

Расчёт ветровой нагрузки по СП 20.13330.2016

тип местности

$ter := \text{“B”}$

сооружение

$bld := \text{“Здание”}$

размер здания в направлении расчетного ветра

$a := 31 \text{ м}$

размер здания в направлении перпендикулярном
расчетному направлению ветра

$d := 60 \text{ м}$

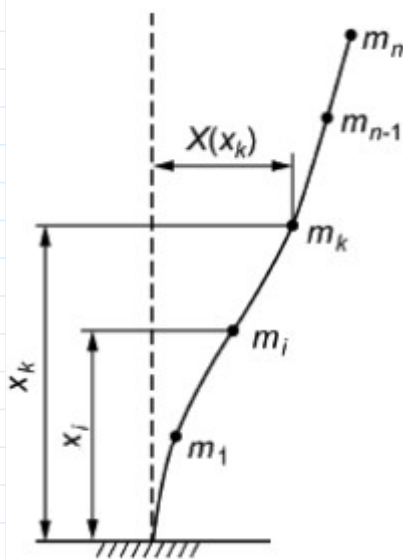
коэффициент надёжности по нагрузке ветра

$\gamma_f := 1.4$

ширина сбора нагрузок

$s_c := 6.9 \text{ м}$

Расчётная динамическая
модель РДМ



Модуль упругости бетона

$E := 42000 \text{ МПа}$

Плотность бетона

$\gamma_b := 2750 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

h_i высота этажа

M_p массы

A_t площадь

I_t момент инерции

<i>Story</i>	h_i	A_t	I_t	M_p
	(<i>m</i>)	(<i>m</i> ²)	(<i>m</i> ⁴)	(<i>tonne</i>)
0	8	514.8	10698.055	9800.05
1	4.2	514.8	10698.055	9800.05
2	4.2	514.8	10698.055	6841.237
3	4.2	514.8	10698.055	6841.237
4	4.2	514.8	10698.055	6841.237
5	4.2	514.8	10698.055	6841.237
6	4.2	514.8	10698.055	6841.237
7	4.2	514.8	10698.055	6841.237
8	4.2	514.8	10698.055	6841.237
9	4.2	514.8	10698.055	6841.237
10	4.2	514.8	10698.055	6841.237
11	4.2	514.8	10698.055	6841.237
12	4.2	514.8	10698.055	6841.237
13	4.2	514.8	10698.055	6841.237
14	4.2	514.8	10698.055	6841.237
15	4.2	514.8	10698.055	6841.237
16	4.2	514.8	10698.055	6841.237
17	4.2	514.8	10698.055	6841.237
18	4.2	514.8	10698.055	6841.237
19	4.2	514.8	10698.055	6841.237
20	4.2	514.8	10698.055	6841.237
21	4.2	514.8	10698.055	6841.237
22	4.2	514.8	10698.055	6841.237
23	4.2	514.8	10698.055	6841.237
24	4.2	514.8	10698.055	6841.237
25	4.2	514.8	10698.055	6841.237
26	4.2	514.8	10698.055	6841.237
27	4.2	514.8	10698.055	6841.237
28	4.2	514.8	10698.055	6841.237
29	4.2	507.96	10579.401	6797.785
30	4.2	507.96	10579.401	6754.334
31	4.2	507.96	10579.401	6754.334
32	4.2	507.96	10579.401	6754.334

33	4.2	507.96	10579.401	6754.334
34	4.2	507.96	10579.401	6754.334
35	4.2	507.96	10579.401	6754.334
36	4.2	507.96	10579.401	6754.334
37	4.2	507.96	10579.401	6754.334
38	4.2	507.96	10579.401	6754.334
39	3.6	507.96	10579.401	6293.361
40	3.6	507.96	10579.401	5832.387
41	3.6	507.96	10579.401	5832.387
42	3.6	507.96	10579.401	5832.387
43	3.6	507.96	10579.401	5832.387
44	3.6	507.96	10579.401	5832.387
45	3.6	507.96	10579.401	5832.387
46	3.6	507.96	10579.401	5832.387
47	3.6	507.96	10579.401	5832.387
48	3.6	507.96	10579.401	5832.387
49	3.6	507.96	10579.401	5832.387
50	3.6	507.96	10579.401	5832.387
51	3.6	507.96	10579.401	5832.387
52	3.6	507.96	10579.401	5832.387
53	3.6	507.96	10579.401	5832.387
54	3.6	507.96	10579.401	5832.387
55	3.6	507.96	10579.401	5832.387
56	3.6	507.96	10579.401	5832.387
57	3.6	507.96	10579.401	5832.387
58	3.6	507.96	10579.401	5832.387
59	3.6	507.96	10579.401	5832.387
60	3.6	507.96	10579.401	5832.387
61	3.6	507.96	10579.401	5832.387
62	3.6	507.96	10579.401	5832.387
63	3.6	507.96	10579.401	5832.387
64	3.6	507.96	10579.401	5832.387
65	3.6	507.96	10579.401	5832.387
66	3.6	507.96	10579.401	5832.387
67	3.6	507.96	10579.401	5832.387
68	3.6	507.96	10579.401	5832.387

