

Tính toán tải trọng gió lên ăng ten viễn thông theo tiêu chuẩn TIA-222-G

Design wind force on antennas from TIA-222-G standard

Phạm Thanh Hùng, Vũ Quốc Anh

Tóm tắt

Khi thiết kế tháp thép viễn thông, xác định tải trọng gió lên tháp thép viễn thông khá phức tạp đặc biệt là tải trọng gió lên ăng ten, tiêu chuẩn TCVN chưa có phần này. Tiêu chuẩn TIA-222-G giới thiệu đầy đủ phần tải gió tác dụng lên ăng ten. Việc chuyển đổi áp lực gió theo tiêu chuẩn TCVN sang vận tốc gió cơ sở để tính theo tiêu chuẩn TIA-222-G khá dễ dàng. Bài báo này trình bày lý thuyết tính toán áp lực gió lên công trình tháp trụ thép, tải gió lên ăng ten theo tiêu chuẩn TIA-222-G và một số ví dụ tính toán cụ thể như tính tải gió lên ăng ten RF, RRU, viba.

Từ khóa: Tải trọng gió, Tháp thép, Ăng ten, TIA-222-G

Abstract

In designing steel tower from Vietnam standard, the determination the wind force on antenna supporting structures, especially the wind force on antenna is complicated. The TIA-222-G standard introduces detail the design wind force on antennas. The determination basic wind speed from velocity pressure in Vietnam is simple. This paper introduces the theory to calculate the wind force on antenna supporting structures and the wind force on antenna from TIA-222-G standard, several examples has been realized to determination the wind force on different antenna (RF, RRU and microwave).

Key words: Wind force, Steel tower, Antenna, TIA-222-G

TS. Phạm Thanh Hùng

Bộ môn Kết cấu Thép – Gỗ, Khoa Xây dựng

Email: phamthanhhung.kxd@gmail.com

ĐT: 0948691886

PGS.TS. Vũ Quốc Anh

Bộ môn Kết cấu Thép – Gỗ, Khoa Xây dựng

ĐH Kiến trúc Hà Nội

Email: quocanhvu@gmail.com

Ngày nhận bài: 20/8/2019

Ngày sửa bài: 29/10/2019

Ngày duyệt đăng: 31/03/2021

1. Đặt vấn đề

Tại Việt Nam hiện nay, thiết kế tháp và trụ thép viễn thông có thể theo tiêu chuẩn Việt Nam và theo tiêu chuẩn nước ngoài. Việc thiết kế kết cấu tháp và trụ thép theo TCVN 5575:2012 [2] khá phức tạp, phần tính tải và tải trọng gió xác định theo TCVN 2737:1995 [3] còn chưa đầy đủ, đặc biệt chưa có phần xác định tải trọng gió lên ăng ten. TCVN chỉ nêu các nguyên tắc cơ bản, nhiều vấn đề chưa được đề cập trong tiêu chuẩn, do đó, khi thiết kế người thiết kế phải vận dụng nhiều nên kết quả tính toán phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm của người thiết kế. Thiết kế tháp thép theo tiêu chuẩn nước ngoài có thể theo tiêu chuẩn châu Âu hoặc tiêu chuẩn Mỹ nhưng phổ biến nhất là theo tiêu chuẩn Mỹ. Tiêu chuẩn Mỹ TIA-222-G [4] là tiêu chuẩn thiết kế tháp thép viễn thông theo hệ số tải trọng và hệ số sức kháng (Load and Resistance Factor Design, LRFD). Tiêu chuẩn TIA-222-G giới thiệu đầy đủ phần tải gió tác dụng lên ăng ten. Báo cáo này giới thiệu lý thuyết tính toán áp lực gió lên công trình tháp trụ thép, tải gió lên ăng ten theo tiêu chuẩn TIA-222-G và một số ví dụ tính toán cụ thể như tính tải gió lên ăng ten RF, RRU, viba.

2. Tải trọng gió lên ăng ten theo tiêu chuẩn TIA-222-G

2.1. Áp lực gió

Tải trọng gió được tính toán theo phương pháp tĩnh lực ngang tương đương. Áp lực gió theo độ cao xác định theo biểu thức sau:

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 I \quad (\text{N/m}^2) \quad (1)$$

Để xác định tải trọng gió tác dụng lên kết cấu, cần xác định các đại lượng sau:

- Vận tốc gió cơ sở V (m/s): Vận tốc gió lấy trung bình trong 3 giây với chu kỳ lặp là 50 năm ở độ cao 10 m so với mặt đất tại địa hình dạng C (tương ứng dạng B theo TCVN 2737:1995 [3]). Khi tính toán công trình trong điều kiện Việt Nam, cần phải quy đổi thông số tải trọng gió từ áp lực gió chuẩn (W_0) – tra được từ QCVN 02:2009/BXD [1] sang vận tốc gió cơ sở theo công thức sau:

$$V = \sqrt{\frac{1,2W_0}{0,0613}} \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

Vận tốc gió cơ sở V có thể tra theo Bảng 1;

- Hệ số xác suất hướng gió K_d xác định định theo Bảng 3;
- Hệ số tầm quan trọng I xác định theo Bảng 4 căn cứ theo phân loại kết cấu theo Bảng 2;
- Dạng địa hình và hệ số tính đến sự thay đổi của áp lực gió theo độ cao K_z phụ thuộc vào địa điểm xây dựng, xác định theo (3);
- Hệ số địa mạo K_{zt} được xác định theo 2.1.2;
- Hệ số gió giật G_h xác định theo 2.1.3.

