

Расчёт ветровой нагрузки по СП 20.13330.2016

типа 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

$d := 60 \text{ м}$

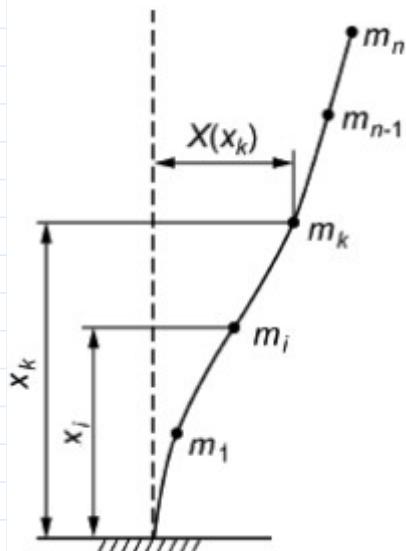
коэффициент надёжности по нагрузке ветра

$\gamma_f := 1.4$

ширина сбора нагрузок

$s_c := 6.9 \text{ м}$

Расчётная динамическая  
модель РДМ



Модуль упругости бетона

$E := 42000 \text{ MPa}$

Плотность бетона

$\gamma_b := 2750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$h_i$  высота этажа

$M_p$  массы

$A_t$  площадь

$I_t$  момент инерции

<i>Story</i>	$h_i$	$A_t$	$I_t$	$M_p$
	(m)	( $m^2$ )	( $m^4$ )	(tonne)
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

$$x_i := \begin{cases} x_0 \leftarrow 0 & \text{if } i = 0 \dots n-1 \\ x_i \leftarrow x_0 + h_{i,i} \\ x_0 \leftarrow x_i \end{cases}$$

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

Матрица масс

$$M := \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots n-1 \\ M_{i,i} \leftarrow M_{p_i} \\ M \end{cases}$$

Моменты от единичных сил

$$M_i(x, xi, S) := \begin{cases} \text{if } x \leq xi \\ M_i \leftarrow S \cdot xi - S \cdot x \\ \text{else} \\ M_i \leftarrow 0 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ M_i \end{cases}$$

### Матрица податливости

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

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

Собственные значения

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

Круговая частота

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

Период

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

Техническая частота

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

Собственные векторы

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

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

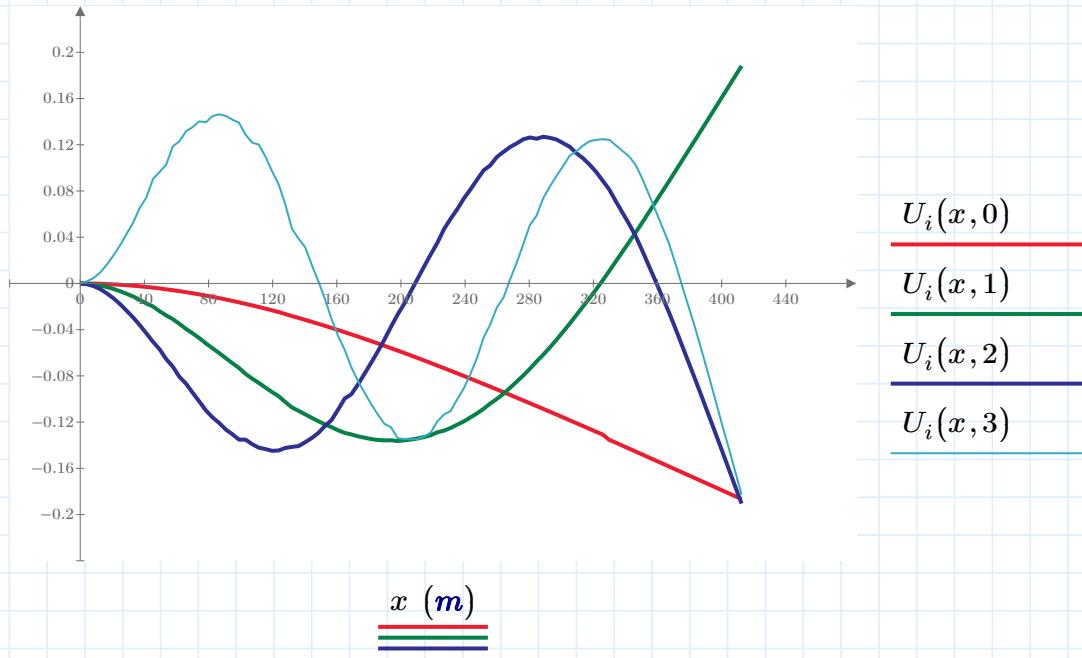
$$vy := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \left\| vy_i \leftarrow \text{stack}(0, U^{(i)}) \right. \right. \end{array} \right. \right\| vy$$

