

Hệ số gió giật và tính toán tải trọng gió lên tấm bảng quảng cáo theo một số tiêu chuẩn

Gust loading factor and wind load on billboard structures to design standard

Ngày nhận bài: 03/11/2020
Ngày sửa bài: 23/11/2020
Ngày chấp nhận đăng: 04/12/2020

NGUYỄN LÊ THỦY, NGUYỄN HỒNG SƠN,
VÕ THANH LƯƠNG

TÓM TẮT:

Bài báo trình bày về phản ứng động công hưởng của kết cấu chịu tải trọng gió và cách xác định hệ số giật theo phương pháp phổ, cũng như việc tính toán tải trọng gió theo tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN 2737:1995), tiêu chuẩn châu Âu EN 1991-1-4:2005+AC:2010 và tiêu chuẩn Mỹ (ASCE/SEI 7-16). Thực hiện ví dụ số tính toán hệ số giật theo ba tiêu chuẩn, cũng như lực gió tác động lên bề mặt tấm bảng và nội lực chân cột (mô men và lực cắt), khảo sát ảnh hưởng của chiều cao cột và dạng địa hình đến hệ số giật.

Từ khóa: Hệ số tải trọng giật, tải trọng gió, bảng quảng cáo.

ABSTRACT:

The paper presents the resonant dynamic response of the structure under the wind load and how to determine the gust loading factor by spectral approach, as well as the calculation of wind load according to TCVN 2737:1995, EN 1991-1-4 and ASCE/SEI 7-16. Numerical example to find gust response factor according to three standards, as well as the wind force acting on the surface of the billboards and the internal force of the column base (moment and shear force), surveying the influence of column height and terrain categories to gust loading factor.

Keywords: Gust loading factor, wind loading, billboards.

Nguyễn Lê Thủy, Nguyễn Hồng Sơn,
Bộ môn Kết cấu Thép Gỗ, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
Võ Thanh Lương
Học viện Kỹ thuật Quân Sự

1. Đặt vấn đề

Việc tính toán tải trọng gió lên kết cấu nhà và công trình nói chung, kết cấu bảng quảng cáo nói riêng, các kỹ sư trong nước sử dụng tiêu chuẩn TCVN 2737:1995 (kèm TCXDVN 229:1999) [1, 2], tiêu chuẩn này được ban hành trên cơ sở soát xét TCVN 2737:1990, dựa trên tiêu chuẩn Liên xô (cũ) SNiP 2.01.07-85*, được ban hành từ những năm 80. Gần đây, Nga cũng đã ban hành tiêu phiên bản SP 20.13330.2016 [25] trên cơ sở cập nhật các nghiên cứu mới và soát xét theo hướng hội nhập quốc tế. Trước đó, tác giả Popov H.A (2000) người Nga đã xây dựng Chỉ dẫn tính toán động lực học công trình dưới tác động của thành phần xung của tải trọng gió [23], và đã giới thiệu cách xác định tải trọng giật (gust load) để tính toán tải trọng gió [15]. Pichugin S.F (2011) người Ucraina cũng đã giới thiệu phương pháp tính học tương đương để tính toán động lực học công trình dạng tháp [26, 27], theo đó đã thiết lập được công thức xác định hệ số giật (gust factor) dưới dạng giải tích để tính toán công trình dạng tháp. Cũng phải nói rằng, tác giả đầu tiên để cập đến hệ số giật đó là Liepmann H.W (1952) [12], kết quả nghiên cứu dành cho kết cấu ngành hàng không, sau đó là các công trình nghiên cứu của Davenport (1967) [8] cho các kết cấu công trình xây dựng, và tiếp theo là các nghiên cứu của J. Vellozzi, E. Cohen [20], B.J. Vickery [22], E. Simiu [14], A. Kareem vào những năm 70, của G. Solari vào những năm 80, và gần đây là các nghiên cứu của Y. Zhou và A. Kareem [19], C. Dyrbye, S.O. Hansen [9], Y. Tamura và H. Kawai, M. Kasperski, J.D. Holmes [11] cũng như các đóng góp không nhỏ của các nhà khoa học Ý là G. Piccardo và G. Solari về phương pháp giả tĩnh để tính toán công trình cao, mềm chịu tác động của tải trọng gió. Ngày nay, phương pháp giả tĩnh để tính toán động lực công trình đã nhận được sự phát triển toàn diện, chúng là cơ sở của các tiêu chuẩn quốc gia, trong số đó có các tiêu chuẩn ISO 4354:2009 (tiêu chuẩn Quốc tế), ASCE 7-16 (tiêu chuẩn Mỹ), EN 1991-1-4:2004 (tiêu chuẩn châu Âu), AIJ RLB 2004 (tiêu chuẩn Nhật Bản), AS/NZS 1170.2:2002 (tiêu chuẩn Úc và New Zealand), CSA S37-2001 (R2006) (tiêu chuẩn Canada), NBCI:2005 (tiêu chuẩn Ấn Độ) v.v... Thấy rằng, trong kỹ thuật về gió, sử dụng thuật ngữ chung là hệ số phản ứng giật (gust response factor), Davenport (1967) sử dụng thuật ngữ hệ số tải trọng giật (gust loading factor) [8] hoặc Vickery (1966) sử dụng thuật ngữ hệ số giật (gust factor) [21], còn tiêu chuẩn châu Âu sử dụng thuật ngữ hệ số kết cấu (structural factor) [6], tiêu chuẩn Mỹ sử dụng thuật ngữ hệ số hiệu ứng giật (gust-effect factor) [5], các tên gọi này nói chung có cùng một nghĩa, mặc dù các hệ số này được áp dụng đối với tải trọng gió hoặc phản ứng của kết cấu.

Cũng thấy rằng, việc tính toán tải trọng gió lên kết cấu xây dựng nói chung, kết cấu tấm bảng quảng cáo nói riêng theo các tiêu

chuẩn thiết kế sẽ là khác nhau, sự khác nhau thể hiện thông qua tham số về gió (profile vận tốc gió) hoặc rối của gió (cường độ rối, tỷ lệ chiều dài rối, mật độ rối), cũng như hệ số khí động (hệ số lực). Đối với Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737:1995, sử dụng giá trị áp lực gió ứng với vận tốc gió ở độ cao 10 m, vận tốc trung bình trong khoảng thời gian 3 giây, bị vượt trung bình một lần trong 20 năm. Trong khi đó, tiêu chuẩn Mỹ ASCE 7-16 sử dụng thời gian trung bình cho vận tốc gió là 3600 giây với chu kỳ lặp là 50 năm, còn tiêu chuẩn châu Âu EN 1991-1-4 sử dụng thời gian trung bình cho vận tốc gió là 600 giây với chu kỳ lặp là 50 năm. Nên khi tính toán tải trọng gió lên tấm bằng quảng cáo theo tiêu chuẩn các nước, cần phải thực hiện quy đổi vận tốc gió với thời gian trung bình cho vận tốc gió và chu kỳ lặp, phù hợp với quy định trong tiêu chuẩn thiết kế tương ứng.

Sau đây, nội dung bài báo sẽ trình bày về Phản ứng động lực của kết cấu khi chịu tác động của gió, tính toán tải trọng gió theo tiêu chuẩn Việt Nam, châu Âu và Mỹ, thực hiện ví dụ số nhằm làm sáng tỏ vấn đề nghiên cứu.

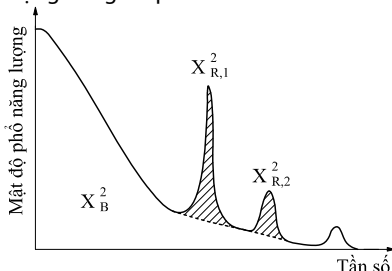
2. Phản ứng động lực của kết cấu khi chịu tải trọng gió

2.1. Giới thiệu chung [11]

Gió là một hiện tượng trong tự nhiên, được hình thành do sự chuyển động của không khí có độ rối cao, tác động lên kết cấu và các bộ phận kết cấu. Từ đó gây ra phản ứng động lực cho kết cấu, bao gồm phản ứng nền và phản ứng cộng hưởng [11].

(i) Phản ứng cộng hưởng, thường xảy ra đối với kết cấu và bộ phận kết cấu có tần số dao động riêng $n < 1$ Hz (tương ứng, $T > 1$ giây). Phản ứng cộng hưởng là một hiệu ứng phức tạp theo thời gian, không chỉ phụ thuộc vào vận tốc hoặc áp lực gió giật tức thời, tác động dọc theo luồng gió mà còn phụ thuộc vào vận tốc hoặc áp lực gió giật xảy ra trước đó. Phản ứng cộng hưởng khác với phản ứng nền của kết cấu khi chịu tải trọng gió. Hình 1 thể hiện mật độ phổ phản ứng của kết cấu dưới tác động của tải trọng gió, phần diện tích phía dưới đường cong thể hiện phương sai của phản ứng. Các phản ứng cộng hưởng của hai dạng dao động đầu tiên được thể hiện trong phần gạch chéo của hình này.