69	3.6	507.96	10579.401	5832.387
70	3.6	507.96	10579.401	5832.387
71	3.6	507.96	10579.401	5832.387
72	3.6	507.96	10579.401	5832.387
73	3.6	507.96	10579.401	5832.387
74	3.6	507.96	10579.401	5832.387
75	3.6	507.96	10579.401	5832.387
76	3.6	507.96	10579.401	5832.387
77	3.6	507.96	10579.401	5832.387
78	3.6	507.96	10579.401	5832.387
79	3.6	507.96	10579.401	5832.387
80	3.6	507.96	10579.401	5832.387
81	3.6	507.96	10579.401	5832.387
82	3.6	507.96	10579.401	5832.387
83	3.6	498.84	10421.139	5832.387
84	3.6	498.84	10421.139	5782.729
85	3.6	498.84	10421.139	5733.07
86	3.6	498.84	10421.139	5733.07
87	3.6	498.84	10421.139	5733.07
88	3.6	498.84	10421.139	5733.07
89	3.6	498.84	10421.139	5733.07
90	3.6	498.84	10421.139	5733.07
91	3.6	498.84	10421.139	5733.07
92	3.6	498.84	10421.139	5733.07
93	3.6	498.84	10421.139	5733.07
94	3.6	498.84	10421.139	5733.07
95	3.6	498.84	10421.139	5733.07
96	3.6	498.84	10421.139	5733.07
97	3.6	498.84	10421.139	5733.07
98	3.6	498.84	10421.139	5733.07
99	3.6	498.84	10421.139	5733.07
100	3.6	498.84	10421.139	5733.07
101	3.6	498.84	10421.139	5733.07
102	3.6	498.84	10421.139	5733.07
103	3.6	498.84	10421.139	5733.07

104	3.6	498.84	10421.139	5733.07
105	3.6	498.84	10421.139	5733.07
106	3.6	498.84	10421.139	5733.07

$$n := \text{rows}(h_i) = 107$$

Отметки этажей

$$x_i := \left\| \begin{array}{l} x_0 \leftarrow 0 \text{ } m \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ \left\| \begin{array}{l} x_i \leftarrow x_0 + h_{i_i} \\ x_0 \leftarrow x_i \end{array} \right\| \\ x \end{array} \right\|$$

Общая длина $L := x_{i_{n-1}} = 412.4 \text{ } m$

Матрица масс

$$M := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \left\| M_{i,i} \leftarrow M_{p_i} \right\| \\ M \end{array} \right\|$$

Моменты от единичных сил

$$M_i(x, xi, S) := \left\| \begin{array}{l} \text{if } x \leq xi \\ \left\| Mi \leftarrow S \cdot xi - S \cdot x \right\| \\ \text{else} \\ \left\| Mi \leftarrow 0 \text{ } kN \cdot m \right\| \\ Mi \end{array} \right\|$$

Матрица податливости

$$\Delta := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0..n-1 \\ \left\| \Delta_{i,j} \leftarrow \int_0^L \frac{M_i(x, x_{i_i}, 1 \text{ } \textcolor{blue}{kN}) \cdot M_i(x, x_{i_j}, 1 \text{ } \textcolor{blue}{kN})}{E \cdot I_{t_i}} dx \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| \Delta$$

$$D := \Delta \cdot M$$

Собственные значения

$$\lambda := \text{eigenvals}(D)$$

Круговая частота

$$\omega := \sqrt{\frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\textcolor{blue}{tonne} \cdot \textcolor{blue}{m}}{\textcolor{blue}{s}^2}}$$