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

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

Формы колебаний

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



Периоды собственных колебаний

$$T_0 = 18.507 \text{ } \mathbf{s}$$

$$T_1 = 2.955 \text{ } \mathbf{s}$$

$$T_2 = 1.05 \text{ } \mathbf{s}$$

$$T_3 = 0.535 \text{ } \mathbf{s}$$

Частоты собственных колебаний

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

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

$$f_2 = 0.952 \text{ } \mathbf{Hz}$$

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

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

высота от поверхности земли

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

## 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>
(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
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

$z_{ei}$	<i>A2</i>	<i>B2</i>	<i>C2</i>
(m)			
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

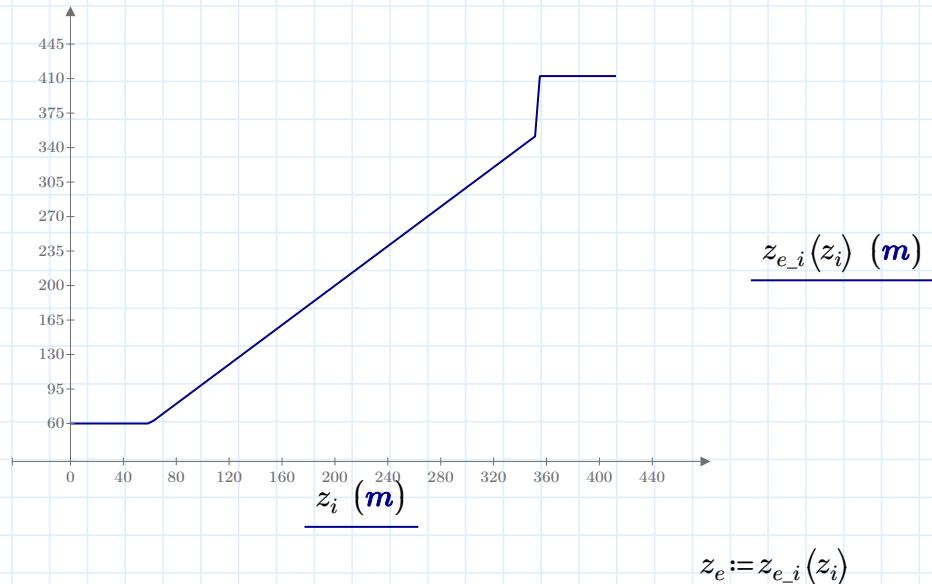
```


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


```

$$z_i := \text{stack}(0, (x_i + \Delta z)) \quad n_z := \text{rows}(z_i) \quad z_{e\_i}(z) := \begin{cases} \text{for } i \in 0..n_z-1 \\ \| z_i \leftarrow z_{-e}(z_i, d, h) \\ \| z \end{cases}$$