(ii) Phản ứng nền, thường xảy ra với tần số dao động riêng thấp nhất, là phần lớn nhất trong Hình 1 và thường là phần nổi trội trong trường hợp tác động dọc luồng gió. Phản ứng cộng hưởng cũng quan trọng, thậm chí chiếm ưu thế khi kết cấu cao hơn và ứng với các tần số dao động riêng thấp hơn.



Hình 1. Mật độ phổ phản ứng của kết cấu với các tần số dao động riêng cơ bản [11]

Hình 2(a) thể hiện các đặc tính lịch sử theo thời gian của lực gió dọc; phản ứng của kết cấu có tần số dao động riêng cao được thể hiện ở Hình 2(b) và phản ứng của kết cấu có tần số dao động riêng thấp được thể hiện ở Hình 2(c).

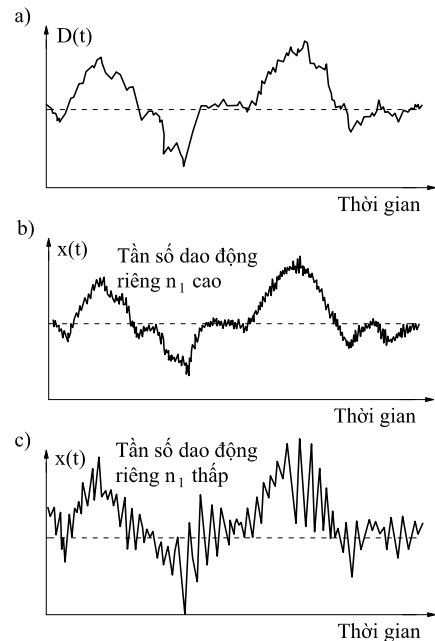
Đối với kết cấu có tần số dao động riêng thứ nhất cao, phản ứng cộng hưởng đóng vai trò thứ yếu. Tuy nhiên, đối với kết cấu có tần số dao động riêng thứ nhất thấp ($n < 1$ Hz), phản ứng cộng hưởng là quan trọng. Ngoài ra, phản ứng cộng hưởng cũng phụ thuộc vào độ cản, khí động hoặc dạng kết cấu. Khi xảy ra phản ứng cộng

hưởng, có thể sinh ra các tương tác phức tạp, chuyển động của bản thân kết cấu dẫn đến các lực khí động thêm được tạo ra. Có ba nguồn tạo ra tải trọng gió thay đổi:

+ Nguồn thứ nhất, phản ứng cộng hưởng, là dòng gió thay đổi tự nhiên và rối, tạo ra bởi các tác động cắt khi các dòng khí trượt trên bề mặt nhám của quả đất.

+ Nguồn thứ hai là tác động của kích động xoáy (vortex shedding), xảy ra ở phía sau các kết cấu có hình dạng với mặt cắt ngang tạo xoáy, các mặt cắt ngang hình trụ tròn hoặc hình vuông.

+ Nguồn thứ ba là các lực rung lắc (buffeting forces) từ các vết dòng của các kết cấu ở trước dòng gió của kết cấu đang xét đến.



Hình 2. Thay đổi theo thời gian của (a) lực gió, (b) phản ứng của kết cấu có tần số dao động riêng cao; (c) phản ứng của kết cấu có tần số dao động riêng thấp [11]

2.2. Dao động ngẫu nhiên [11]

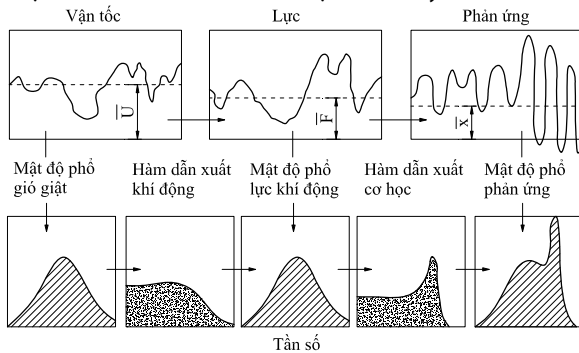
Davenport đưa ra phương pháp tiếp cận đối với dao động của kết cấu do gió gây ra. Phương pháp của Davenport đã sử dụng khái niệm của quá trình ngẫu nhiên dừng (stationary) để mô tả vận tốc, áp lực và lực gió. Phương pháp này giả thiết sự phức tạp của hiện tượng tự nhiên. Tuy nhiên, vẫn có thể sử dụng độ lệch chuẩn, tương quan và mật độ phổ để mô tả các đặc điểm chính của các lực kích động và phản ứng của kết cấu. Mật độ phổ là lượng quan trọng nhất được xem xét trong phương pháp này, sử dụng miền tần số, hoặc được gọi là phương pháp phổ. Vận tốc, áp lực gió và phản ứng của kết cấu được coi như quá trình ngẫu nhiên dừng, trong đó thành phần trung bình được tách khỏi thành phần thay đổi theo thời gian:

$$X(t) = \bar{X} + x'(t) \quad (1)$$

trong đó: $X(t)$ - vận tốc gió, áp lực hoặc phản ứng của kết cấu (mô men, ứng suất, độ võng v.v...); $\bar{X}$ - thành phần trung bình; $x'(t)$ - thành phần thay đổi theo thời gian.

Hình 3 là đồ thị minh họa các thành phần của Phương pháp phổ. Các tính toán chính được thực hiện như ở hàng dưới cùng, trong đó tổng phản ứng trung bình bình phương được tính từ mật độ phổ, hay còn gọi là "phổ" của phản ứng. Các tính toán sau đó được thực hiện từ mật độ phổ khí động, lần lượt được tính từ rối của

gió hoặc phổ giật (gust spectrum). Tần số phụ thuộc vào hàm truyền khí động và hàm truyền cơ học từ sự liên kết giữa các phổ này. Sự khuếch đại ở tần số cộng hưởng, đối với các kết cấu có tần số cơ bản thấp, sẽ dẫn đến phản ứng cực đại và biến động bình phương trung bình cao hơn so với trường hợp đối với các kết cấu có tần số tự nhiên cao hơn, như minh họa trước đây ở Hình 2.

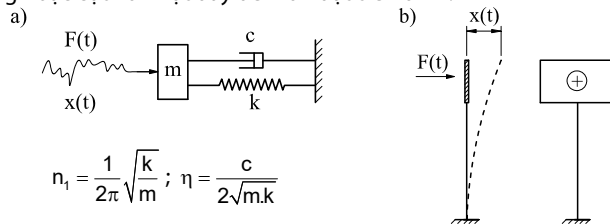


Hình 3. Dao động ngẫu nhiên, phương pháp tiếp cận phản ứng động lực cộng hưởng [11]

2.3. Phản ứng dọc luồng gió của hệ kết cấu [11]

a) Đối với kết cấu có bề rộng chắn gió nhỏ

Trước tiên, xem xét phản ứng động học dọc theo luồng gió của vật thể nhỏ (xem Hình 4a), các đặc tính động lực của chúng được thể hiện bởi bộ cản nhớt với hệ số cản c , khối lượng m - lò xo đàn hồi có độ cứng k , hệ một bậc tự do (xem Hình 4b), và không ảnh hưởng đáng kể đến dòng rối tác động. Đây là hệ một bậc tự do, đại diện hợp lý cho kết cấu có khối lượng lớn được đặt ở đầu cột, khi coi cột có khối lượng không đáng kể, chẳng hạn như cột đèn chiếu sáng hoặc cột với một dây đèn lớn đặt trên đỉnh.



Hình 4. Mô hình động lực của kết cấu [9, 11]

Phương trình chuyển động của hệ này dưới tác động của lực khí động, $F(t)$, được thể hiện như sau [11]:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (2)$$

Dấu chấm trên các ký hiệu x biểu thị vi phân theo thời gian t .

Với giả thiết bình ổn (quasi-steady) được sử dụng trong đa số các tiêu chuẩn thiết kế về tải trọng gió. Tải trọng $F(t)$ được xác định bởi phương trình:

$$F(t) = C_{po} \cdot (1/2) \cdot \rho_a \cdot A \cdot [U(t)]^2 \quad (3)$$

trong đó: C_{po} - hệ số áp lực bình ổn; A - diện tích của kết cấu theo phương vuông góc với hướng gió trung bình.