Период

$$T := \frac{2 \cdot \textcolor{green}{\pi}}{\omega}$$

Техническая частота

$$f := \frac{\omega}{2 \cdot \textcolor{green}{\pi}}$$

Собственные векторы

$$U := \text{eigenvecs}(D)$$

$$vx := \text{stack}(0, x_i)$$

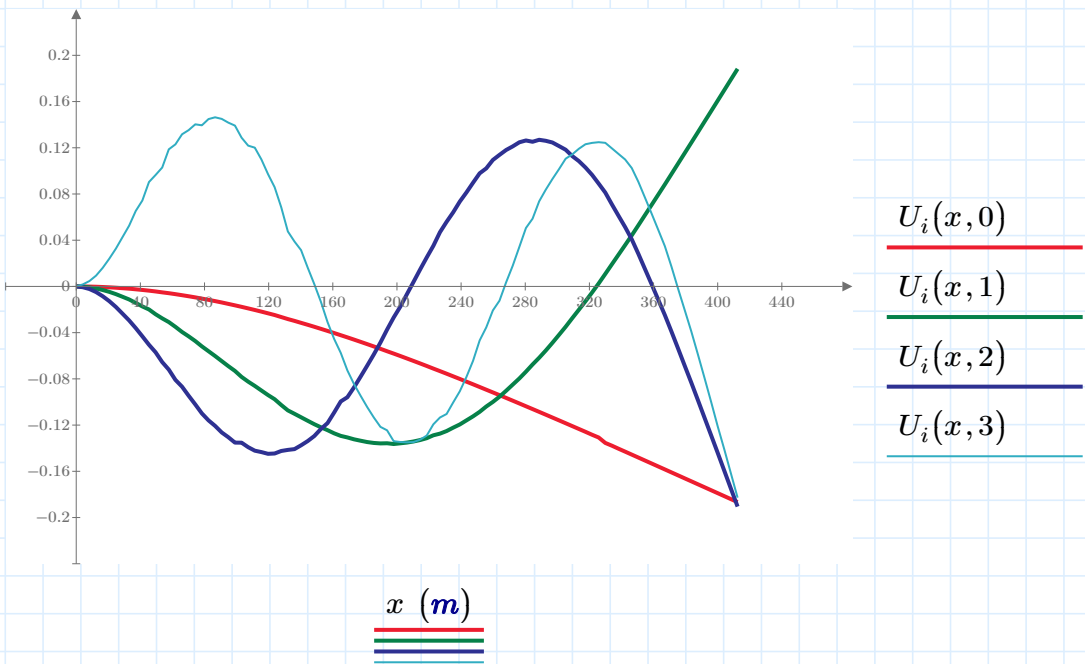
$$vy := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \left\| vy_i \leftarrow \text{stack}(0, U^{(i)}) \right\| \end{array} \right\| vy$$

$$ci(i) := \text{cspline}(vx, vy_i)$$

$$U_i(x, i) := \text{interp}(ci(i), vx, vy_i, x)$$

Формы колебаний

$x := 0 \text{ } m, \frac{L}{100} .. L$



Периоды собственных колебаний

$T_0 = 18.507 \text{ } s$

$T_1 = 2.955 \text{ } s$

$T_2 = 1.05 \text{ } s$

$T_3 = 0.535 \text{ } s$

Частоты собственных колебаний

$f_0 = 0.054 \text{ } Hz$

$f_1 = 0.338 \text{ } Hz$

$f_2 = 0.952 \text{ } Hz$

$f_3 = 1.87 \text{ } Hz$

$\Delta z := 0.15 \text{ } m$

высота от поверхности земли

$h := x_{i_{n-1}} + \Delta z = 412.55 \text{ } m$

Нормативное значение ветрового давления

Таблица 11.1

<i>Ia</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>
(<i>kPa</i>)	(<i>kPa</i>)	(<i>kPa</i>)	(<i>kPa</i>)	(<i>kPa</i>)	(<i>kPa</i>)	(<i>kPa</i>)	(<i>kPa</i>)
0.17	0.23	0.3	0.38	0.48	0.6	0.73	0.85

$$w_0 := I = 230 \text{ Pa}$$

Коэффициент *k*

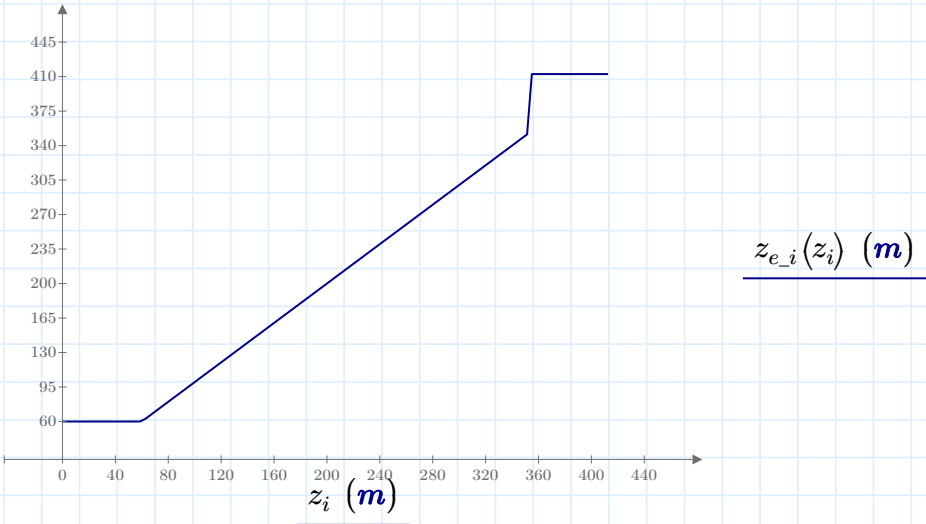
Таблица 11.2

<i>z_{ei}</i>	<i>A2</i>	<i>B2</i>	<i>C2</i>
(<i>m</i>)			
0	0.5	0.35	0.4
5	0.75	0.5	0.4
10	1	0.65	0.4
20	1.25	0.85	0.55
40	1.5	1.1	0.8
60	1.7	1.3	1
80	1.85	1.45	1.15
100	2	1.6	1.25
150	2.25	1.9	1.55
200	2.45	2.1	1.8
250	2.65	2.3	2
300	2.75	2.5	2.2
350	2.85	2.7	2.4
400	2.95	2.9	2.6
450	3.05	3.1	2.8
500	3.15	3.3	3