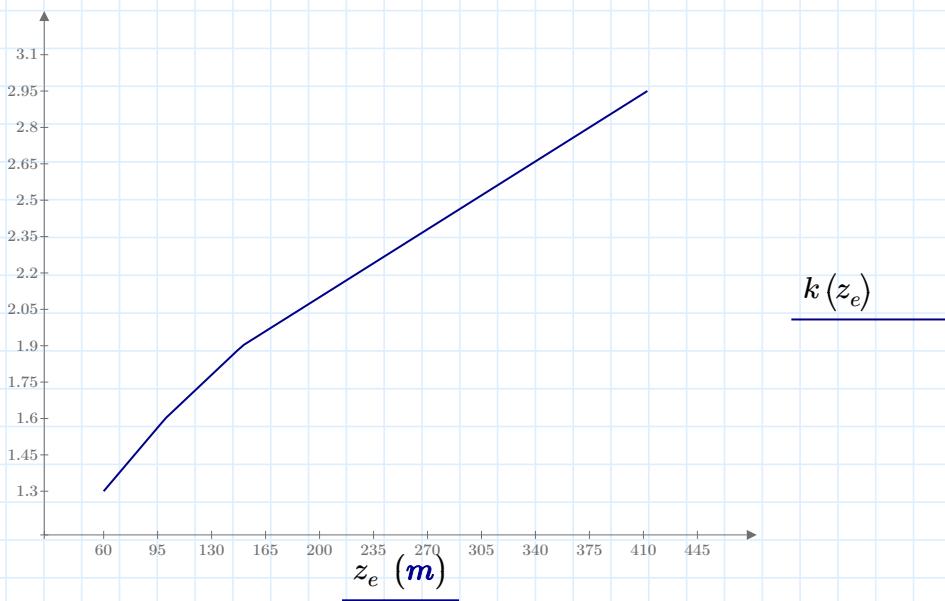
### Эквивалентная высота



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

### Коэффициенты k

$$k(z_{e_n}) = 2.95$$



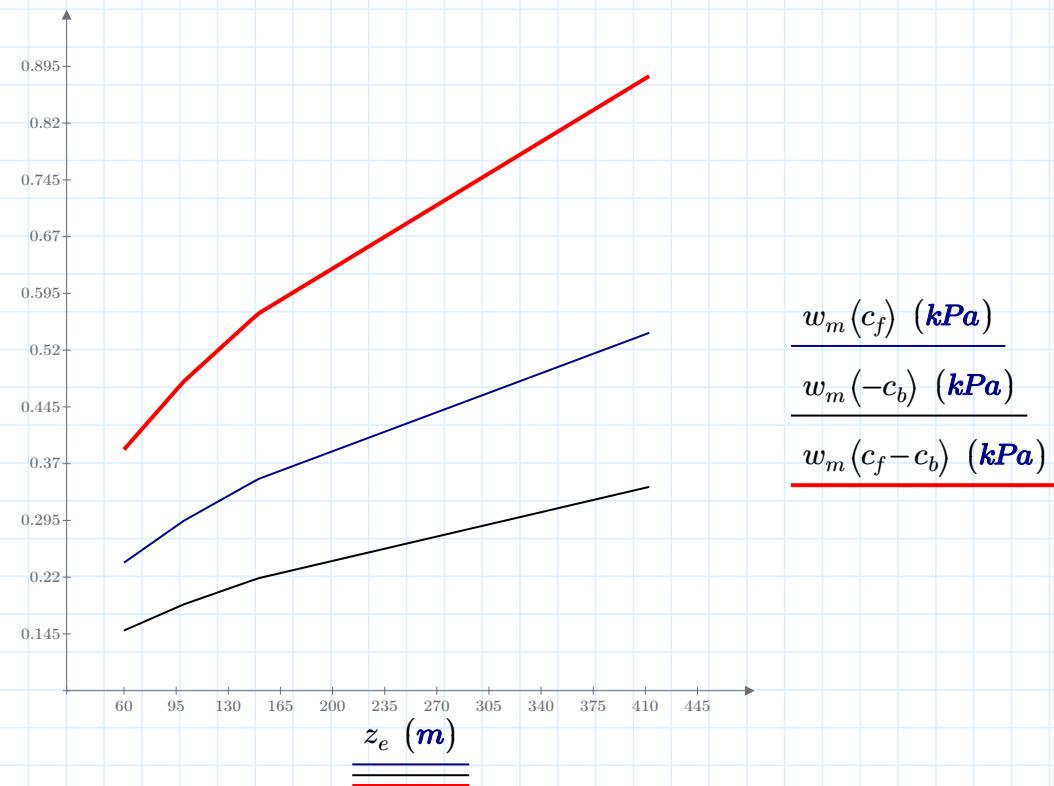
аэродинамический коэффициент