(Bảng 1, Bảng 2, Bảng 3, Bảng 4)

2.1.1. Dạng địa hình

Dạng địa hình phản ánh đầy đủ các đặc trưng bất thường của bề mặt tại địa điểm xây dựng. Sự thay đổi của độ nhám bề mặt do địa mạo tự nhiên, cây cối, công trình xây dựng phải được xem xét. Dạng địa hình phải được phân loại thành một trong các dạng sau:

- Địa hình dạng B tương ứng địa hình dạng C theo TCVN;
- Địa hình dạng C tương ứng địa hình dạng B theo TCVN;
- Địa hình dạng D tương ứng địa hình dạng A theo TCVN.

Căn cứ vào dạng địa hình xác định theo, hệ số tính đến sự thay đổi của áp lực gió theo độ cao (K_z) được xác định theo công thức sau:

Bảng 1. Vận tốc gió cơ sở quy đổi từ giá trị áp lực gió theo bản đồ phân vùng áp lực gió trên lãnh thổ Việt Nam

Vùng áp lực gió trên bản đồ	Vùng I		Vùng II		Vùng III		Vùng IV	Vùng V
	IA	IB	IIA	IIB	IIIA	IIIB		
W_0 (daN/m ²)	55	65	83	95	110	125	155	185
V (m/s)	32,8	35,7	40,3	43,1	46,4	49,5	55,1	60,2

Bảng 2. Phân cấp kết cấu (Bảng 2-1, TIA-222-G2 [6])

Mô tả về kết cấu	Cấp kết cấu
Các kết cấu mà chiều cao, việc sử dụng hoặc vị trí của chúng có mức nguy hiểm thấp đối với đời sống con người và thiệt hại về tài sản trong trường hợp hư hỏng và/hoặc thường được sử dụng cho các dịch vụ lựa chọn và/hoặc khi chậm trễ trong việc khôi phục dịch vụ là chấp nhận được.	I
Các kết cấu mà chiều cao, việc sử dụng hoặc vị trí của chúng có mức nguy hiểm đáng kể đối với đời sống con người và/hoặc thiệt hại về tài sản trong trường hợp hư hỏng và/hoặc thường được sử dụng cho các dịch vụ có thể được cung cấp bởi các nguồn khác.	II
Các kết cấu mà chiều cao, việc sử dụng hoặc vị trí của chúng có mức nguy hiểm cao đối với đời sống con người và/hoặc thiệt hại về tài sản trong trường hợp hư hỏng và/hoặc thường được sử dụng cho truyền thông thiết yếu.	III

Bảng 3. Hệ số xác suất hướng gió, K_d (Bảng 2-3, TIA-222-G1 [5])

Loại kết cấu	Hệ số xác suất hướng gió, K_d
Kết cấu rỗng có mặt cắt ngang là hình tam giác, hình vuông hoặc hình chữ nhật bao gồm cả thiết bị phụ trợ	0,85
Kết cấu trụ dạng ống, kết cấu rỗng có hình dạng tiết diện khác, các thiết bị, thiết kế độ bền cho phần phụ trợ	0,95

Bảng 4. Hệ số tầm quan trọng, I (Bảng 2-3, TIA-222-G [4])

Cấp kết cấu	Tải trọng gió	Động đất
I	0,87	không áp dụng
II	1,00	1,00
III	1,15	1,50

Bảng 5. Các hệ số điều kiện địa hình (Bảng 2-4, TIA-222-G [4])

Dạng địa hình	Tương đương theo TCVN	z_g	α	K_{zmin}	K_e
B	C	366 m	7,0	0,70	0,90
C	B	274 m	9,5	0,85	1,00
D	A	213 m	11,5	1,03	1,10

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2/\alpha} \quad (3)$$

$$K_{zmin} \leq K_z \leq 2,01 \quad (4)$$

Trong đó:

z là chiều cao phía trên mặt đất tại vị trí chân kết cấu, m;
 z_g , α , K_{zmin} xác định theo dạng địa hình (xem Bảng 5).

2.1.2. Hệ số địa mạo

Hiệu ứng tăng tốc của gió khi thổi qua đồi, đỉnh núi, sườn dốc đứng tách biệt gây ra các thay đổi đột ngột so với địa mạo thông thường. Cần xét đến hiệu ứng này trong tải trọng gió tính toán.

Địa mạo được phân thành các loại sau:

- Loại 1: không làm thay đổi đột ngột địa hình tổng thể, ví dụ địa hình phẳng hoặc hơi gồ ghề, thì không cần xét đến sự tăng tốc của gió;

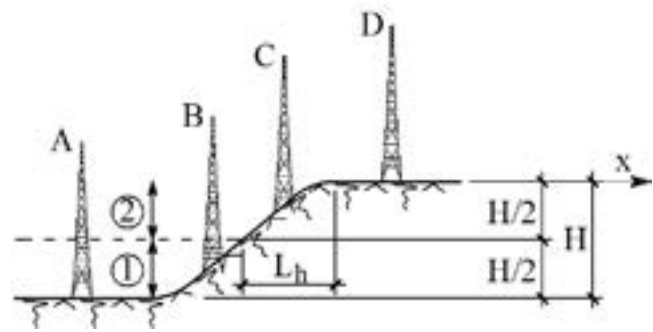
- Loại 2: kết cấu nằm tại hoặc ở gần đỉnh dốc. Cần xét đến sự tăng tốc của gió theo mọi hướng. Kết cấu nằm ở cao độ trong khoảng nửa dưới chiều cao sườn dốc hoặc nằm cách đỉnh (đồi, núi) hơn 8 lần chiều cao của sườn dốc, được xem là thuộc Loại 1;

- Loại 3: kết cấu nằm ở cao độ trong khoảng nửa trên của đồi. Cần xem xét hiệu ứng tăng tốc của gió cho tất cả các hướng. Kết cấu nằm ở cao độ trong khoảng nửa dưới chiều cao đồi được xem là thuộc Loại 1.