$$z_e(z, d, h) := \begin{cases} \text{if } bld = \text{"Здание"} \\ \quad \text{if } h \leq z \\ \quad \quad z_e \leftarrow h \\ \quad \text{else if } d < h \leq 2 \cdot d \\ \quad \quad \text{if } z \geq h - d \\ \quad \quad \quad z_e \leftarrow h \\ \quad \quad \text{else if } 0 < z < h - d \\ \quad \quad \quad z_e \leftarrow d \\ \quad \quad \text{else} \\ \quad \quad \quad z_e \leftarrow z \\ \quad \text{else if } h > 2 \cdot d \\ \quad \quad \text{if } z \geq h - d \\ \quad \quad \quad z_e \leftarrow h \\ \quad \quad \text{else if } d < z < h - d \\ \quad \quad \quad z_e \leftarrow z \\ \quad \quad \text{else if } 0 \leq z \leq d \\ \quad \quad \quad z_e \leftarrow d \\ \quad \quad \text{else} \\ \quad \quad \quad z_e \leftarrow z \\ \text{else} \\ \quad z_e \end{cases}$$

$z_i := \text{stack} \left(0, \left(x_i + \Delta z \right) \right)$
 $n_z := \text{rows} \left(z_i \right)$
 $z_{e_i}(z) := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0 \dots n_z - 1 \\ \left\| z_i \leftarrow z_e \left(z_i, d, h \right) \right\| \\ z \end{array} \right\|$