$$c_f := 0.8$$

$$c_b := -0.5$$

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

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

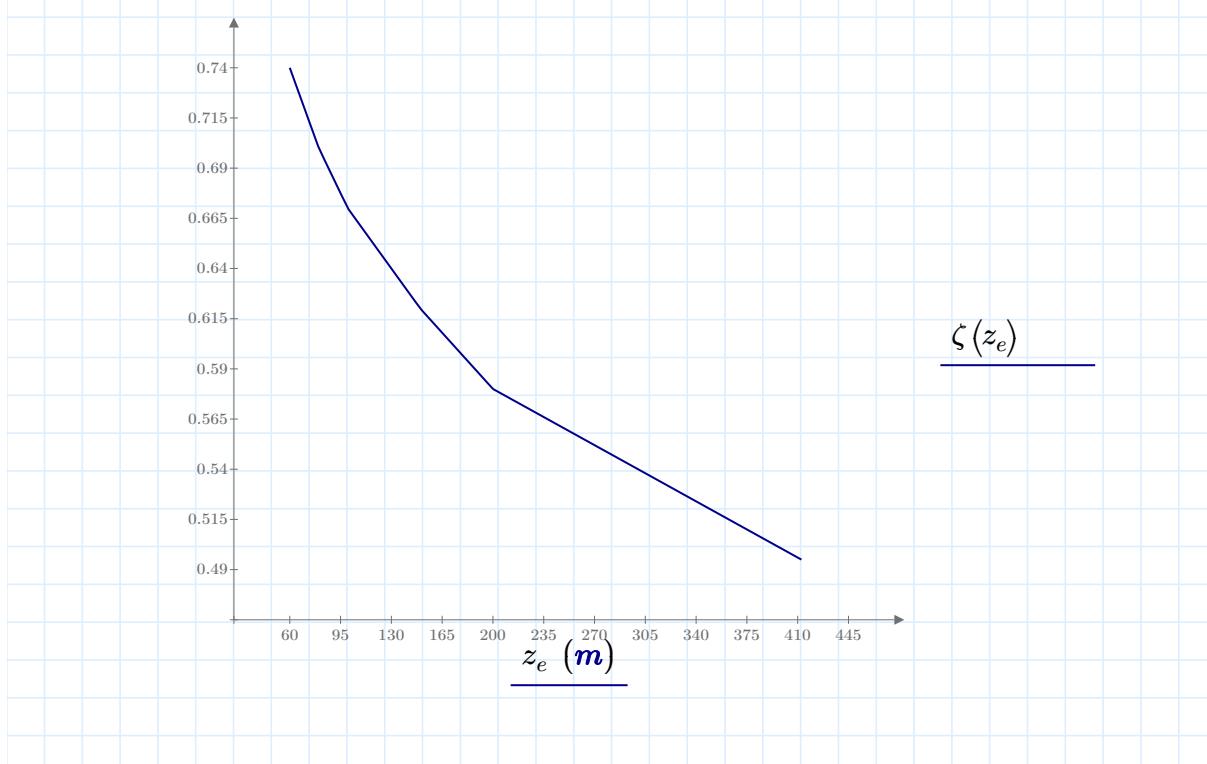
## Коэффициент пульсаций давления ветра $\zeta$