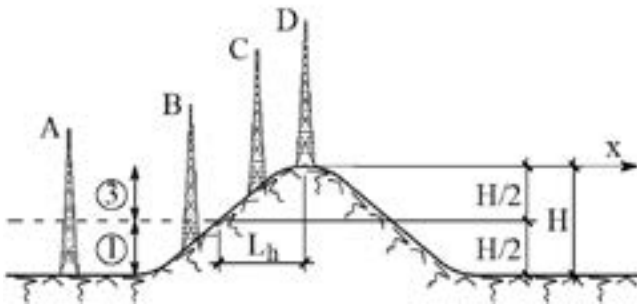
- Loại 4: kết cấu nằm trong khoảng nửa trên của đỉnh núi. Cần xem xét hiệu ứng tăng tốc của gió cho tất cả các hướng. Kết cấu nằm ở cao độ trong khoảng nửa dưới chiều cao đỉnh núi được xem là thuộc Loại 1.



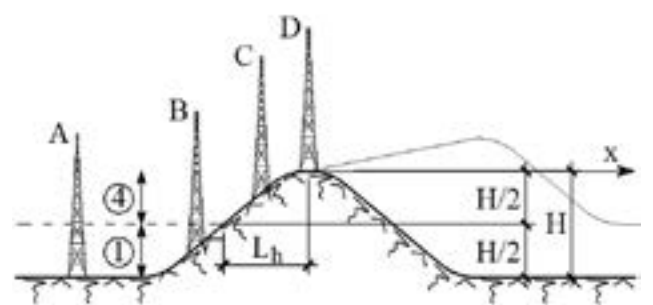
a) Địa mạo loại 1



b) Địa mạo loại 2 (C&D) và loại 1 (A&B)



c) Địa mạo loại 3 (C&D) và loại 1 (A&B)



d) Địa mạo loại 4 (C&D) và Loại 1 (A&B)



e) Địa mạo loại 5



Hình 1. Các loại địa mạo

• Loại 5: kết cấu nằm ở vùng có địa mạo phức tạp, hiệu ứng tăng tốc của gió dựa vào khảo sát hiện trường để xác định.

Hiệu ứng tăng tốc của gió được xét đến trong tính toán tải trọng gió thiết kế thông qua hệ số K_{zt} :

$$K_{zt} = \left[1 + \frac{K_e K_t}{K_h} \right]^2 \quad (5)$$

trong đó: K_h là hệ số giảm theo độ cao, xác định theo công thức sau:

$$K_h = e^{\left(\frac{f \times z}{H} \right)} \quad (6)$$

e là cơ số của logarit tự nhiên, $e = 2,718$;

K_e là hằng số địa hình, xác định theo Bảng 5;

K_t là hằng số địa mạo, xác định theo Bảng 6;

f là hệ số suy giảm theo độ cao, xác định theo Bảng 6;

z là chiều cao phía trên mặt đất tại vị trí nền của kết cấu;

H là chiều cao đỉnh (đồi, sườn dốc, đỉnh núi) so với địa hình xung quanh;

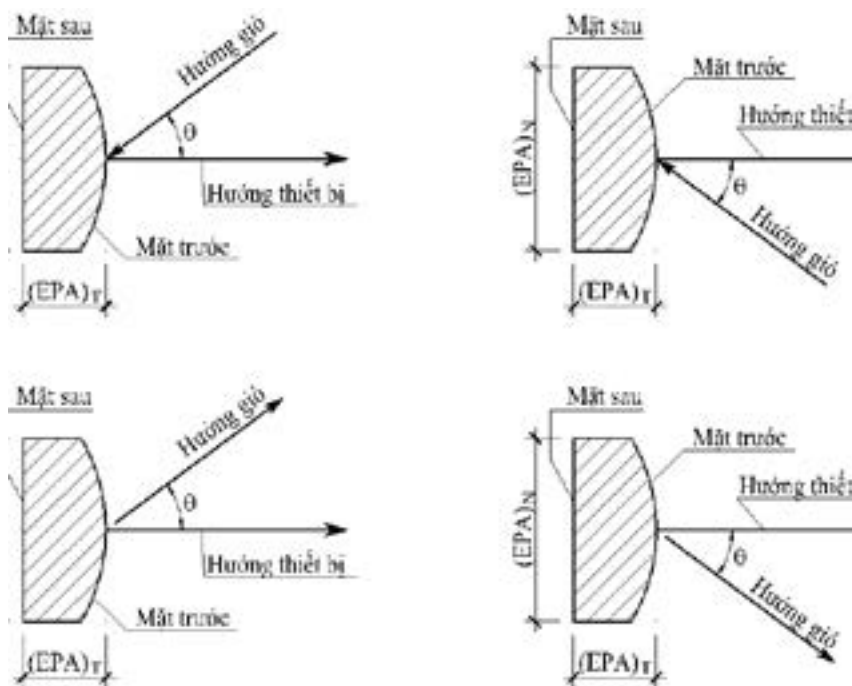
$K_{zt} = 1$ đối với địa mạo loại 1. Đối với địa mạo loại 5, K_{zt} cần căn cứ vào các nghiên cứu được công bố để xác định.