Эквивалентная высота

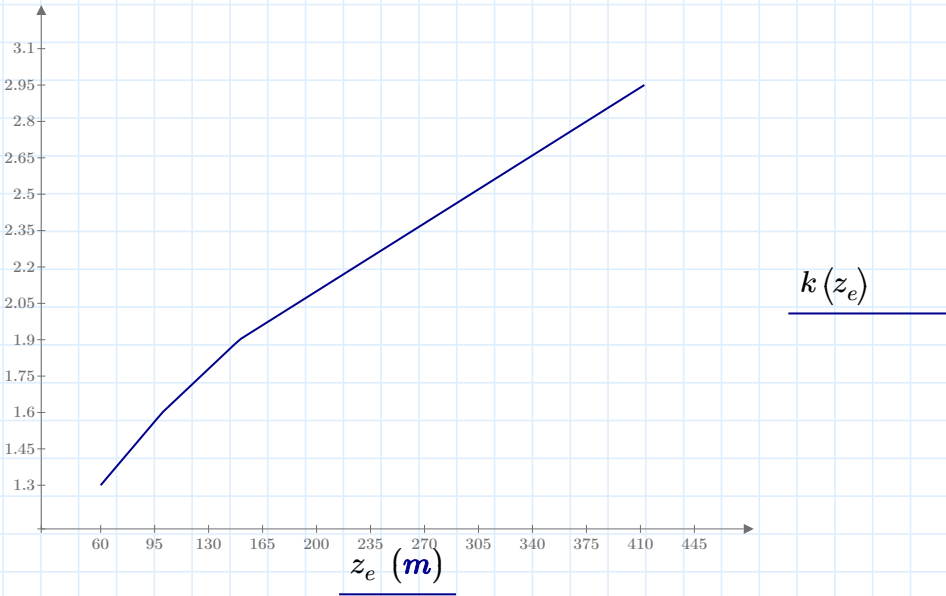


$z_e := z_{e_i} \left(z_i \right)$

$k \left(z \right) := \text{linterp} \left(z_{ei}, B2, z \right)$

Коэффициенты k

$k \left(z_{e_n} \right) = 2.95$



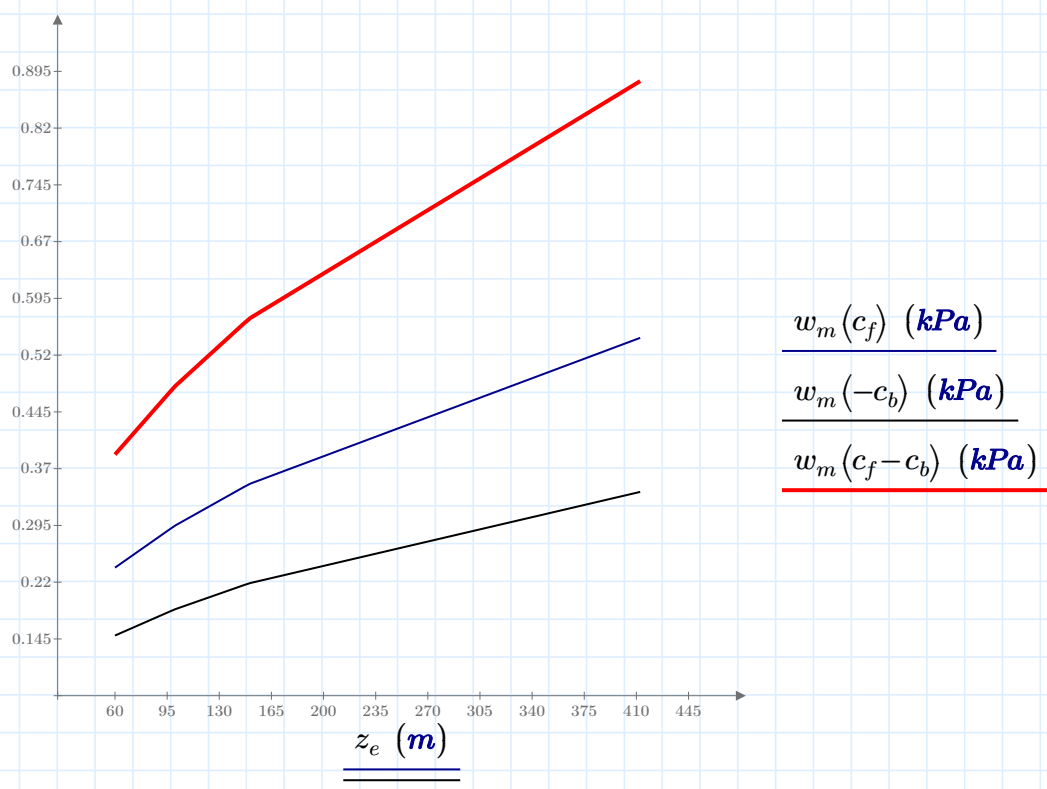
аэродинамический коэффициент

$$c_f := 0.8$$

$$c_b := -0.5$$

Нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки

$$w_m(c) := w_0 \cdot k(z_e) \cdot c$$



$$w_m(c_f - c_b)_n = 0.882 \text{ kPa}$$

Нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки

$$w_m(c_f - c_b)_n \cdot s_c \cdot h_{i_{n-1}} = 21.912 \text{ kN}$$

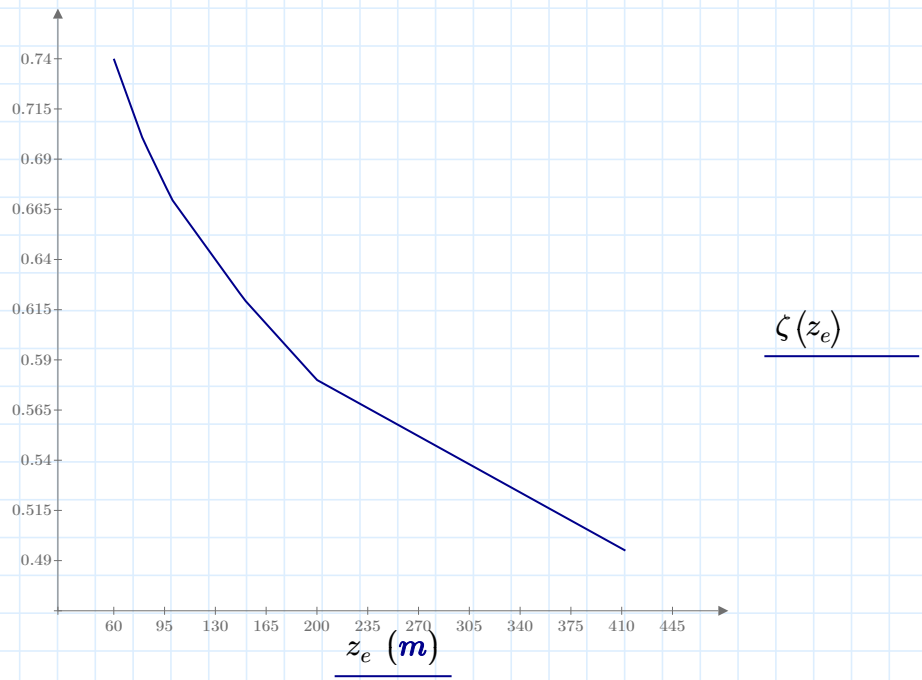
Коэффициент пульсаций давления ветра ζ

$A4$ $B4$ $C4$

Таблица 11.4

0.94	1.38	1.78
0.85	1.22	1.78
0.76	1.06	1.78
0.69	0.92	1.5
0.62	0.8	1.26
0.58	0.74	1.14
0.56	0.7	1.06
0.54	0.67	1
0.51	0.62	0.9
0.49	0.58	0.84
0.47	0.56	0.8
0.46	0.54	0.76
0.45	0.52	0.72
0.44	0.5	0.68
0.43	0.48	0.64
0.42	0.46	0.6