*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

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

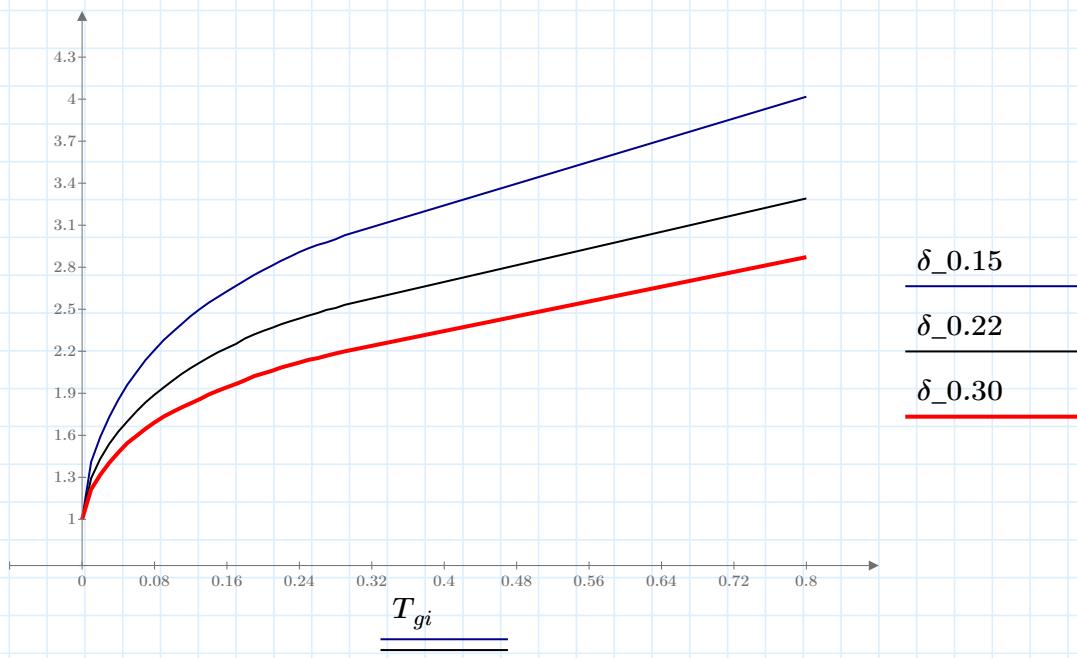


$T_{gi}$	$\delta_{-0.15}$	$\delta_{-0.22}$	$\delta_{-0.30}$
0	1	1	1
0.01	1.4102	1.2935	1.2144
0.02	1.5868	1.4312	1.3171
0.03	1.7304	1.5389	1.4037
0.04	1.8536	1.6261	1.4771
0.05	1.9613	1.6994	1.5449
0.06	2.0496	1.7698	1.5948
0.07	2.1368	1.8345	1.6461
0.08	2.2086	1.8899	1.6916
0.09	2.2789	1.9408	1.733
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	0.3332	2.0700	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

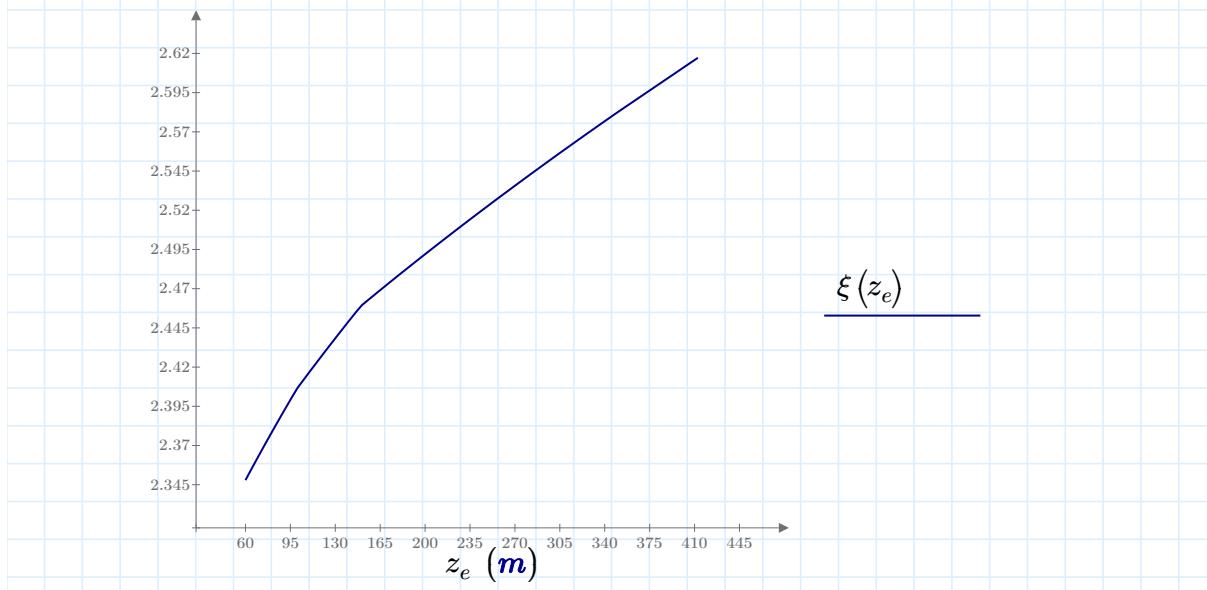
Коэффициенты динамичности  $\xi$



$$T_{g1}(z) := \frac{\sqrt{w_0 \cdot k(z) \cdot \gamma_f \cdot \frac{m^2}{N}}}{940 \cdot f_0 \cdot s} \quad \xi(z) := \text{linterp}(T_{gi}, \delta_0.30, T_{g1}(z))$$

