

## Расчёт ветровой нагрузки по СП 20.13330.2016

типа местности

$ter := \text{"B"}$

сооружение

$bld := \text{"Здание"}$

размер здания в направлении расчетного ветра

$a := 31 \text{ м}$

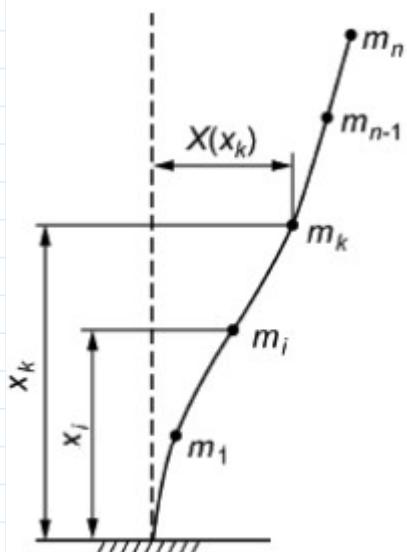
размер здания в направлении перпендикулярном  
расчетному направлению ветра

$d := 80 \text{ м}$

коэффициент надёжности по нагрузке ветра

$\gamma_f := 1.4$

## Расчётная динамическая модель РДМ



Модуль упругости бетона

$E := 42000 \text{ MPa}$

Плотность бетона

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

коэффициент надёжности по нагрузке бетона

$\gamma_{fb} := 1.1$

$h_i$  высота этажа

$t_p$  толщина плиты

$A_t$  площадь

$DL$  постоянная нагрузка

$I_t$  момент инерции

$LL$  временная нагрузка

$h_i$	$A_t$	$I_t$	$t_p$	$DL$	$LL$
(m)	( $m^2$ )	( $m^4$ )	(mm)	(kPa)	(kPa)
8	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	514.8	10698.055	250	3.91	2.46
4.2	507.96	10579.401	250	3.91	2.46
4.2	507.96	10579.401	250	3.91	2.46
4.2	507.96	10579.401	250	3.91	2.46
4.2	507.96	10579.401	250	3.91	2.46





3.6	498.84	10421.139	250	3.91	2.46
3.6	498.84	10421.139	250	3.91	2.46
3.6	498.84	10421.139	250	3.91	2.46

Длина диафрагмы

$$l_d := 9 \text{ м}$$

Пролёты

$$S_i := 10 \text{ м}$$

Ширина башни

$$a_t := S_i + l_d + S_i = 29 \text{ м}$$

Шаг колонн

$$s_c := 6.9 \text{ м}$$

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

Отметки этажей

Массы вертикальных конструкций

$$x_i := \begin{cases} x_0 \leftarrow 0 \text{ м} \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \begin{cases} x_i \leftarrow x_0 + h_{i_i} \\ x_0 \leftarrow x_i \end{cases} \\ \end{cases} \quad x$$

$$Mi := \begin{cases} \text{for } i \in 1..n-1 \\ \quad \begin{cases} m_i \leftarrow \frac{h_{i_i} + h_{i_{i-1}}}{2} \cdot \frac{A_{t_i} + A_{t_{i-1}}}{2} \cdot \gamma \cdot \gamma_{fb} \\ m_0 \leftarrow \frac{h_{i_1} + h_{i_0}}{2} \cdot \frac{A_{t_1} + A_{t_0}}{2} \cdot \gamma \cdot \gamma_{fb} \end{cases} \\ \end{cases} \quad m$$

Общая длина

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

коэффициент учёта  
других конструкций

$$k_w := 0$$

Матрица масс

$$M := \begin{cases} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \begin{cases} M_{i,i} \leftarrow \left( t_{p_i} \cdot \gamma \cdot \gamma_{fb} + \frac{DL_i}{g} + \frac{LL_i}{g} \right) \cdot a \cdot s_c \cdot k_w + Mi_i \\ \end{cases} \\ \end{cases} \quad M$$