$$\zeta(z) := \text{linterp}(z_{ei}, B4, z_e)$$

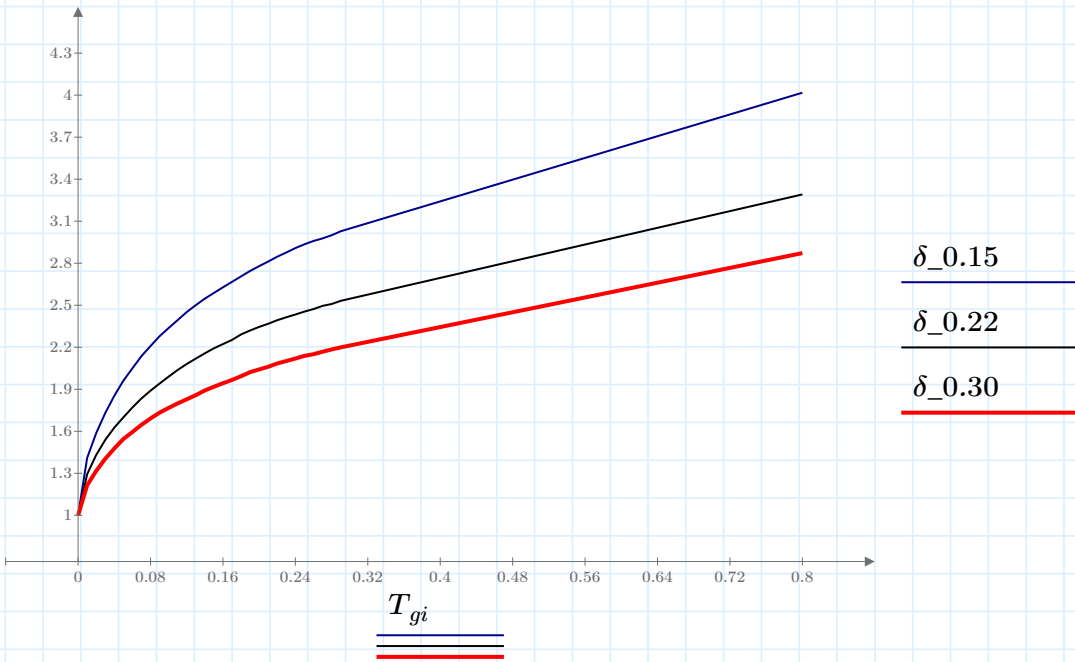


T_{gi}	$\delta_{0.15}$	$\delta_{0.22}$	$\delta_{0.30}$
0	1	1	1
0.01	1.4102	1.2935	1.2144
0.02	1.5868	1.4312	1.3171
0.03	1.7304	1.5389	1.4037
0.04	1.8536	1.6261	1.4771
0.05	1.9613	1.6994	1.5449
0.06	2.0496	1.7698	1.5948
0.07	2.1368	1.8345	1.6461
0.08	2.2086	1.8899	1.6916
0.09	2.2789	1.9408	1.733
0.1	2.3373	1.9902	1.7668
0.11	2.3942	2.038	1.7991
0.12	2.4514	2.0803	1.8284
0.13	2.5007	2.1192	1.8578
0.14	2.5472	2.1567	1.8916
0.15	2.5876	2.1926	1.918
0.16	2.628	2.2225	1.943
0.17	2.6669	2.2524	1.9666
0.18	2.7059	2.2914	1.9931
0.19	2.7448	2.3199	2.0224
0.2	2.7792	2.3453	2.0415
0.21	2.8122	2.3677	2.0607
0.22	2.8466	2.3932	2.0841
0.23	2.8765	2.4141	2.1017
0.24	2.908	2.4337	2.1194
0.25	2.935	2.4546	2.1386
0.26	2.9589	2.4726	2.1504
0.27	2.9771	2.4953	2.168
0.28	2.9995	2.5087	2.1842
0.29	3.028	2.5312	2.199
0.3	3.0474	2.5461	2.2122
0.31	3.0668	2.561	2.2254
0.32	3.0862	2.5759	2.2386

0.32	3.0002	2.6100	2.2000
0.33	3.1056	2.5908	2.2518
0.34	3.125	2.6057	2.265
0.35	3.1444	2.6206	2.2782
0.36	3.1638	2.6355	2.2914
0.37	3.1832	2.6504	2.3046
0.38	3.2026	2.6653	2.3178
0.39	3.222	2.6802	2.331
0.4	3.2414	2.6951	2.3442
0.41	3.2608	2.71	2.3574
0.42	3.2802	2.7249	2.3706
0.43	3.2996	2.7398	2.3838
0.44	3.319	2.7547	2.397
0.45	3.3384	2.7696	2.4102
0.46	3.3578	2.7845	2.4234
0.47	3.3772	2.7994	2.4366
0.48	3.3966	2.8143	2.4498
0.49	3.416	2.8292	2.463
0.5	3.4354	2.8441	2.4762
0.51	3.4548	2.859	2.4894
0.52	3.4742	2.8739	2.5026
0.53	3.4936	2.8888	2.5158
0.54	3.513	2.9037	2.529
0.55	3.5324	2.9186	2.5422
0.56	3.5518	2.9335	2.5554
0.57	3.5712	2.9484	2.5686
0.58	3.5906	2.9633	2.5818
0.59	3.61	2.9782	2.595
0.6	3.6294	2.9931	2.6082
0.61	3.6488	3.008	2.6214
0.62	3.6682	3.0229	2.6346
0.63	3.6876	3.0378	2.6478
0.64	3.707	3.0527	2.661
0.65	3.7264	3.0676	2.6742
0.66	3.7458	3.0825	2.6874
0.67	3.7652	3.0974	2.7006