Bảng 6. Các hệ số địa mạo (Bảng 2-5, TIA-222-G [4])

Phân loại địa mạo	K_t	f
2	0,43	1,25
3	0,53	2,00
4	0,72	1,50

2.1.3. Hệ số gió giật

• Hệ số gió giật đối với kết cấu tháp dạng giàn: Đối với kết cấu tháp dạng giàn, hệ số gió giật lấy bằng $G_h = 1,0$ cho kết cấu có chiều cao lớn hơn hoặc bằng 183m. Đối với kết cấu có chiều cao nhỏ hơn hoặc bằng 137m, hệ số gió giật



Hình 2. Lực gió lên thiết bị

lấy bằng $G_h = 0,85$. Đối với kết cấu có chiều cao từ 137m đến 183m thì hệ số gió giật xác định theo các công thức sau:

$$G_h = 0,85 + 0,15 \left(\frac{h}{45,7} - 3,0 \right) \quad (7)$$

trong đó: h là chiều cao của kết cấu (m);

Lưu ý: Đối với kết cấu được đỡ bởi nhà hoặc kết cấu khác, chiều cao của kết cấu h không bao gồm chiều cao của kết cấu đỡ.

- Hệ số gió giật đối với cột dây co: $G_h = 0,85$;
- Hệ số gió giật đối với kết cấu cột đơn thân: $G_h = 1,1$;
- Hệ số gió giật đối với kết cấu được đỡ bởi các kết cấu khác: Đối với ống công-xôn hoặc trụ đỡ rỗng, trụ hoặc kết cấu tương tự gắn trên cột dây co hoặc kết cấu tháp dạng giàn, và đối với tất cả các kết cấu được đỡ bởi kết cấu mềm (tỷ số giữa chiều cao và chiều rộng lớn hơn 5), hệ số gió giật lấy bằng $G_h = 1,35$. Hệ số gió giật đối với kết cấu đỡ là cột dây co và kết cấu tháp dạng giàn được xác định như trên.

2.2. Lực gió tính toán lên ăng ten RF, RRU

Lực gió tính toán lên ăng ten RF, RRU được xác định theo công thức sau:

$$F_A = q_z G_h (EPA)_A \quad (8)$$

trong đó: q_z là áp lực gió tại chiều cao tâm của thiết bị;

G_h là hệ số gió giật, phụ thuộc vào loại kết cấu đỡ ăng ten, theo mục 2.1.3;

$(EPA)_A$ là diện tích hình chiếu hữu hiệu của thiết bị.

Tải trọng gió tính toán, F_A , được đặt vào tâm của diện tích hình chiếu của thiết bị theo hướng tác động của gió. Đối với thiết bị dạng thanh, chiều dài mà áp lực gió được xem là phân bố đều không được vượt quá chiều dài phân đoạn quy định.

Khi thiếu các số liệu chính xác để xác định diện tích hình chiếu hữu hiệu lên các phương tác động của tải trọng gió, thì

diện tích hình chiếu hữu hiệu $(EPA)_A$ của thiết bị có thể xác định theo công thức sau:

$$(EPA)_A = K_a [(EPA)_N \cos^2(\theta) + (EPA)_T \sin^2(\theta)] \quad (9)$$

trong đó: $K_a = 1,0$;

θ là góc tương đối giữa phương của thiết bị và hướng gió (xem Hình 2);

$(EPA)_N$ là diện tích hình chiếu hữu hiệu khi mặt đón gió vuông góc với phương của thiết bị;

$(EPA)_T$ là diện tích hình chiếu hữu hiệu khi mặt đón gió là mặt bên của thiết bị;

Trong trường hợp thiếu số liệu chính xác, thiết bị có thể được xem là bao gồm thành phần dạng phẳng và thành phần dạng tròn như sau:

$$(EPA)_N = \sum (C_a A_A)_N \quad (10)$$

$$(EPA)_T = \sum (C_a A_A)_T \quad (11)$$

trong đó: C_a là hệ số lực, xem Bảng 7;

A_A là diện tích hình chiếu của thiết bị.

2.3. Tải trọng đối với ăng ten viba điển hình

Tải trọng gió lên ăng ten viba điển hình (bao gồm cả ăng ten dạng lưới) được mô tả trong hệ trục ăng ten có gốc tại đỉnh của bộ phản xạ. Lực dọc F_{AM} tác động dọc theo trục tọa độ của ăng ten. Lực bên F_{SM} tác động vuông góc với trục tọa độ của ăng ten. Mômen xoắn M_M tác động trong mặt phẳng chứa F_{AM} và F_{SM} (xem Hình 3).