Mở rộng $U(t)$ thành các thành phần trung bình và thành phần rời,

$$F(t) = C_{po} \cdot (1/2) \cdot \rho_a \cdot A \cdot [\bar{U} + u'(t)]^2 = C_{po} \cdot (1/2) \cdot \rho_a \cdot A \cdot [\bar{U}^2 + 2\bar{U}u'(t) + u'(t)^2] \quad (4)$$

Với các kết cấu nhỏ, cho phép liên hệ sau giữa trung bình bình phương của lực thay đổi và vận tốc gió dọc thay đổi, được thể hiện theo Phương trình (5).

$$\overline{F'^2} = C_{Fp}^2 \rho_a^2 \bar{U}^2 \overline{u'^2} A^2 \cong C_{Fp}^2 \rho_a^2 \bar{U}^2 \overline{u'^2} A^2 = \frac{4\bar{F}^2}{\bar{U}^2} \overline{u'^2} \quad (5)$$

Phương trình (5) thể hiện dưới dạng mật độ phổ (xem các Phương trình (6) và (7)).

$$\int_0^\infty S_F(n) dn = \frac{4\bar{F}^2}{\bar{U}^2} \int_0^\infty S_u(n) dn \quad (6)$$

Do đó:

$$S_F(n) = \frac{4\bar{F}^2}{\bar{U}^2} S_u(n) \quad (7)$$

Để có mối liên hệ giữa lực tác động và phản ứng của kết cấu, chuyển vị được tách ra làm các thành phần trung bình và thay đổi, như Phương trình (8) dưới đây:

$$X(t) = \bar{X} + x'(t) \quad (8)$$

Quan hệ giữa lực tác động trung bình $\bar{F}$ và dịch chuyển trung bình $\bar{X}$ được thể hiện ở Phương trình (9):

$$\bar{F} = k\bar{X} \quad (9)$$

trong đó: k - độ cứng lò xo (xem Hình 4).

Mật độ phổ của chuyển vị có quan hệ với mật độ phổ của lực tác động, thông qua Phương trình (10):

$$S_x(n) = \frac{1}{k^2} |H(n)|^2 S_F(n) \quad (10)$$

trong đó:

$|H(n)|^2$ - hàm truyền cơ học (mechanical admittance) cho hệ một bậc tự do, được xác định theo Phương trình (11).

$$|H(n)|^2 = \frac{1}{[1 - (n/n_1)^2]^2 + 4\eta^2(n/n_1)^2} \quad (11)$$

n - tần số của lực kích thích; n_1 - tần số dao động riêng thứ nhất; η - độ cản.

Kết hợp các Phương trình (6) và (10), mật độ phổ của phản ứng độ võng quan hệ với mật độ phổ của sự thay đổi vận tốc gió theo Phương trình (12).

$$S_x(n) = \frac{1}{k^2} |H(n)|^2 \frac{4\bar{F}^2}{\bar{U}^2} S_u(n) \quad (12)$$

Phương trình (12) được dùng cho các kết cấu có diện tích chắn gió nhỏ.

b) Đối với kết cấu có bề rộng chắn gió lớn

Đối với các kết cấu lớn hơn, ví dụ như các bảng quảng cáo, các sự thay đổi vận tốc gió không xảy ra đồng thời trên toàn bộ mặt đón gió và tương quan trên toàn bộ diện tích, A , phải được xem xét. Hàm truyền khí động (aerodynamic admittance) $\chi^2(n)$ được dùng để xét đến hiệu ứng này (xem Phương trình (13)).

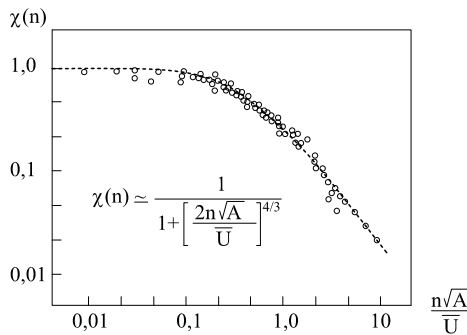
$$S_x(n) = \frac{1}{k^2} |H(n)|^2 \frac{4\bar{F}^2}{\bar{U}^2} \chi^2(n) S_u(n) \quad (13)$$

Thay $\bar{F}$ từ Phương trình (9) vào Phương trình (13), dẫn đến:

$$S_x(n) = \frac{4\bar{X}^2}{\bar{U}^2} |H(n)|^2 \chi^2(n) S_u(n) \quad (14)$$

Đối với các kết cấu hở, như tháp thép rỗng, không ảnh hưởng nhiều đến dòng gió, $\chi^2(n)$ có thể được xác định từ các đặc tính tương quan của sự thay đổi vận tốc gió tới. Giả thiết này cũng dùng cho các kết cấu đặc, nhưng $\chi^2(n)$ cũng xác định bằng thực nghiệm.

Hình 5 thể hiện dữ liệu thí nghiệm với hàm hồi quy. Chú ý rằng, $\chi(n) \approx 1$ tại các tần số thấp và các vật thể nhỏ. Trường hợp gió giật với tần số thấp thì tương quan toàn bộ và bao toàn bộ bề mặt của kết cấu. Như thế, đối với các tần số cao, hoặc vật thể lớn, gió giật không thể tạo ra các lực toàn bộ trên kết cấu, do thiếu sự tương quan, và hàm truyền khí động có khuynh hướng về không.

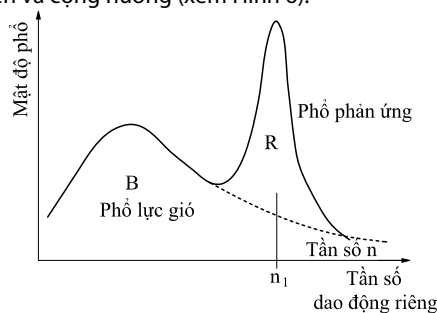


Hình 5. Hàm truyền khí động được xác định trên số liệu thí nghiệm [11]

Theo các nghiên cứu của Davenport, Vickery và nhiều tác giả khác, hàm truyền khí động có dạng:

$$\chi(n) \equiv \frac{1}{1 + \left(\frac{2n\sqrt{A}}{U} \right)^2} \quad (15)$$

Để xác định phương sai của độ võng thay đổi, mật độ phổ của độ võng, xác định theo Phương trình (15) được tích hợp trên toàn bộ các tần số. Diện tích bên dưới đường tích phân của Phương trình (15) có thể được xấp xỉ thành hai thành phần, B và R, thể hiện bởi các phần nền và cộng hưởng (xem Hình 6).



Hình 6. Thành phần nền và cộng hưởng của phản ứng [11]

$$\sigma_x^2 = \int_0^\infty S_x(n) dn = \int_0^\infty \frac{4\bar{X}^2}{U^2} \cdot |H(n)|^2 \cdot \chi^2(n) \cdot S_u(n) dn \quad (16)$$

Như vậy,

$$\begin{aligned} \sigma_x^2 &= \frac{4\bar{X}^2 \sigma_u^2}{U^2} \int_0^\infty |H(n)|^2 \cdot \chi^2(n) \cdot \frac{S_u(n)}{\sigma_u^2} dn \\ &\equiv \frac{4\bar{X}^2 \sigma_u^2}{U^2} [B + R] \end{aligned} \quad (17)$$

trong đó:

$$B = \int_0^\infty \chi^2(n) \cdot \frac{S_u(n)}{\sigma_u^2} dn \quad (18)$$

$$R = \chi^2(n_1) \cdot \frac{S_u(n_1)}{\sigma_u^2} \int_0^\infty |H(n)|^2 dn \quad (19)$$

Sự xấp xỉ của Phương trình (17) được dựa trên giả thiết, trên bề rộng của đỉnh cộng hưởng ở Hình 6, các hàm $\chi^2(n)$, $S_u(n)$ là hằng số tại các giá trị $\chi^2(n_1)$, $S_u(n_1)$. Đây là sự xấp xỉ tốt cho đặc trưng các mật độ phổ phẳng của tải trọng gió và khi đỉnh cộng hưởng là hẹp, xảy ra khi độ cản thấp.