0.68	3.7846	3.1123	2.7138
0.69	3.804	3.1272	2.727
0.7	3.8234	3.1421	2.7402
0.71	3.8428	3.157	2.7534
0.72	3.8622	3.1719	2.7666
0.73	3.8816	3.1868	2.7798
0.74	3.901	3.2017	2.793
0.75	3.9204	3.2166	2.8062
0.76	3.9398	3.2315	2.8194
0.77	3.9592	3.2464	2.8326
0.78	3.9786	3.2613	2.8458
0.79	3.998	3.2762	2.859
0.8	4.0174	3.2911	2.8722

Коэффициенты динамичности ξ

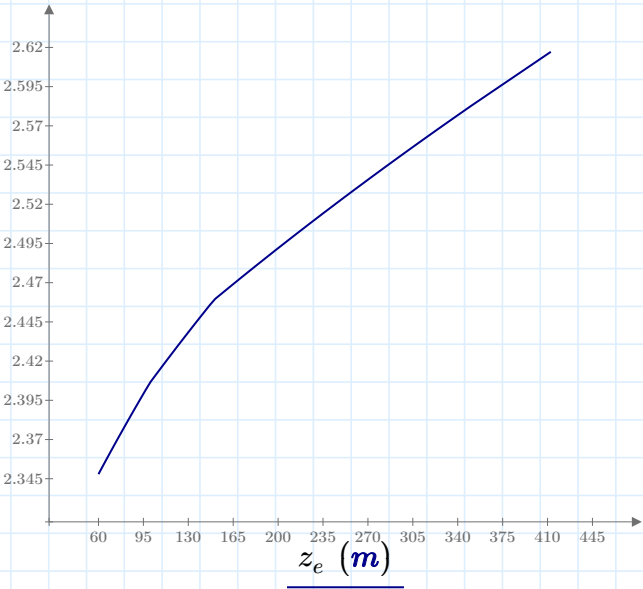


$$T_{g1}(z) := \frac{\sqrt{w_0 \cdot k(z) \cdot \gamma_f \cdot \frac{m^2}{N}}}{940 \cdot f_0 \cdot s}$$

$$\xi(z) := \text{linterp} \left(T_{gi}, \delta_{0.30}, T_{g1}(z) \right)$$

Коэффициенты динамичности ξ

$$T_{g1}(z_e)_n = 0.607$$



$$\xi(z_e)$$

$$\xi(z_e)_n = 2.617$$

$$T_{glim} := 0.023 \text{ s}$$

$$f_{lim}(z) := \frac{\sqrt{w_0 \cdot k(z) \cdot \gamma_f \cdot \frac{m^2}{N}}}{940 \cdot T_{glim}}$$

Предельное значение частоты
собственных колебаний

$$f_{lim}(z_e)_n = 1.426 \text{ Hz}$$



$$f_{lim}(z_e) (Hz)$$

Коэффициент корреляции ν

Таблица 11.6

ρ_i (<i>m</i>)	χ_{-5}	χ_{-10}	χ_{-20}	χ_{-40}	χ_{-80}	χ_{-160}	χ_{-350}	χ_{-700}
0.1	0.95	0.92	0.88	0.83	0.76	0.67	0.56	0.45
5	0.89	0.87	0.84	0.8	0.73	0.65	0.54	0.43
10	0.85	0.84	0.81	0.77	0.71	0.64	0.53	0.42
20	0.8	0.78	0.76	0.73	0.68	0.61	0.51	0.41
40	0.72	0.72	0.7	0.67	0.63	0.57	0.48	0.39
80	0.63	0.63	0.61	0.59	0.56	0.51	0.44	0.37
160	0.53	0.53	0.52	0.5	0.47	0.44	0.38	0.32
320	0.43	0.43	0.43	0.41	0.38	0.37	0.32	0.27
640	0.33	0.33	0.34	0.32	0.29	0.28	0.26	0.22