Trong tất cả các trường hợp, độ lớn của F_{AM} , F_{SM} , và M_M phụ thuộc vào áp lực gió, diện tích choán gió của ăng ten và đặc tính khí động của ăng ten. Đặc tính khí động của ăng ten thay đổi theo hướng gió. Các giá trị F_{AM} , F_{SM} , và M_M được xác định theo các phương trình sau:

$$F_{AM} = q_z G_h C_A A \quad (12)$$

$$F_{SM} = q_z G_h C_S A \quad (13)$$

$$M_M = q_z G_h C_M A D \quad (14)$$

Bảng 7. Hệ số lực (C_a) cho thiết bị (Bảng 2-8, TIA-222-G1 [5])

Loại cấu kiện		Tỷ số dài/rộng		
		$\leq 2,5$	$= 7$	≥ 25
		C_a	C_a	C_a
Dạng phẳng		1,2	1,4	2,0
Dạng tròn	$C < 4,4$ (dòng dưới tới hạn)	0,70	0,80	1,2
	$4,4 \leq C \leq 8,7$ (dòng tới hạn)	$\frac{1,43}{C^{0,485}}$	$\frac{1,47}{C^{0,415}}$	$\frac{5,23}{C^{1,0}}$
	$C > 8,7$ (dòng trên tới hạn)	0,50	0,50	0,50

trong đó:

$C = [IK_z K_{zt}]^{1/2} V \times D$, với đơn vị của D là m, và đơn vị của V là m/s;

V là vận tốc gió cơ sở trong trường hợp tải đang xét;

D là đường kính ngoài của thiết bị;

Tỷ số dài/rộng là tỷ số chiều dài với chiều rộng trong mặt phẳng vuông góc với hướng gió (Tỷ số dài/rộng không phụ thuộc vào khoảng cách giữa các điểm đỡ của thiết bị dạng tuyến tính và chiều dài phân đoạn mà tải trọng gió được xem là phân bố đều).

Bảng 9. Các thông số ăng ten RF, RRU

STT	Ăng ten	Kích thước			Cao độ z (m)	Hướng gió θ (°)
		Dài L (m)	Cao H (m)	Rộng W (m)		
1	RRU1	0.32	0.09	0.3	38	45°
2	RF1	1.3	0.09	0.2	39	45°
3	RRU2	0.4	0.16	0.3	46	75°
4	RF2	2.5	0.16	0.3	48	75°

trong đó:

q_z là áp lực gió tại đỉnh của ăng ten (xem mục 2.1.);

G_h là hệ số phản ứng giạt (xem mục 2.1.3) (phụ thuộc vào loại kết cấu đỡ ăng ten);

C_A , C_S và C_M là các hệ số khí động, phụ thuộc hướng gió (xem Bảng 8);

θ là hướng gió (xem Hình 3 cho các qui ước về chiều dương);

A là diện tích giới hạn đường bao của ăng ten;

D là đường kính của ăng ten.

(Bảng 8)

3. Ví dụ tính toán

3.1. Ví dụ 1 – Xác định tải trọng gió lên ăng ten RF, RRU

Xác định tải trọng gió lên ăng ten RF, RRU có các thông số như trong Bảng 9. Biết công trình là tháp dạng giàn cao 52 m xây dựng ở vùng gió IV, địa hình dạng D (tương ứng dạng A theo TCVN), địa mạo loại 1, hệ số tầm quan trọng $I=1$. (Bảng 9)

Xác định tải trọng gió lên ăng ten số 4 có các thông số: ăng ten RF2, $L = 2,5\text{m}$, $H = 0,16\text{m}$, $W = 0,3\text{m}$; cao độ $z = 48\text{m}$, góc hướng gió $\theta = 75^\circ$:

Tra Bảng 1, vận tốc gió cơ sở đối với vùng gió IV: $V = 55,1\text{m/s}$

Hệ số xác xuất hướng gió K_d xác định theo Bảng 3: $K_d = 0,95$;

Hệ số gió giạt G_h xác định theo 2.1.3, với chiều cao kết cấu $h < 137\text{m}$: $G_h = 0,85$;

Hệ số tính đến sự thay đổi của áp lực gió theo độ cao K_z , theo biểu thức (3):

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2/\alpha} = 2,01 \left(\frac{48}{213} \right)^{2/11,5} = 1,551$$

với địa hình dạng C, tra Bảng 5 được: $z_g = 213\text{m}$; $\alpha = 11,5$; $K_{zmin} = 1,03$.

Hệ số địa hình K_{zt} được xác định theo mục 2.1.2, với địa mạo loại 1: $K_{zt} = 1$;

Áp lực gió tại ăng-ten xác định theo biểu thức (1):

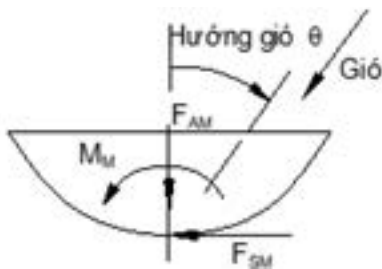
$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 I = 0,613 \cdot 1,551 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 55,1^2 \cdot 1 = 2742 \text{ N/m}^2$$

Diện tích hình chiếu hữu hiệu $(EPA)_N$ khi mặt đón gió vuông góc với phương của thiết bị (10):

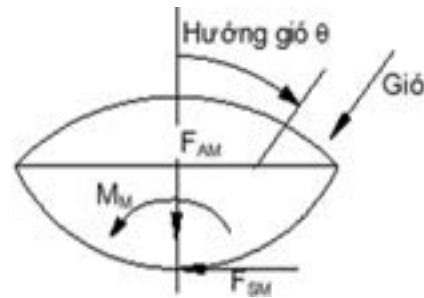
$$(EPA)_N = \sum (C_a A_a)_N = C_a \cdot L \cdot W = 1,44 \cdot 2,5 \cdot 0,3 = 1,083$$

với $L/W = 2,5/0,3 = 8,33$ tra Bảng 7 được $C_a = 1,44$.