Phương trình (17) được sử dụng rộng rãi trong các tiêu chuẩn trên thế giới để xác định tải trọng gió dọc. Hệ số nền B thể hiện phản ứng tựa tĩnh gây ra bởi gió giật có tần số nhỏ hơn tần số dao động riêng của kết cấu. Quan trọng hơn, hệ số nền B không phụ

thuộc vào tần số dao động riêng của kết cấu như đã thể hiện trong Phương trình (18), trong đó tần số lực kích thích chỉ xuất hiện trong hàm tích phân. Đối với nhiều kết cấu dưới tác động của tải trọng gió, B được xem lớn hơn đáng kể so với R (xem Phương trình (19)), như thể phản ứng nền chiếm ưu thế so với phản ứng cộng hưởng.

2.4. Hệ số phản ứng giật (hệ số giật) [11]

Hệ số phản ứng giật (gust response factor) G được định nghĩa là tỉ lệ giữa phản ứng lớn nhất (chuyển vị hoặc ứng suất) của kết cấu trong một khoảng thời gian định trước (10 phút hoặc 1 giờ) và phản ứng trung bình cùng trong một khoảng thời gian trên. Hệ số này thường được dùng cho gió thay đổi theo thời gian với quá trình dừng hoặc gần dừng (near-stationary), như gió trong các cơn bão.

Phản ứng lớn nhất kỳ vọng của hệ đơn giản có thể được thể hiện theo Phương trình (20).

$$\hat{X} = \bar{X} + g\sigma_x \quad (20)$$

$$g = \sqrt{2 \log_e(vT)} + \frac{0,5772}{\sqrt{2 \log_e(vT)}} \quad (21)$$

trong đó: g – hệ số đỉnh, xác định theo phương trình (21); v – tần số hiệu dụng, thường bằng tần số dao động riêng thứ nhất của kết cấu n_1 ; T – thời gian lấy trung bình, thường bằng 600 giây hoặc 3600 giây.

Hệ số phản ứng giật được xác định theo Phương trình (22) và giá trị của hệ số này luôn lớn hơn 1.

$$G = \frac{\hat{X}}{\bar{X}} = 1 + g \frac{\sigma_x}{\bar{X}} = 1 + 2g \frac{\sigma_u}{U} \sqrt{B + R} \quad (22)$$

3. Tính toán tải trọng gió theo một số tiêu chuẩn

3.1. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737:1995 và TCXDVN 229:1999

a) Áp lực gió:

Áp lực gió được xác định theo công thức:

$$W = W_m + W_p \quad (23)$$

trong đó:

W_m – áp lực gió tĩnh (trung bình), áp lực trung bình trong khoảng thời gian tác động T, được xác định:

$$W_m = W_0 k_c \quad (24)$$

ở đây:

W_p – giá trị của áp lực gió (lấy theo bản đồ phân vùng), có thể tính theo vận tốc gió V_0 :

$$W_0 = 0,613 V_0^2 \quad (25)$$

trong đó:

V_0 – vận tốc gió ở độ cao 10 m so với mốc chuẩn (vận tốc trung bình trong thời gian 3 giây, bị vượt trung bình một lần trong vòng 20 năm), tương ứng địa hình dạng B (m/s);

k – hệ số, tính đến sự thay đổi độ cao của áp lực gió, lấy theo Bảng 5 của TCVN 2737:1995 hoặc tính theo công thức (theo Bảng A.1 của TCXDVN 229:1999):

$$k_t(z) = 1,844 \left(\frac{z}{z_t^g} \right)^{2m_1} = k_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^{2m_1} \quad (26)$$

z_t^g , m_1 – các hằng số địa hình, xác định theo Bảng 1.

Bảng 1. Các hằng số địa hình

Dạng địa hình	z_t^g (m)	m_1	k_{10}	ζ_{10}
A	250	0,07	1,175	3,06
B	300	0,09	1,000	4,83
C	400	0,14	0,656	6,84

Viết lại hệ số độ cao, ứng với các dạng địa hình A, B và C:

$$k_A(z) = 1,175 \left(\frac{z}{10} \right)^{0,14}; k_B(z) = 1,0 \left(\frac{z}{10} \right)^{0,18};$$

$$k_C(z) = 0,656 \left(\frac{z}{10} \right)^{0,28} \quad (27)$$

c – hệ số khí động, lấy theo Bảng 6 của TCVN 2737:1995;
 W_p – áp lực gió động (xung), kể đến thành phần thay đổi của tải trọng gió (giật và cộng hưởng), đối với bảng quảng cáo có dạng một bậc tự do và có $f_1 < f_L$, W_p xác định theo công thức:

$$W_p = W_m \zeta \zeta_v \quad (\text{Eq. 4.9}) \quad (28)$$

trong đó:

ζ – hệ số áp lực động của tải trọng gió, theo Davenport [2], hệ số áp lực động được xác định theo công thức:

$$\zeta_t = 2\alpha_c \gamma_t^*(z) = \zeta_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^{-m_1} \quad (\text{Eq. A.31}) \quad (29)$$

ζ_{10} – hằng số, xác định theo giá trị α , r và m_1 cho các địa hình A, B và C ghi ở Bảng 1.

$\gamma_t^*(z)$ – cường độ dòng rối, được xác định theo công thức:

$$\gamma_t^*(z) = 2,45(r_t)^{0,5} \left(\frac{z}{10} \right)^{-m_1} \quad (\text{Eq. A.30}) \quad (30)$$

Với thời gian lấy trung bình vận tốc gió là 3 giây, $\alpha = 1,395$ và $r_A = 0,002$; $r_B = 0,005$; $r_C = 0,01$. Ta có:

$$\zeta_A = 0,306 \left(\frac{z}{10} \right)^{-0,07}; \zeta_B = 0,483 \left(\frac{z}{10} \right)^{-0,09};$$

$$\zeta_C = 0,684 \left(\frac{z}{10} \right)^{-0,14}, \quad (31)$$

ξ – hệ số động lực, được xác định theo Hình 2 của TCVN 2737:1995, phụ thuộc vào thông số độ giảm loga của dao động δ lấy $\delta = 0,3$ cho kết cấu bảng quảng cáo.

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{W_0 \gamma}}{940 f_i} \quad (\text{Eq. 4.4}) \quad (32)$$

γ – hệ số độ tin cậy của tải trọng gió, $\gamma = 1,2$;

f_i – tần số dao động riêng thứ i ;

W_0 – giá trị của áp lực gió (N/m^2);

v – hệ số tương quan không gian áp lực động đối với dạng dao động cơ bản, phụ thuộc vào tham số của xung p và χ (tức là, kích thước tấm bảng) lấy theo Bảng 10 của TCVN 2737:1995.

c) Hệ số tăng động lực

Thay các công thức (24) và (28) vào (23), ta được:

$$W = W_m (1 + \zeta \zeta_v) = W_m G_f \quad (33)$$

Như thế, G_f được xem như là hệ số tăng động lực của tải trọng gió.

b) Lực thiết kế tác động lên tấm bảng

$$F = W A_b \quad (34)$$

c) Hệ số khí động

Hệ số khí động, với bề mặt tấm bảng $c = 1,4$.

3.2. Tiêu chuẩn châu Âu EN 1991-1-4 [6]

a) Áp lực gió:

Áp lực vận tốc đỉnh $q_p(z)$ tại độ cao z , gồm vận tốc gió trung bình và biến động của vận tốc gió trong thời gian ngắn:

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad (35)$$

trong đó:

$I_v(z)$ – cường độ rối tại độ cao tham chiếu z ,

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \ln(z/z_0)} \quad (36)$$

k_1 – hệ số rối, $k_1 = 1,0$;

$c_0(z)$ – hệ số địa hình đồi núi, $c_0(z_e) = 1,0$;

ρ – mật độ không khí, $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$;

$v_m(z)$ – vận tốc gió trung bình tại độ cao z ,

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (37)$$

$c_r(z)$ – hệ số độ nhám, $c_r(z) = k_r \ln(z/z_0)$;

k_r – hệ số địa hình, $k_r = 0,19(z_0/z_{0,II})^{0,07}$;

z_0 – chiều cao độ nhám, $z_0 = 0,05$ (với loại địa hình II);

$z_{0,II}$ – hệ số, $z_{0,II} = 0,05$ (loại địa hình II, Bảng 4.1 của EN 1991-1-4);

z – chiều cao của kết cấu, lấy đến trọng tâm bảng, $z = L_1 + 0,5 \cdot L_2$;

v_b – vận tốc gió cơ sở, $v_b = v_{b,0}$ (khi $C_{dir} = 1,0$ và $C_{season} = 1,0$);

$v_{b,0}$ – giá trị cơ bản của vận tốc gió cơ sở (fundamental value of the basic wind velocity).

b) Lực thiết kế tác động lên kết cấu:

Lực thiết kế tác động lên tấm bảng xác định theo (38):

$$F_b = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (38)$$

trong đó: c_s , c_d – hệ số kết cấu; c_f – hệ số lực; $q_p(z_e)$ – áp lực vận tốc đỉnh tại độ cao tham chiếu z_e ; A_{ref} – diện tích tham chiếu của kết cấu.

