$	Các hệ số lực:	$c_{f,0} = 2.201$
Hệ số End-effect:	$\Psi_\lambda = 0.66$		$c_f = 1.442$
Hệ số nhám:	$z_0 = 0.3 \text{ (m)}$	Hệ số địa hình:	$k_r = 0.215$
Chiều cao tối thiểu:	$z_{min} = 5 \text{ (m)}$	Cường độ rỗng:	$l_v(z_s) = 0.204$
Chiều cao tham chiếu:	$z_s = 40.5 \text{ (m)}$		$\eta_h = 8.03$
Hệ số giảm do có góc lượn tròn:		$\Psi_r = 1.00$	$\eta_b = 3.81$
Độ giảm lôga do cản kết cấu:		$\delta_s = 0.10$	
Độ giảm lôga do cản khí động học:		$\delta_a = 0.007$	
Tổng độ giảm lôga:		$\delta = 0.107$	
Hệ số nhám:		$c_r(z_s) = 1.06$	
Khoảng chiều dài rỗng:		$L(z_s) = 113.29 \text{ (m)}$	
Tần số không thứ nguyên:		$f_L(z_s, n) = 2.93$	
Hàm mật độ phổ mũ:		$S_L(z_s, n) = 0.07$	
Hàm tiếp nhận khí động:		$R_h = 0.12$	
Hàm tiếp nhận khí động:		$R_b = 0.23$	
Hệ số phản ứng cộng hưởng:		$R^2 = 0.081$	

Hệ số nền:	$B^2 = 0.55$
Tần số vượt ngưỡng:	$v = 0.221$
Hệ số đỉnh:	$k_p = 3.319$
Hệ số không kích thước:	$K_x = 1.50$
Dạng dao động cơ bản:	$\Phi_1(z) = 0.947$
Độ lệch chuẩn của gia tốc:	$\sigma_{ax} = 0.017$
Gia tốc đỉnh tại vị trí kiểm tra:	$a_{peak} = \mathbf{0.055} \quad (m/s^2)$
Gia tốc cho phép:	$a_{allow} = \mathbf{0.050} \quad (m/s^2)$
Kết quả kiểm tra:	Không đạt yêu cầu!

Ví dụ trên cho thấy ảnh hưởng của khối lượng trên công trình tới gia tốc dao động của công trình, khối lượng m_e ảnh hưởng trực tiếp đến độ lệch chuẩn của gia tốc σ_{ax} trong công thức (4) và độ giảm loga do cản khí động học δ_a ở công thức (15), từ đó ảnh hưởng tới gia tốc đỉnh a_{peak} của công trình tại điểm cần xét. Khi m_e giảm thì a_{peak} sẽ tăng.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày các tiêu chí về gia tốc dao động ngang cho phép đối với công trình nhà khi chịu tác động của tải trọng gió theo trạng thái giới hạn sử dụng được quy định trong ISO 10137-2007 và phương pháp tính gia tốc dao động của công trình để kiểm tra theo các tiêu chí đó. Theo ISO 10137-2007 thì giới hạn gia tốc dao động của công trình là thấp nhất đối với công trình có tần số dao động từ 1 Hz đến 2 Hz, vì vậy không chỉ các công trình rất cao mà các công trình cao tầng thông thường vẫn cần kiểm soát dao động để tránh tác động xấu do dao động của công trình gây ra cho người sử dụng. Hiện tại hệ thống tiêu chuẩn của Việt Nam chưa có hướng dẫn cụ thể về các tiêu chí cũng như cách tính đối với trạng thái giới hạn sử dụng này nên kiến nghị áp dụng các tiêu chí và cách tính nêu ở đây cho các công trình nhà cao tầng tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCVN 5574:2018 (2018), Thiết kế Kết cấu Bê tông và Bê tông cốt thép, Bộ KHCN.
2. TCVN 8629:2010 (ISO 6897:1984) (2010), Rung động và chấn động – Hướng dẫn đánh giá phản ứng của cư dân trong các công trình cố định đặc biệt những công

trình nhà cao tầng và công trình biển chịu chuyển động lắc ngang tần số thấp (từ 0,063 Hz đến 1 Hz), Bộ KHCN, 18 tr.

3. Melissa Burton, K.C.S. Kwork, Admad Abdelrazaq (2015), Wind-induced Motion of Tall Buildings: Designing for Occupant Comfort, *International Journal of High-rise Buildings, March, Vol 4, No 1,1-8.*
4. ISO 10137-2007 (2007), Bases for design of structures – Serviceability of buildings and walkways against vibrations, *ISO, 44p.*
5. DIN EN 1990:2021-10 (2021), Eurocode: Basis of structural design, *English version EN 1990:2002+A1:2005+A1:2005/AC:2010, 121 p.*
6. DIN EN 1991-1-4:2010, Eurocode 1: Actions on structures –Part 1-4: General actions – Wind actions (includes Amendment A1:2010 + Corrigendum AC:2010), *English translation of DIN EN 1991-1-4:2010-12, 151 p.*
7. QCVN 02:2009/BXD, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia – Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng, Bộ Xây dựng.
8. VTT-CR-03593-16 (2016), Evaluation of wind-induced vibrations of modular buildings, *VTT Technical Research Centre of Finland, 30p.*
9. NA to BS EN 1991-1-4:2005+A1:2010, UK National Annex to Eurocode 1 – Actions on structures, Part 1-4: General actions – Wind actions.

Ngày nhận bài: 28/11/2021.

Ngày nhận bài sửa: 27/12/2021.

Ngày chấp nhận đăng: 30/12/2021.