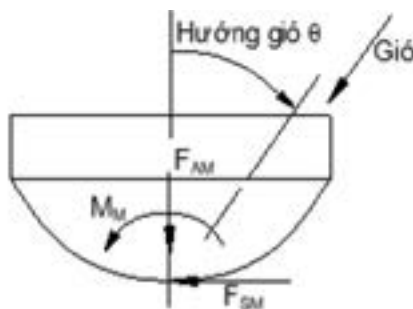
Diện tích hình chiếu hữu hiệu $(EPA)_T$ khi mặt đón gió vuông góc với phương của thiết bị (11):



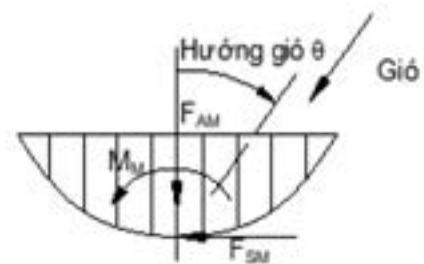
Loại 1 - Ăng ten viba không có vòm bọc



Loại 2 - Ăng ten viba có vòm bọc



Loại 3 - Ăng ten viba có vỏ che trụ



Loại 4 - Ăng ten viba có vỏ che trụ

Hình 3. Các lực gió lên ăng ten viba điển hình

$$(EPA)_T = \sum (C_a A_A)_T = C_a \cdot L \cdot H = 1,69 \cdot 2,5 \cdot 0,16 = 0,675$$

với $L/H = 2,5/0,15 = 8,33$ tra Bảng 7 được $C_a = 1,169$.

Diện tích hình chiếu hữu hiệu $(EPA)_A$ của ăng ten theo (9):

$$(EPA)_A = K_a [(EPA)_N \cos^2(\theta) + (EPA)_T \sin^2(\theta)] \\ = 1(1,083 \cdot \cos^2 75^\circ + 0,675 \cdot \sin^2 75^\circ) = 0,702 \text{ m}^2$$

Lực gió tính toán lên ăng ten số 4 xác định theo công thức (8) như sau:

$$F_A = q_z G_h (EPA)_A = 2742 \cdot 0,85 \cdot 0,702 = 1637 \text{ N}$$

Tính toán tương tự cho các ăng ten khác, kết quả tính toán cho trong Bảng 10.

3.1. Ví dụ 2 – Xác định tải trọng gió lên ăng ten viba

Xác định tải trọng gió lên ăng ten viba có các thông số như trong Bảng 11. Biết công trình là tháp dạng giàn cao 62m xây dựng ở vùng gió IIIB, địa hình dạng C (tương ứng dạng B theo TCVN), địa mạo loại 1, hệ số tầm quan trọng $I = 1$. (Bảng 11)

Xác định tải trọng gió lên ăng ten số 4 có các thông số: ăng ten Loại 3, $D = 3\text{m}$, cao độ $z = 45,32\text{ m}$, góc hướng gió $\theta = 135^\circ$:

Tra Bảng 1, vận tốc gió cơ sở đối với vùng gió IIIB: $V = 49,5\text{ m/s}$

Hệ số xác xuất hướng gió K_d xác định theo Bảng 3: $K_d = 0,95$;

Hệ số gió giật G_h xác định theo 2.1.3, với chiều cao kết

cấu $h < 137\text{m}$: $G_h = 0,85$;

Hệ số tính đến sự thay đổi của áp lực gió theo độ cao K_z , theo biểu thức (3):

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2/\alpha} = 2,01 \left(\frac{45,32}{274} \right)^{2/9,5} = 1,38$$

với địa hình dạng C, tra Bảng 5 được: $z_g = 274\text{m}$; $\alpha = 9,5$; $K_{zmin} = 0,85$.

Hệ số địa hình K_{zt} được xác định theo mục 2.1.2, với địa mạo loại 1: $K_{zt} = 1$;

Áp lực gió tại ăng ten xác định theo biểu thức (1):

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 I = 0,613 \cdot 1,38 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 49,5^2 \cdot 1 \\ = 1964 \text{ N/m}^2$$

Diện tích giới hạn đường bao của ăng ten:

$$A = \pi \cdot D^2 / 4 = 3,14 \cdot 3,0^2 / 4 = 7,065 \text{ m}^2$$

Tra Bảng 8 với ăng ten Loại 3 (ăng ten có vỏ che trụ), $\theta = 135^\circ$ được: $C_A = -0,897$; $C_S = 0,272$; $C_M = 0,085$.

Các giá trị tải tác dụng lên ăng ten, F_{AM} , F_{SM} , và M_M , được xác định theo các phương trình sau:

$$F_{AM} = q_z G_h C_A A = 1964 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 0,85 \cdot (-0,897) \cdot 7,065 \\ = -10,57 \text{ kN};$$

$$F_{SM} = q_z G_h C_S A = 1964 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 0,85 \cdot 0,272 \cdot 7,065 = 3,20 \text{ kN};$$

$$M_M = q_z G_h C_M A D = 1964 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 0,85 \cdot 0,085 \cdot 7,065 \cdot 3 \\ = 3,01 \text{ kNm}.$$

Tính toán tương tự cho các ăng ten khác, kết quả tính toán cho trong Bảng 12.