Lực F_b tác động lên tấm bảng ở độ cao trọng tâm của chúng với độ lệch tâm $e = \pm 0,25b$ (xem Hình 7b).

c) Hệ số kết cấu:

Đối với các bảng quảng cáo có chiều cao $z_e < 15 \text{ m}$, giá trị $c_s \cdot c_d = 1,0$. Trường hợp khác, $c_s \cdot c_d$ được xác định theo công thức:

$$c_s \cdot c_d = \frac{1 + 2k_p I_v(z_s) \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v(z_s)} \quad (39)$$

trong đó: k_p – hệ số đỉnh; $I_v(z_s)$ – cường độ rối (xác định theo (38)); B^2 – hệ số nền; R^2 – hệ số phản ứng cộng hưởng;

$$k_p = \sqrt{2 \ln(vT)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(vT)}} \quad (40)$$

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \left[\frac{b+h}{L(z_s)} \right]^{0,63}} \quad (41)$$

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_n \cdot R_b \quad (42)$$

trong đó: v – tần số vượt ngưỡng, xác định theo (43); T – thời gian trung bình của vận tốc gió trung bình; $T = 600$ giây; b , h – chiều rộng và chiều cao kết cấu; $L(z_s)$ – tỷ lệ chiều dài rối, xác định theo (44); $\delta = 0,05$; S_L – hàm mật độ phổ không thứ nguyên, xác định theo (45); f_L – tần số không thứ nguyên, xác định theo (46); R_n , R_b – các hàm truyền khí động, xác định theo (47) và (48):

$$v = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}}; v \geq 0,08 \text{ Hz} \quad (43)$$

$$L(z_s) = L_t \left(\frac{z}{z_t} \right)^\alpha \quad (44)$$

$$S_L(z_s, n) = \frac{n \cdot S_v(z, n)}{\sigma_v^2} = \frac{6,8 \cdot f_L(z, n)}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z, n))^{5/3}} \quad (45)$$

$$f_L(z_s, n) = \frac{n \cdot L(z_s)}{v_m(z_s)} \quad (46)$$

$$R_n = \frac{1}{\eta_n} - \frac{1}{2\eta_n^2} [1 - e^{-2\eta_n}] \text{ với } \eta_n = \frac{4,6h}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x}) \quad (47)$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} [1 - e^{-2\eta_b}] \text{ với } \eta_b = \frac{4,6b}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x}) \quad (48)$$

3.3. Tiêu chuẩn Mỹ ASCE/SEI 7-16 [5]

a) Áp lực gió (áp lực vận tốc)

$$q_z = 0,613K_zK_{xt}K_dV^2 \quad (\text{Eq. 29.3-1}) \quad (49)$$

trong đó:

K_z – hệ số, tính đến sự thay đổi của áp lực gió theo độ cao và dạng địa hình (Bảng 26.10 của ASCE 7-16), với công trình có chiều cao $z \geq 4,6$ m lấy $K_z = 2,01.(z/z_g)^{2/\alpha}$;

K_{xt} – hệ số dạng địa hình, xác định theo mục 26.8.2 của ASCE 7-16, lấy $K_{xt} = 1,0$.

K_d – hệ số hướng gió, xác định theo mục 26.2 của ASCE 7-16, lấy $K_d = 0,85$ – cho tấm bằng quảng cáo đặc.

K_e – hệ số cao độ, xác định theo mục 26.99 của ASCE 7-16 (Bảng 26.6-4), lấy $K_e = 1$;

V – vận tốc gió cơ sở, vận tốc giật trong thời gian 3 giây (three-second gust speed) ở độ cao 10 m so với mặt đất, tương ứng với dạng địa hình C của ASCE 7-16 và được xác định theo cấp rủi ro của công trình và kết cấu.

Bảng 2. Các hằng số địa hình (Bảng 26-11-1 của [5])

Địa hình	α	z_g (m)	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$	L (m)	$\bar{e}$
B	7,0	365,76	1/4,0	0,45	97,54	1/3,0
C	9,5	274,32	1/6,5	0,65	152,4	1/5,0
D	11,5	213,36	1/9,0	0,80	198,12	1/8,0

b) Lực thiết kế tác động lên tấm bằng

Lực thiết kế tác động lên tấm bằng xác định theo (50):

$$F = q_n G C_f A_s \quad (\text{Eq. 29.4-1}) \quad (50)$$

trong đó:

q_z – vận tốc gió thiết kế (m/s);

G – hệ số phản ứng giật, xác định theo Eq. 26.9-10 của [5] với tần số dao động riêng $n_1 < 1,0$ Hz;

A_s – diện tích cản gió của bằng quảng cáo;

C_f – hệ số lực, xác định theo Hình 29.4-1 và Hình 29.5-1 của [5].

Lực F tác động lên tấm bằng tại cao độ trọng tâm của chúng, với độ lệch tâm tương ứng cho các trường hợp (minh họa ở Hình 7):

+ Trường hợp A: Lực F_b đặt đúng tâm bằng ($e_1 = 0$).

+ Trường hợp B: Lực F_b đặt lệch tâm $e_1 = 0,2b$.

+ Trường hợp C: Lực $F_{b,1}$ đặt lệch tâm $e_1 = 0,5L_2$.

Lực $F_{b,2}$ đặt lệch tâm $e_2 = 1,5L_2$.

Lực $F_{b,3}$ đặt lệch tâm e_3

c) Hệ số giật

Đối với các công trình mềm và kết cấu khác như bằng quảng cáo (có tần số dao động $n_1 < 1$ Hz), hệ số phản ứng giật được xác định:

$$G_1 = 0,925 \frac{1 + 1,7L_z \sqrt{g_0^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 1,7g_v L_z} \quad (51)$$

trong đó:

g_0 và g_v – hệ số, lấy $g_0 = g_v = 3,4$ và g_R xác định theo công thức (52):

$$g_R = \sqrt{2 \ln(3600n_1)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(3600n_1)}} \quad (52)$$

R – hệ số phản ứng cộng hưởng, được xác định:

$$R^2 = \frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0,53 + 0,47 R_L) \quad (53)$$

$$R_n = \frac{9,51 N_1}{(1 + 10,3 N_1)^{5/3}} \quad (\text{Eq. 26.9-13}) \quad (54)$$

$$N_1 = \frac{n_1 L_z}{V_z} \quad (\text{Eq. 26.9-14}) \quad (55)$$

ở đây:

$$R_n = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) \quad \text{với } \eta = \frac{4,6 n_1 h}{V_z} \quad (56)$$

$$R_B = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) \quad \text{với } \eta = \frac{4,6 n_1 B}{V_z} \quad (57)$$

$$R_L = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) \quad \text{với } \eta = \frac{15,4 n_1 L}{V_z} \quad (58)$$

n_1 – tần số dao động riêng thứ nhất.

h – chiều cao, tính từ mặt đất đến trọng tâm tấm bằng.

B và L – bề rộng và chiều cao tấm bằng;

β – tỷ số cản, với kết cấu thép lấy $\beta = 0,01$;

V_z – vận tốc gió trung bình trong khoảng thời gian 1 giờ tại cao

độ $\bar{z}$, xác định theo công thức:

$$\bar{V}_z = \bar{b} \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\alpha}} V \quad (\text{Eq. 26.9-16}) \quad (59)$$

$\bar{b}$ và $\bar{\alpha}$ – các hằng số, xác định theo Bảng 2;

V – vận tốc gió cơ sở;

Q – phản ứng nền, xác định theo công thức:

$$Q^2 = \frac{1}{1 + 0,63 \left[\frac{B+h}{L_z} \right]^{0,63}} \quad (\text{Eq. 26.9-8}) \quad (60)$$

L_z – tỷ lệ chiều dài rơi tại cao độ $\bar{z}$, xác định:

$$L_z = L \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{e}} \quad (\text{Eq. 26.9-9}) \quad (61)$$

L và $\bar{e}$ – các hằng số, xác định theo Bảng 2.

Thấy rằng, khi thành phần cộng hưởng khá nhỏ, $R \approx 0$, công thức tính hệ số giật G_r trở thành công thức tính G (chính là công thức (16.9-6) của ASCE/SEI 7-16).