Коэффициенты динамичности  $\xi$

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



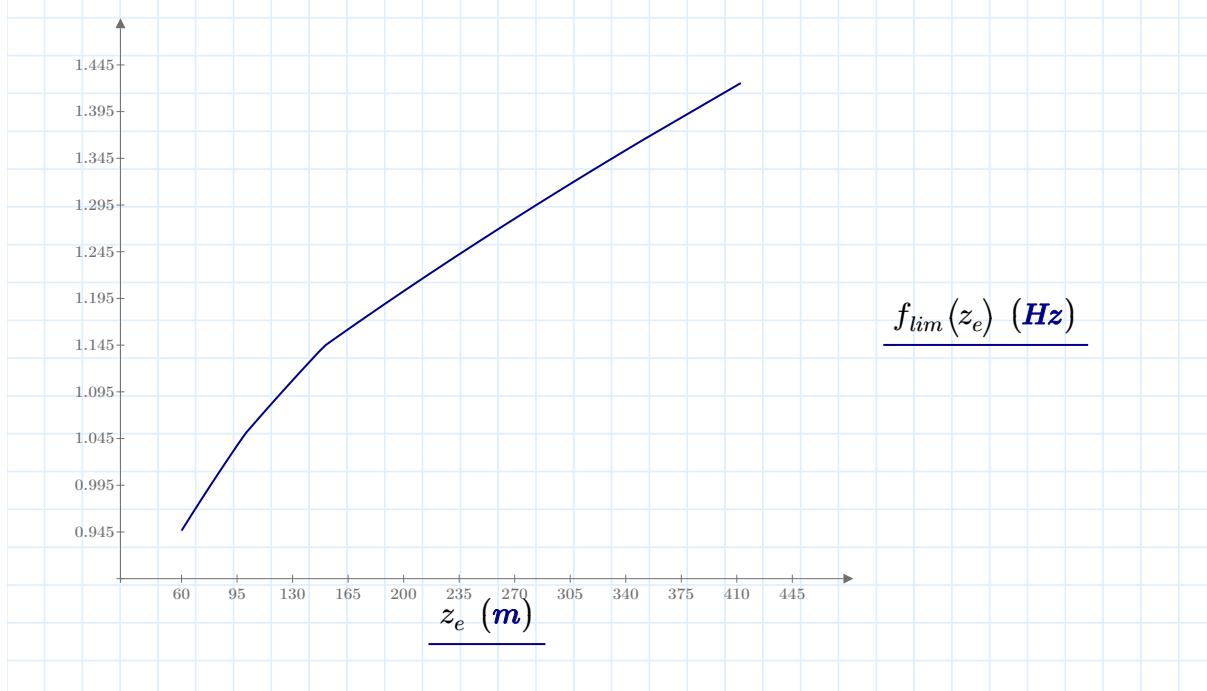
$$\xi(z_e)_n = 2.617$$

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

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

Предельное значение частоты  
собственных колебаний

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



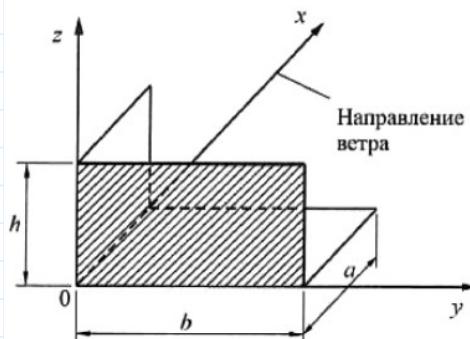
Коэффициент корреляции  $\nu$

Таблица 11.6

$\rho_i$ ( <i>m</i> )	$\chi_{-5}$	$\chi_{-10}$	$\chi_{-20}$	$\chi_{-40}$	$\chi_{-80}$	$\chi_{-160}$	$\chi_{-350}$	$\chi_{-700}$
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  $\nu$

Таблица 11.7



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

```

 $\nu :=$ 
  if  $\chi \leq 5 \text{ m}$ 
     $\nu \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-5}, \rho)$ 
  else if  $5 \text{ m} < \chi \leq 10 \text{ m}$ 
     $\nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-5}, \rho)$ 
     $\nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-10}, \rho) - \nu_0}{5 \text{ m}} \cdot (\chi - 5 \text{ m})$ 
  else if  $10 \text{ m} < \chi \leq 20 \text{ m}$ 
     $\nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-10}, \rho)$ 
     $\nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-20}, \rho) - \nu_0}{10 \text{ m}} \cdot (\chi - 10 \text{ m})$ 
  else if  $20 \text{ m} < \chi \leq 40 \text{ m}$ 
     $\nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-20}, \rho)$ 
     $\nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-40}, \rho) - \nu_0}{20 \text{ m}} \cdot (\chi - 20 \text{ m})$ 
  else if  $40 \text{ m} < \chi \leq 80 \text{ m}$ 
     $\nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-40}, \rho)$ 
     $\nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-80}, \rho) - \nu_0}{40 \text{ m}} \cdot (\chi - 40 \text{ m})$ 
  else if  $80 \text{ m} < \chi \leq 160 \text{ m}$ 
     $\nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-80}, \rho)$ 
     $\nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-160}, \rho) - \nu_0}{80 \text{ m}} \cdot (\chi - 80 \text{ m})$ 
  else if  $160 \text{ m} < \chi \leq 350 \text{ m}$ 
     $\nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-160}, \rho)$ 
     $\nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-350}, \rho) - \nu_0}{190 \text{ m}} \cdot (\chi - 190 \text{ m})$ 
  else if  $350 \text{ m} < \chi \leq 700 \text{ m}$ 
     $\nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-350}, \rho)$ 
     $\nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-700}, \rho) - \nu_0}{350 \text{ m}} \cdot (\chi - 350 \text{ m})$ 
  else
     $\nu \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-700}, \rho)$ 