Bảng 8. Hệ số khí động cho ăng ten viba điển hình

Hướng gió θ (độ)	Ăng ten viba điển hình không có vòm bọc (Loại 1)			Ăng ten viba điển hình có vòm bọc (Loại 2)			Ăng ten viba điển hình có vỏ che trụ (Loại 3)			Ăng ten lưới viba điển hình (Loại 4)		
	C_A	C_S	C_M	C_A	C_S	C_M	C_A	C_S	C_M	C_A	C_S	C_M
0	1,5508	0,0000	0,0000	0,8633	0,0000	0,0000	1,2617	0,0000	0,0000	0,5352	0,0000	0,0000
10	1,5391	-0,0469	-0,0254	0,8594	0,1484	-0,0797	1,2617	0,0977	-0,0281	0,5234	0,1016	0,0168
20	1,5469	-0,0508	-0,0379	0,8203	0,2969	-0,1113	1,2500	0,1758	-0,0453	0,5078	0,1797	0,0289
30	1,5547	-0,0313	-0,0422	0,7617	0,4102	-0,1082	1,2109	0,2344	-0,0520	0,4609	0,2305	0,0383
40	1,5938	0,0078	-0,0535	0,6641	0,4883	-0,0801	1,1563	0,2813	-0,0488	0,4063	0,2617	0,0449
50	1,6641	0,0898	-0,0691	0,5469	0,5313	-0,0445	1,0859	0,3047	-0,0324	0,3438	0,2734	0,0496
60	1,6484	0,2422	-0,0871	0,4180	0,5000	-0,0008	0,9453	0,3672	-0,0086	0,2344	0,2813	0,0527
70	1,3672	0,4570	-0,0078	0,3125	0,4609	0,0508	0,6719	0,4766	0,0227	0,1289	0,2734	0,0555
80	0,7617	0,3789	0,1000	0,2266	0,4375	0,1047	0,2734	0,5820	0,0695	0,0391	0,2500	0,0492
90	-0,0117	0,3438	0,1313	0,1328	0,4063	0,1523	-0,1094	0,6250	0,0980	-0,0508	0,2422	0,0434
100	-0,4023	0,3828	0,1320	0,0313	0,3906	0,1695	-0,3438	0,6016	0,1125	-0,1172	0,2734	0,0469
110	-0,4609	0,4141	0,1340	-0,0664	0,3711	0,1648	-0,5391	0,5313	0,1141	-0,1875	0,2852	0,0504
120	-0,4570	0,4570	0,1430	-0,1641	0,3477	0,1578	-0,7109	0,4375	0,1039	-0,2656	0,2773	0,0512
130	-0,4688	0,4688	0,1461	-0,2930	0,3203	0,1395	-0,8594	0,3125	0,0926	-0,3359	0,2617	0,0496
140	-0,5742	0,4453	0,1320	-0,4102	0,3047	0,0906	-0,9336	0,2305	0,0777	-0,4063	0,2344	0,0445
150	-0,7734	0,3906	0,1086	-0,5195	0,2734	0,0516	-0,9570	0,1758	0,0617	-0,4766	0,2031	0,0371
160	-0,8672	0,2930	0,0836	-0,6016	0,2266	0,0246	-0,9727	0,1484	0,0438	-0,5469	0,1563	0,0273
170	-0,9453	0,1445	0,0508	-0,6563	0,1484	0,0086	-0,9961	0,0977	0,0230	-0,5859	0,0859	0,0148
180	-1,0547	0,0000	0,0000	-0,6914	0,0000	0,0000	-1,0156	0,0000	0,0000	-0,5938	0,0000	0,0000
190	-0,9453	-0,1445	-0,0508	-0,6563	-0,1484	-0,0086	-0,9961	-0,0977	-0,0230	-0,5859	-0,0859	-0,0148
200	-0,8672	-0,2930	-0,0836	-0,6016	-0,2266	-0,0246	-0,9727	-0,1484	-0,0438	-0,5469	-0,1563	-0,0273
210	-0,7734	-0,3906	0,1086	-0,5195	-0,2734	-0,0516	-0,9570	-0,1758	-0,0617	-0,4766	-0,2031	-0,0371
220	-0,5742	-0,4453	-0,1320	-0,4102	-0,3047	-0,0906	-0,9336	-0,2305	-0,0777	-0,4063	-0,2344	-0,0445
230	-0,4688	-0,4688	-0,1461	-0,2930	-0,3203	-0,1395	-0,8594	-0,3125	-0,0926	-0,3359	-0,2617	-0,0496
240	-0,4570	-0,4570	-0,1430	-0,1641	-0,3477	-0,1578	-0,7109	-0,4375	-0,1039	-0,2656	-0,2773	-0,0512
250	-0,4609	-0,4141	-0,1340	-0,0664	-0,3711	-0,1648	-0,5391	-0,5313	-0,1137	-0,1875	-0,2852	-0,0504
260	-0,4023	-0,3828	-0,1320	0,0313	-0,3906	-0,1695	-0,3438	-0,6016	-0,1125	-0,1172	-0,2734	-0,0469
270	-0,0117	-0,3438	-0,1313	0,1328	-0,4063	-0,1523	-0,1094	-0,6250	-0,0980	-0,0508	-0,2422	-0,0434
280	0,7617	-0,3789	-0,1000	0,2266	-0,4375	-0,1047	0,2734	-0,5820	-0,0695	0,0391	-0,2500	-0,0492
290	1,3672	-0,4570	0,0078	0,3125	-0,4609	-0,0508	0,6719	-0,4766	-0,0227	0,1289	-0,2734	-0,0555
300	1,6484	-0,2422	0,0871	0,4180	-0,5000	0,0008	0,9453	-0,3672	0,0086	0,2344	-0,2813	-0,0527
310	1,6641	-0,0898	0,0691	0,5469	-0,5313	0,0445	1,0859	-0,3047	0,0324	0,3438	-0,2734	-0,0496
320	1,5938	-0,0078	0,0535	0,6641	-0,4883	0,0801	1,1563	-0,2813	0,0488	0,4063	-0,2617	-0,0449
330	1,5547	0,0313	0,0422	0,7617	-0,4102	0,1082	1,2109	-0,2344	0,0520	0,4609	-0,2305	-0,0383
340	1,5469	0,0508	0,0379	0,8203	-0,2969	0,1113	1,2500	-0,1758	0,0453	0,5078	-0,1797	-0,0289
350	1,5391	0,0469	0,0254	0,8594	-0,1484	0,0797	1,2617	-0,0977	0,0281	0,5234	-0,1016	-0,0168