Основная система координат при
определении коэффициента корреляции ν

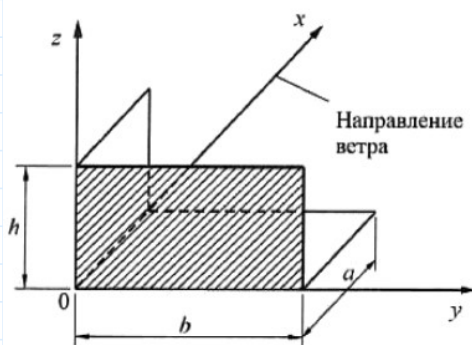


Таблица 11.7

	mcs	ρ_s	χ_s
$b := d$			
$\rho := b$	"Z0Y"	"b"	"h"
$\chi := h$	"Z0X"	"0.4*a"	"h"
	"X0Y"	"b"	"a"


```

ν := || if χ ≤ 5 m
      || ν ← linterp (ρi, χ-5, ρ)
      || else if 5 m < χ ≤ 10 m
      ||   ν0 ← linterp (ρi, χ-5, ρ)
      ||   ν ← ν0 +  $\frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-10}, \rho) - \nu_0}{5 \text{ m}} \cdot (\chi - 5 \text{ m})$ 
      ||   else if 10 m < χ ≤ 20 m
      ||     ν0 ← linterp (ρi, χ-10, ρ)
      ||     ν ← ν0 +  $\frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-20}, \rho) - \nu_0}{10 \text{ m}} \cdot (\chi - 10 \text{ m})$ 
      ||     else if 20 m < χ ≤ 40 m
      ||       ν0 ← linterp (ρi, χ-20, ρ)
      ||       ν ← ν0 +  $\frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-40}, \rho) - \nu_0}{20 \text{ m}} \cdot (\chi - 20 \text{ m})$ 
      ||       else if 40 m < χ ≤ 80 m
      ||         ν0 ← linterp (ρi, χ-40, ρ)
      ||         ν ← ν0 +  $\frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-80}, \rho) - \nu_0}{40 \text{ m}} \cdot (\chi - 40 \text{ m})$ 
      ||         else if 80 m < χ ≤ 160 m
      ||           ν0 ← linterp (ρi, χ-80, ρ)
      ||           ν ← ν0 +  $\frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-160}, \rho) - \nu_0}{80 \text{ m}} \cdot (\chi - 80 \text{ m})$ 
      ||           else if 160 m < χ ≤ 350 m
      ||             ν0 ← linterp (ρi, χ-160, ρ)
      ||             ν ← ν0 +  $\frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-350}, \rho) - \nu_0}{190 \text{ m}} \cdot (\chi - 190 \text{ m})$ 
      ||             else if 350 m < χ ≤ 700 m
      ||               ν0 ← linterp (ρi, χ-350, ρ)
      ||               ν ← ν0 +  $\frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-700}, \rho) - \nu_0}{350 \text{ m}} \cdot (\chi - 350 \text{ m})$ 
      ||             else
      ||               ν ← linterp (ρi, χ-700, ρ)
      ||           ν

```

$$\nu = 0.446$$

$$f_{lim}(z_e)_n = 1.426 \text{ Hz}$$

$$f_0 = 0.054 \text{ Hz}$$

$$f_1 = 0.338 \text{ Hz}$$

$$f_3 = 1.87 \text{ Hz}$$

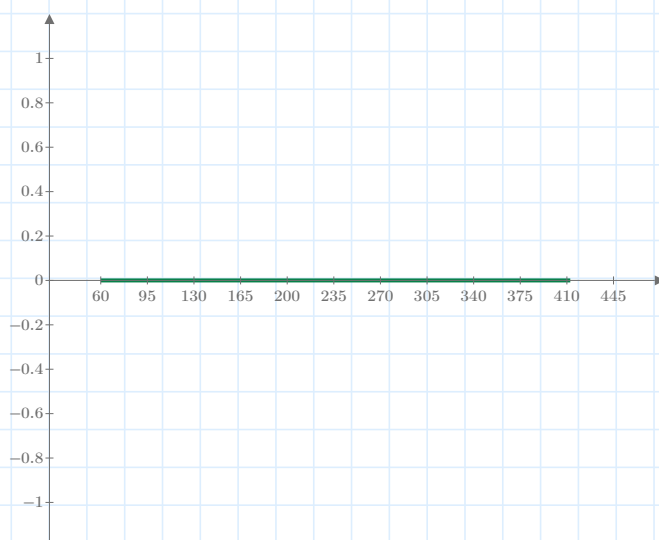
Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки

$$w_g(c) := \left\| \begin{array}{l} w \leftarrow w_m(c) \\ \zeta \leftarrow \zeta(z_e) \\ \xi \leftarrow \xi(z_e) \\ \text{if } f_0 \geq f_{lim}(z_e)_n \\ \left\| \begin{array}{l} w_g \leftarrow \overrightarrow{w \cdot \zeta} \cdot \nu \\ txt \leftarrow \text{"f1} \geq flim \text{"} \end{array} \right. \\ \text{else if } f_0 < f_{lim}(z_e)_n \leq f_1 \\ \left\| \begin{array}{l} w_g \leftarrow \overrightarrow{(w \cdot \xi) \cdot \zeta} \cdot \nu \\ txt \leftarrow \text{"f1} < flim \leq f2 \text{"} \end{array} \right. \\ \text{else} \\ \left\| \begin{array}{l} w_g \leftarrow \overrightarrow{w \cdot \zeta} \cdot 0 \\ txt \leftarrow \text{"f2} < flim \text{"} \end{array} \right. \\ \left[\begin{array}{l} w_g \\ txt \end{array} \right] \end{array} \right.$$

$$w_g(0)_1 = \text{"f2} < flim \text{"}$$

Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки

$$(w_g(c_f - c_b)_0)_n = 0 \text{ kPa}$$



$$w_g(c_f - c_b)_0 \text{ (kPa)}$$

$$z_e \text{ (m)}$$

Нормативное значение основной ветровой нагрузки

$$w := \begin{cases} \text{if } f_1 > f_{lim}(z_e)_n \\ \quad \begin{cases} w \leftarrow w_m(c_f - c_b) + w_g(c_f - c_b)_0 \\ \text{else} \\ w \leftarrow w_m(c_f - c_b) \cdot 0 + w_g(c_f - c_b)_0 \cdot 0 \end{cases} \\ w \end{cases}$$

Нормативное значение основной ветровой нагрузки