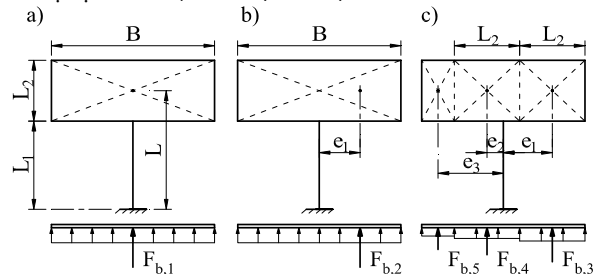
d) Hệ số lực C_f

Hệ số lực đối với tấm bằng, ứng với các trường hợp theo Hình 29.4-1 của tài liệu [5]:

+ Trường hợp A và B: $C_f = 1,8$.

+ Trường hợp C: $C_f = 2,4$ (ô 1); $C_f = 1,6$ (ô 2); $C_f = 0,6$ (ô 3).

Nhận xét: Lực gió tác động lên tấm bằng ở dạng phân bố, được quy đổi thành lực tập trung tương ứng với diện tích tấm bằng. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737:1995 không tính đến tác động xoắn đối với cột đỡ ($M_z = 0$), tức là lực tập trung quy đổi tác động đúng tâm bằng (Hình 7a). EN 1991-1-4 quy định tác động gió lên tấm bằng gây xoắn với cột đỡ, tức là lực tập trung quy đổi tác động lên tấm bằng với độ lệch tâm $e_1 = 0,25B$ (Hình 7b). ASCE/SEI 7-16 quy định cho 03 trường hợp: (i) Trường hợp A, lực tập trung quy đổi tác động đúng tâm bằng (Hình 7a); (ii) Trường hợp B, lực tập trung quy đổi tác động lệch tâm bằng $e_1 = 0,25B$ (Hình 7b); (iii) Trường hợp C, ứng với mỗi ô tấm bằng sẽ có lực tập trung quy đổi đặt lệch tâm e_1, e_2 và e_3 (Hình 7c).



Hình 7. Lực tập trung quy đổi tác động lên tấm bằng

(a – đúng tâm bằng, b – lệch tâm bằng; c – trọng tâm các ô bằng)

4. Chương trình tính và ví dụ tính toán

4.1 Xây dựng chương trình tính:

Trên cơ sở các Tiêu chuẩn TCVN 2737:1995; EN 1991-1-4 và ASCE/SEI 7-16, tác giả đã xây dựng đoạn chương trình tính có tên là WSB (Wind Loading on Signboard and Billboard) trong môi trường Excel để tính toán tải trọng gió tác động lên tấm bảng, nội lực chân cột. Đồng thời, kiểm chứng kết quả tính theo WSB so với kết quả tính trong tài liệu [10], [16] khi có cùng thông số đầu vào, kết quả chênh lệch khá nhỏ (dưới 1%), chứng tỏ chương trình tính có đủ độ tin cậy (Bảng 3).

Bảng 3. So sánh kết quả tính toán

Tiêu chuẩn	Ký hiệu thông số	Kết quả tính theo		Chênh lệch (%)
		WSB	[10], [16]	
EN	F_b (kN)	181,439	181,500	-0,03
	M_x (kN.m)	1451,520	1452,000	-0,03
	M_z (kN.m)	1134,000	1134,380	-0,03
ASCE	$F_{b,1}$ (lb)	60,030	60,362	-0,55
	$F_{b,3}$ (lb)	32,020	32,193	-0,54
	$F_{b,4}$ (lb)	21,340	21,462	-0,57
	$F_{b,5}$ (lb)	4,000	4,024	-0,60

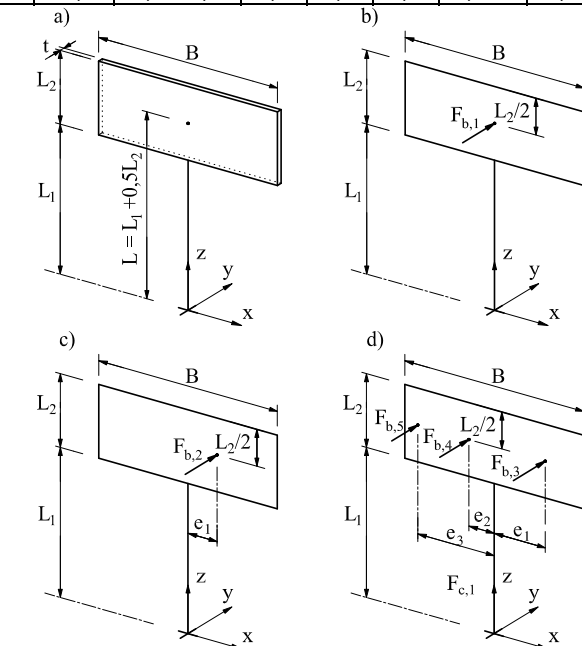
4.2 Ví dụ tính toán:

a) Thông số tính toán:

Bảng quảng cáo có mô hình tính như Hình 8a, các kích thước tấm bảng và cột đỡ (chiều cao tính từ mặt đất đến trọng tâm tấm bảng, $L = L_1 + 0,5L_2$), tần số dao động riêng n , được liệt kê ở Bảng 4 (với hai Phương án 1 và 2 chiều cao trọng tâm tấm bảng). Công trình được đặt trong phân vùng II-B (theo TCVN 2737:1995), kết cấu bảng và cột đỡ bằng vật liệu thép. Bỏ qua ảnh hưởng của gió tác động lên cột đỡ.

Bảng 4. Thông số Bảng quảng cáo

P.án	Kích thước (m)				Cột (m)		Tần số n (Hz)
	B	L_1	L_2	t	D_c	t_c	
1	18,0	15,0	6,0	1,4	1,2	0,018	0,9195
2	18,0	8,0÷15,0	6,0	1,4	1,2	0,018	0,9195



Hình 8. Mô hình tính toán và lực gió tác động

b) Yêu cầu tính toán:

(1) Tính toán lực gió tác động lên tấm bảng và nội lực chân cột Bảng quảng cáo, cho Phương án 1 với chiều cao $L_1 = 15,0$ m theo 03 tiêu chuẩn (Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737:1995, châu Âu EN 1991-1-4 và Mỹ ASCE/SEI 7-16).

(2) Tính toán lực gió tác động lên tấm bảng và nội lực chân cột Bảng quảng cáo cho Phương án 2 với chiều cao $L_1 = 12,0$ m (tức là $L = 15,0$ m). Khảo sát hệ số giật (hệ số kết cấu) khi $L_1 = (8,0 \div 15,0)$ m.

(3) Khảo sát lực gió tác động lên tấm bảng và nội lực chân cột của Bảng quảng cáo cho Phương án 1, với các dạng địa hình A, B và C (theo TCVN 2737:1995); tương ứng địa hình I, II và III (theo EN 1991-1-4); địa hình B, C và D (theo ASCE/SEI 7-16).

Ở đây không xét đến cấp rủi ro của công trình và áp lực gió ngang. Các thông số tính toán được lấy đồng nhất các tiêu chuẩn để thuận lợi trong việc so sánh kết quả tính toán.

Giá trị áp lực gió vùng II-B, $w_0 = 0,95$ kN/m² (theo TCVN 2737:1995 với 3 giây, 20 năm), quy đổi sang vận tốc gió cơ sở $V_0 = 39,37$ m/s. Quy đổi sang vận tốc gió theo tiêu chuẩn châu Âu $V_{b,0} = 30,23$ m/s (600 giây, 50 năm) và theo tiêu chuẩn Mỹ $V = 43,30$ m/s (3 giây, 50 năm).

c) Kết quả tính toán:

(1) Kết quả tính toán theo Phương án 1: $L = 18$ m.

Kết quả tính toán tải trọng gió phân bố lên bề mặt tấm bảng, được quy đổi thành lực tập trung F_b và nội lực tại chân cột gồm mô men xoắn và lực cắt (M_x , M_z và V) theo các tiêu chuẩn TCVN 2737:1995 (Hình 2b), EN 1991-1-4 (Hình 2c) và ASCE/SEI 7-16 (Hình 2b,c,d) ghi ở Bảng 7.

Bảng 5. Kết quả tính theo các tiêu chuẩn (Phương án 1)

Nội lực	TCVN	EN	ASCE/SEI		
			TH. A	TH. B	TH. C
F_b (kN)	270,7	405,4	227,7	227,7	229,1
M_x (kN.m)	4872,1	7297,8	4098,3	4098,3	4123,5
M_z (kN.m)	0,0	1824,4	0,0	819,7	362,6
V (kN)	270,7	405,4	227,7	227,7	229,1

Ghi chú: Theo TCVN có $G = 1,67$.
Theo EN có $c_s = 0,92$; $c_d = 1,46$ ($c_s c_d = 1,33$).
Theo ASCE/SEI có $Q = 0,92$; $R = 0,75$ ($G_f = 1,066$).