```

$\nu = 0.446$

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

$f_0 = 0.054 \text{ Hz}$

$f_1 = 0.338 \text{ Hz}$

$f_3 = 1.87 \text{ Hz}$

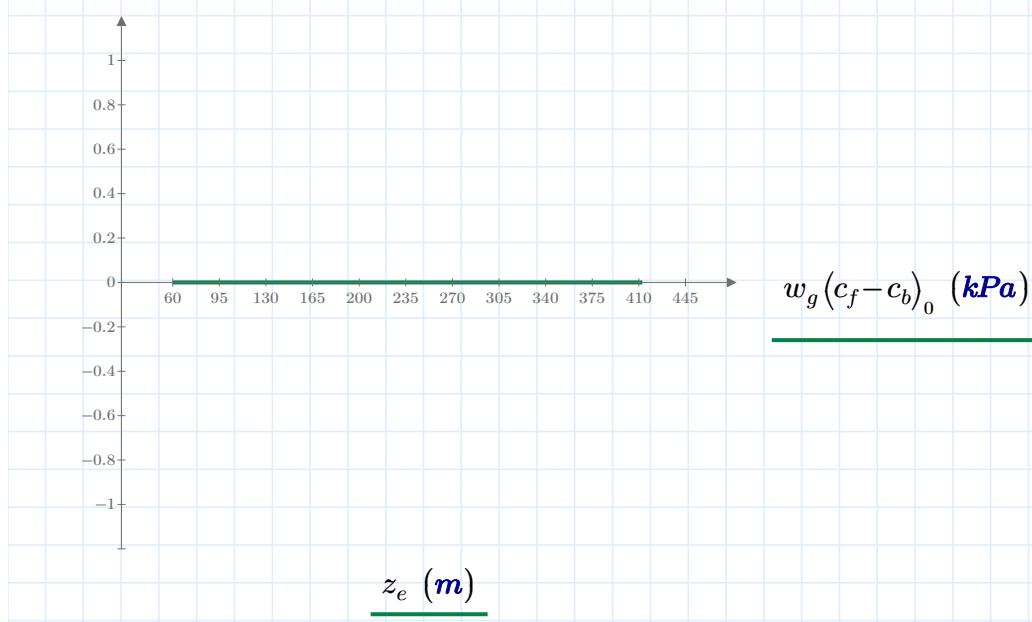
Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки

$$w_g(c) := \begin{cases} w \leftarrow w_m(c) \\ \zeta \leftarrow \zeta(z_e) \\ \xi \leftarrow \xi(z_e) \\ \text{if } f_0 \geq f_{lim}(z_e)_n \\ \quad \begin{cases} w_g \leftarrow \overrightarrow{w \cdot \zeta} \cdot \nu \\ txt \leftarrow "f1 >= flim" \end{cases} \\ \text{else if } f_0 < f_{lim}(z_e)_n \leq f_1 \\ \quad \begin{cases} w_g \leftarrow \overrightarrow{(w \cdot \xi)} \cdot \zeta \cdot \nu \\ txt \leftarrow "f1 < flim <= f2" \end{cases} \\ \text{else} \\ \quad \begin{cases} w_g \leftarrow \overrightarrow{w \cdot \zeta} \cdot 0 \\ txt \leftarrow "f2 < flim" \end{cases} \end{cases} \\ \begin{bmatrix} w_g \\ txt \end{bmatrix} \end{cases}$$

$w_g(0)_1 = "f2 < flim"$

Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки

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



Нормативное значение основной ветровой нагрузки

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

Нормативное значение основной ветровой нагрузки