Bảng 10. Kết quả tính toán tải trọng gió lên ăng ten RF, RRU

STT	Ăng ten	Cao độ z (m)	Hướng gió θ (°)	K_z	q_z (N/m ²)	(EPA) _N (m ²)	(EPA) _T (m ²)	(EPA) _A (m ²)	F_A (N)
1	RRU1	38	45°	1.49	2633	0,115	0,036	0,076	169
2	RF1	39	45°	1.50	2645	0,358	0,193	0,276	620
3	RRU2	46	75°	1.54	2722	0,144	0,077	0,081	188
4	RF2	48	75°	1.55	2742	1,083	0,675	0,702	1637

Bảng 11. Các thông số ăng ten viba

STT	Loại ăng ten	Đường kính D (m)	Cao độ z (m)	Hướng gió θ (°)
1	Loại 2	0.6	24	45°
2	Loại 1	0.9	39	90°
3	Loại 4	1.8	47	315°
4	Loại 3	3.0	45.32	135°

Bảng 12. Kết quả tính toán tải trọng gió lên ăng ten viba

STT	Ăng ten	K_z	q_z (N/m ²)	C_A	C_S	C_M	F_{AM} (kN)	F_{SM} (kN)	M_M (kNm)
1	Loại 2	1.20	1718	0.606	0.510	-0.062	0.25	0.21	-0.02
2	Loại 1	1.33	1903	-0.012	0.344	0.131	-0.01	0.35	0.12
3	Loại 4	1.39	1979	0.375	-0.268	-0.047	1.60	-1.14	-0.36
4	Loại 3	1.38	1964	-0.897	0.272	0.085	-10.57	3.20	3.01

Nhận xét: Việc tính gió lên ăng ten theo TIA-222-G sử dụng công thức và bảng tra có thể tính toán tải trọng gió cho nhiều dạng ăng ten khác nhau (RF, RRU và ăng ten viba).

4. Kết luận

Bài báo trình bày lý thuyết tính toán áp lực gió lên công trình tháp trụ thép, tải gió lên ăng ten theo tiêu chuẩn TIA-222-G và một số ví dụ tính toán cụ thể như tính tải gió lên ăng ten RF, RRU, viba.

Tải trọng gió theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737:1995 xác định căn cứ vào vận tốc gió 3 giây, tại độ cao 10 m tính từ mặt đất, địa hình dạng B, chu kỳ lặp 20 năm, khác với tiêu chuẩn TIA-222-G tính với vận tốc gió cơ sở: 3 giây, độ cao

10 m, địa hình tương đương dạng B theo tiêu chuẩn Việt Nam, chu kỳ lặp 50 năm. Tuy nhiên, có thể chuyển đổi dễ dàng từ áp lực gió tiêu chuẩn theo tiêu chuẩn Việt Nam sang vận tốc gió cơ sở.

Theo TCVN, khi công trình cao trên 40m phải tính gió động, việc tính tải trọng gió động khá phức tạp, phải tính toán thông qua phân tích động lực học của kết cấu. Theo tiêu chuẩn TIA-222-G tải trọng gió quy về tĩnh lực ngang tương đương với việc đưa vào hệ số gió giật G_h , việc xác định hệ số gió giật G_h đơn giản theo mục 2.1.3

Lý thuyết tính toán tải gió lên ăng ten khá đầy đủ và đơn giản, có thể tính toán tải gió hầu hết các ăng ten điển hình trong khi TCVN chưa có phần này./.

Tài liệu tham khảo

1. QCVN 02:2009/BXD, Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia. Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng.
2. TCVN 5575:2012, Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế.
3. TCVN 2737:1995, Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế.
4. ANSI/TIA-222-G, Structural Standard for Antenna, Supporting Structures and Antennas, 2006.
5. ANSI/TIA-222-G1, Structural Standard for Antenna, Supporting Structures and Antennas – Addendum 1, 2007.
6. ANSI/TIA-222-G2, Structural Standard for Antenna, Supporting Structures and Antennas – Addendum 2, 2009.