Qua kết quả tính ghi ở Bảng 5, thấy rằng:

(i) Lực tập trung quy đổi tác động lên tấm bảng khi tính theo EN 1991-1-4 có giá trị lớn hơn nhiều so với khi tính theo TCVN 2737:1995 hoặc ASCE/SEI 7-16; giá trị tính theo TCVN 2737:1995 lớn hơn so với khi tính theo ASCE/SEI 7-16;

(ii) Lực tác động lên tấm bảng tính theo ASCE/SEI 7-16, trường hợp B (TH.B) gây nội lực chân cột lớn hơn so với trường hợp A và C.

(iii) Khi tính theo TCVN 2737:1995, thành phần động khá lớn so với thành phần tĩnh ($G = 1,67$), có khi giá trị lên tới $G \approx 2,0$ (xem kết quả ghi ở Bảng 6), gây kết quả nội lực bất hợp lý. Cũng tương tự, khi tính theo EN 1991-1-4 sẽ cho thành phần cộng hưởng R khá lớn so với thành phần nền Q ($c_d \gg c_s$), dẫn tới $c_s c_d = 1,33$ lớn hơn $G_f = 1,066$ khi tính theo ASCE/SEI 7-16.

(2) Kết quả tính theo Phương án 2: $L = (11 \div 18)$ m.

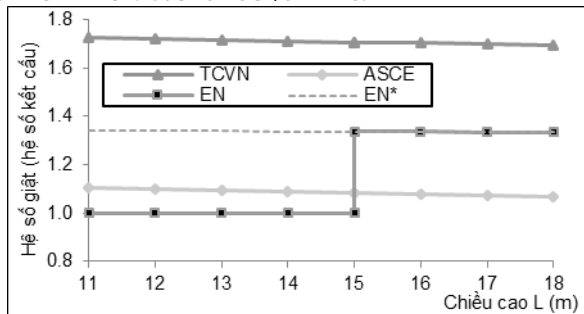
Như ở mục 6.2(1) của EN 1991-1-4 có yêu cầu, đối với công trình có chiều cao $L < 15$ m, giá trị $c_s c_d = 1,0$. Với số liệu đầu vào theo Phương án 2, sẽ là ranh giới của việc lấy giá trị $c_s c_d = 1,0$ và $c_s c_d \neq 1,0$. Kết quả tính theo ASCE/SEI 7-16 chỉ lấy giá trị nội lực cho chân cột trường hợp B. Tổng hợp kết quả ghi ở Bảng 6.

Bảng 6. Kết quả tính theo các tiêu chuẩn (Phương án 2)

Nội lực	TCVN	EN, với c_{sCd}		ASCE	Chênh lệch %
		= 1,0	≠ 1,0		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(2)/(3)
F_b (kN)	261,1	285,3	381,8	216,9	-33,82
M_x (kN.m)	3655,8	3994,1	5345,4	3037,0	-33,83
M_z (kN.m)	0,0	1283,8	1718,2	780,9	-33,84
V (kN)	261,1	285,3	381,8	216,9	-33,82

Ghi chú: Theo TCVN có $G = 1,67$.
Theo EN có $c_s = 0,91$; $c_d = 1,47$ ($c_{sCd} = 1,34$).
Theo ASCE/SEI có $Q = 0,92$; $R = 0,79$ ($G_f = 1,086$).

Qua kết quả ghi ở Bảng 6, thấy rằng: Khi tính theo EN 1991-1-4, với việc lấy chiều cao công trình ở ranh giới $L = 15$ m, kết quả $c_{sCd} = 1,0$ cũng chênh lệch khá lớn (đến 33,82%), nhưng với giá trị $c_{sCd} = 1,0$ sẽ cho kết quả nội lực khá phù hợp so với khi tính theo các tiêu chuẩn TCVN 2737:1995 và ASCE/SEI 7-16.

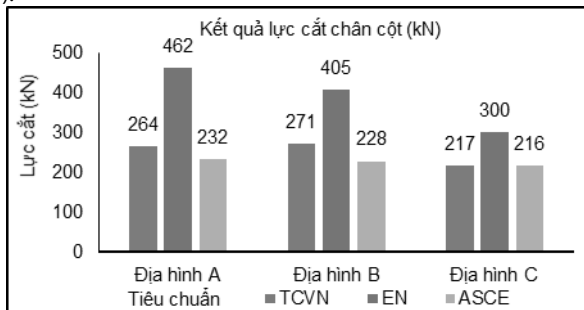


Hình 9. Kết quả hệ số giạt (hệ số kết cấu)

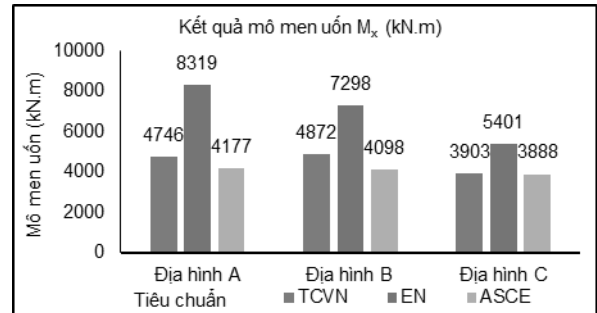
Từ Hình 9 thấy rằng, hệ số giạt tính theo TCVN 2737:1995 vào khoảng 1,7 ($G \approx 1,7$), trong khi đó khi tính theo ASCE/SEI 7-16 có giá trị nhỏ hơn nhiều ($G \approx 1,1$), còn theo EN 1991-1-4 có bước nhảy tại chiều cao tấm bằng quảng cáo $L = 15,0$ m (từ giá trị $c_{sCd} = 1,0$ lên đến điểm có giá trị $c_{sCd} \approx 1,3$). Như thế, có sự vô lý khi EN 1991-1-4 quy định với kết cấu (Bảng quảng cáo nói riêng) có chiều cao $L < 15,0$ m lấy hệ số $c_{sCd} = 1,0$.

(3) Kết quả khảo sát theo Phương án 1.

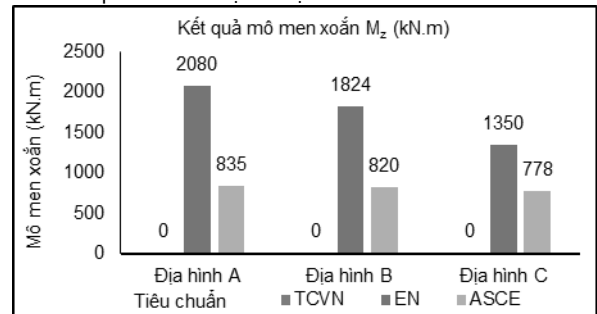
Minh họa kết quả tính toán lực cắt V (kN), mô men uốn M_x (kN.m) và mô men xoắn M_z (kN.m) tại chân cột của mô hình tính toán được thể hiện ở Hình 4 đến Hình 6. Kết quả tính toán với các dạng địa hình A, B và C theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737:1995, theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1991-1-4 (tương đương địa hình I, II và III) và theo tiêu chuẩn Mỹ ASCE/SEI 7-16 (tương đương địa hình B, C và D).



Hình 10. Kết quả lực cắt tại chân cột

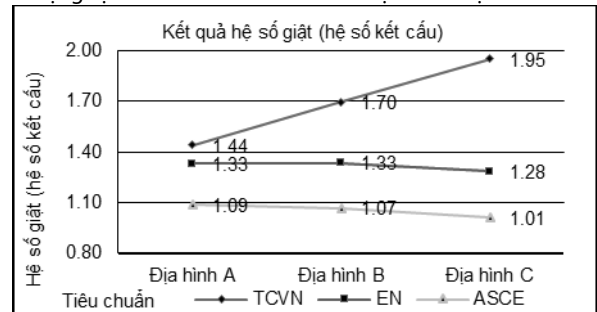


Hình 11. Kết quả mô men uốn tại chân cột



Hình 12. Kết quả mô men xoắn tại chân cột

Đồng thời, kết quả hệ số giạt G_f (hệ số kết cấu c_{sCd}) của tải trọng gió với các dạng địa hình theo 03 tiêu chuẩn được minh họa ở Hình 13.



Hình 13. Kết quả hệ số giạt

So sánh các kết quả tính được thể hiện ở Bảng 7.

Bảng 7. Nội lực tại chân cột và hệ số giạt

Nội lực	Địa hình	TCVN	EN	ASCE	Chênh (%)	
		(1)	(2)	(3)	(1)/(2)	(1)/(3)
V (kN)	A	263,7	462,2	232,1	-75,3	12,0
	B	270,7	405,4	227,7	-49,8	15,9
	C	216,8	300,0	216,0	-38,4	0,4
M_x (kN.m)	A	4746,2	8319,0	4177,4	-75,3	11,98
	B	4872,1	7297,8	4098,3	-49,8	15,88
	C	3903,0	5400,7	3887,7	-38,4	0,39
M_z (kN.m)	A	0,0	2079,7	835,5	-	-
	B	0,0	1824,4	819,7	-	-
	C	0,0	1350,2	777,5	-	-
G	A	1,44	1,33	1,09	7,6	24,45
	B	1,70	1,33	1,07	21,3	37,10
	C	1,95	1,28	1,01	34,2	48,14

Từ kết quả tính toán cho thấy:

- Nội lực chân cột (V và M_x) khi tính theo tiêu chuẩn EN 1991-1-4 có giá trị lớn hơn khá nhiều so với khi tính theo tiêu chuẩn TCVN 2737:1995 và ASCE/SEI 7-16. Giá trị chênh lệch nội lực khi tính theo

tiêu chuẩn TCVN 2737:1995 so với EN 1991-1-4 và ASCE/SEI 7-16 vào khoảng 75,3% (12%) đối với địa hình trống trải (địa hình A), khoảng 49,8% (15,9%) đối với địa hình tương đối trống trải (địa hình B) và khoảng 38,4% (0,4%) đối với địa hình bị che chắn mạnh (địa hình C). Đồng thời cũng thấy rằng, kết quả nội lực khi tính theo tiêu chuẩn TCVN lớn hơn khi tính theo tiêu chuẩn ASCE/SEI, nhưng chênh lệch không nhiều. Điều này cũng đúng cho mô hình tác động xoắn ở chân cột, tuy nhiên TCVN 2737:1995 không xét đến lực gió tác động gây xoắn cho cột.

- Giá trị hệ số giạt (hệ số kết cấu) khi tính theo TCVN 2737:1995 là khá lớn ($G \approx 1,95$ với địa hình dạng C) điều này là vô lý, trong khi đó khi tính theo ASCE/SEI 7-16 giá trị G_f ở khoảng $1,0 \div 1,1$. Còn khi tính theo EN 1991-1-4, giá trị c_{sc} ở khoảng $1,28 \div 1,33$ và cũng thấy rằng, thành phần cộng hưởng ở trường hợp này là $R = 1,18 \div 1,38$, khá lớn so với khi tính theo tiêu chuẩn ASCE/SEI 7-16.

Kết luận và kiến nghị:

Trên cơ sở các nội dung đã trình bày, nội dung bài báo đã đạt được một số kết quả sau:

Qua bài toán động lực học ngẫu nhiên của kết cấu dưới tác dụng của tải trọng gió, thấy rằng phản ứng của công trình bao gồm thành phần phản ứng nền và phản ứng cộng hưởng. Phương pháp phổ của Davenport đã được trình bày cơ bản, được các tiêu chuẩn của các nước trên thế giới áp dụng để tính toán tải trọng gió tác động lên kết cấu nhà và công trình.

Cũng đã trình bày các bước tính toán hệ số giạt và lực gió tác động lên bề mặt tấm bảng theo tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN 2737:1995), châu Âu (EN 1991-1-4) và Mỹ (ASCE/SEI 7-16), cũng như nội lực chân cột (gồm có mô men uốn, mô men xoắn và lực cắt). Thấy rằng, các tiêu chuẩn châu Âu và Mỹ có kể đến tác động xoắn lên bảng quảng cáo, tiêu chuẩn Việt Nam không xét đến hiệu ứng này. Kết quả tính theo 03 hệ thống tiêu chuẩn khác nhau khá xa, một phần là do sự chênh lệch về kết quả tính hệ số giạt.

Cần xây dựng cách tính toán tác động của gió theo hướng sử dụng hệ số giạt, như các nước hiện đang sử dụng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. TCVN 2737:1995 (1995). Tải trọng và Tác động - Tiêu chuẩn thiết kế. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
2. TCXDVN 229:1999 (1999). Chỉ dẫn tính toán thành phần động của tải trọng gió theo TCVN 2737:1995. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
3. Vũ Thành Trung, Nguyễn Quỳnh Hoa (2013). Đánh giá Profile vận tốc gió theo các tiêu chuẩn của một số nước. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, số 2, tr 3-11.
4. Vũ Thành Trung, Nguyễn Đại Minh (2018). Hệ số giạt và xác định tải trọng gió tác dụng lên kết cấu. Hội nghị khoa học quốc tế kỷ niệm 55 năm ngày thành lập Viện KHCN Xây dựng, tr 200-208.
5. ASCE/SEI 7-16. Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. Published by American Society of Civil Engineers 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia, 20191-4382.
6. EN 1991-1-4:2005+A1 (2010). Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions.
7. Designers' Guide to EN 1994-1-1. Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures. Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings. R. P. Johnson and D. Anderson. 0 7277 3151 3. Published 2004.
8. Davenport A.G. Gust Loading Factors / A.G. Davenport // Journal of Structural Division. - ASCE, 1967. - vol. 93. - № 3. - P. 11 - 34.
9. Dyrbye C., Hansen S.O. Wind Loads on Structures. New York: John Wiley & Sons. 1999. - 229 p. - ISBN 0-471-95651-1.

10. Mehta, Kishor C. (2013). Wind loads: guide to the wind load provisions of ASCE 7-10. Published by American Society of Civil Engineers 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia 20191 www.asce.org/pubs.
11. Holmes J.D (2015). Wind Loading of Structures. CRC Press Taylor & Francis Group.
12. Liepmann H.W. On the Application of Statistical Concepts to the Buffeting Problem / Aerodynamics Science, № 19. - 1952. - P. 793 - 822.
13. Sigmund, Carlo (2014). Worked Examples in accordance with European Standards CEN/TC 250: Structural Eurocodes (EN 1990/EN 1991).
14. Simiu E. Equivalent Static Wind Loads for Tall Buildings Design / Journal of the Structural Division, ASCE 102. - 1976. - P. 719 - 737.
15. Popov N.A. (2000). The wind load codification in Russia and some estimates of a gust load accuracy provided by different codes. Elsevier Science Ltd. All rights reserved. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 88 (2000) 171-181.
16. Eurocode 1 Wind load on signboards (force coefficient). <https://eurocodeapplied.com/design/en1991/wind-signboard>
17. Solari G., Repetto M.P. General Tendencies and Classification of Vertical Structures under Wind Loads / Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, № 90. - 2002. - P. 1299 - 1319.
18. Tamura Y., Kawai H., Uematsu Y., Marukawa H., Fujii K., Taniike Y. Wind Loads and Wind-induced Response Estimations in the Recommendations for Loads on Buildings, AIJ. Engineering Structures, № 18. - 1996. - P. 399 - 411
19. Zhou Y., Kareem A. Gust Loading Factor: New Model // Journal of Structural Engineering, Vol. 127, №2, February, 2001. - P. 168 - 175.
20. Vellozzi J., Cohen E. Gust Response Factors // J. Struct. Div., ASCE, 94, № ST6. Proc. Paper 5980. - 1968. - P. 129 - 1313.
21. Vickery, B.J. 1966. On the assessment of wind effects on elastic structures. Australian Civil Engineering Transactions, CE8: 183 - 92.
22. Vickery B.J. On the Reliability of Gust Loading Factors / Proc Techn Meet Concerning Wind Loads on Buildings and Structures. National Bureau of Standards, Washington, DC. - 1970. - P. 93 - 104.
23. Попов Н.А (2000). Рекомендации по уточненному динамическому расчету зданий и сооружений на действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки. Утверждены Научно-техническим Советом ЦНИИСК.
24. Бирбраер А. Н., Бирбраер, А. Ю. (2009). Экстремальные воздействия на сооружения. Издво Политехн. ун-та, 2009. - 594 с.
25. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. (с Изменениями N 1, 2).
26. Пичугин С.Ф., Махинько А.В., (2008). Предложения по нормированию коэффициента высоты сооружения в ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи". Бірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. - Випуск 1, 2008 р.
27. Пичугин С.Ф., Махинько А.В., (2011). Квазистатические методы динамического расчета сооружений башенного типа: прошлое, настоящее и перспективы развития. Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. - Випуск 5, 2010 р.