### Моменты от единичных сил

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

### Матрица податливости

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

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

### Собственные значения

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

### Круговая частота

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

### Период

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

### Техническая частота

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

### Собственные векторы

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

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

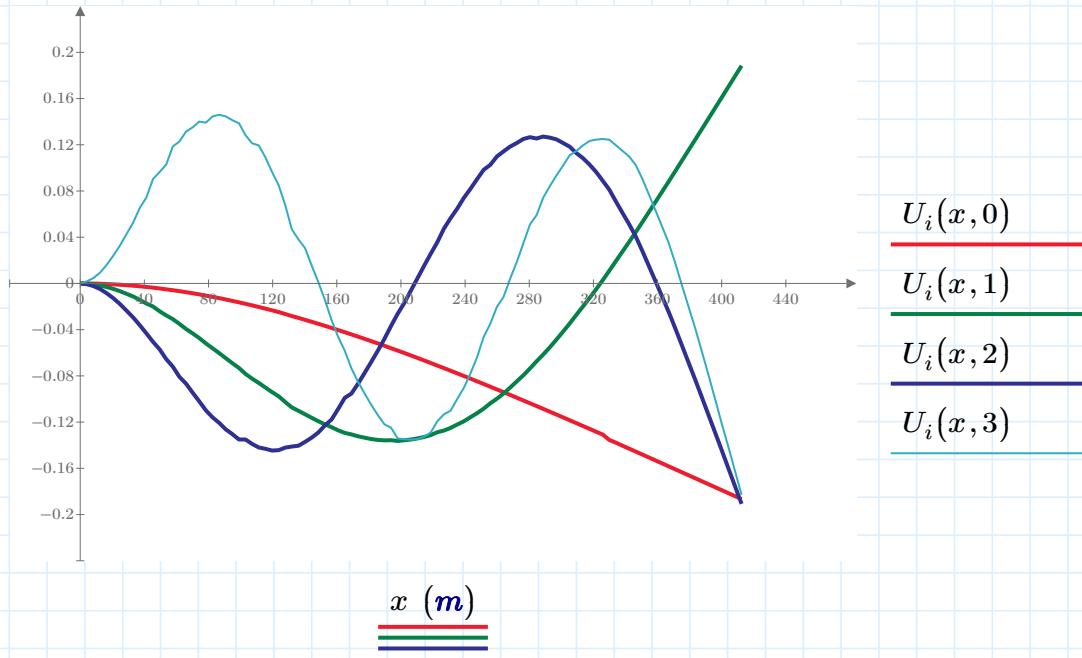
$$vy := \begin{cases} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad vy_i \leftarrow \text{stack}(0, U^{(i)}) \\ vy \end{cases}$$

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

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

Формы колебаний

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



Периоды собственных колебаний

$$T_0 = 18.017 \text{ } \mathbf{s}$$

$$T_1 = 2.88 \text{ } \mathbf{s}$$

$$T_2 = 1.024 \text{ } \mathbf{s}$$

$$T_3 = 0.522 \text{ } \mathbf{s}$$

Частоты собственных колебаний

$$f_0 = 0.056 \text{ } \mathbf{Hz}$$

$$f_1 = 0.347 \text{ } \mathbf{Hz}$$

$$f_2 = 0.976 \text{ } \mathbf{Hz}$$

$$f_3 = 1.917 \text{ } \mathbf{Hz}$$

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

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	0.75	0.5	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

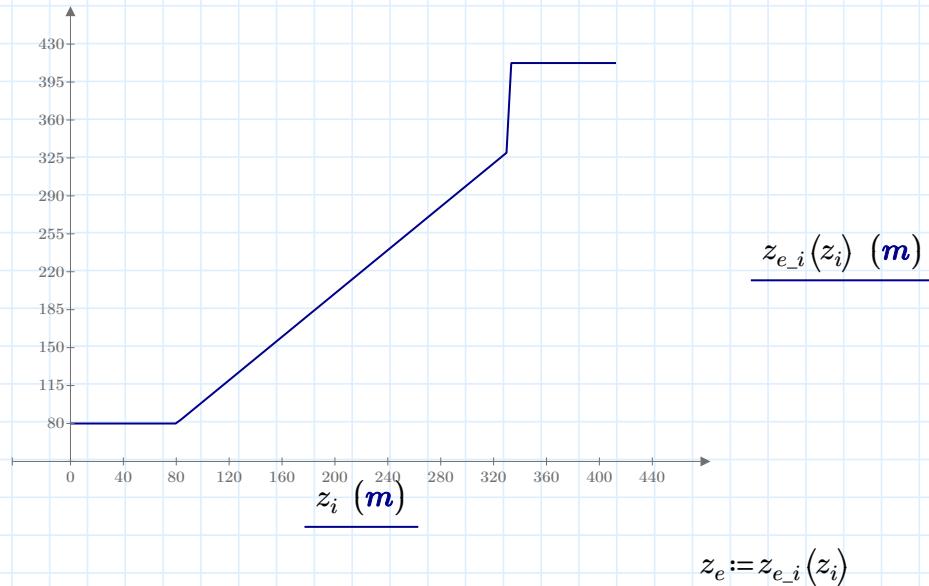
```


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


```

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

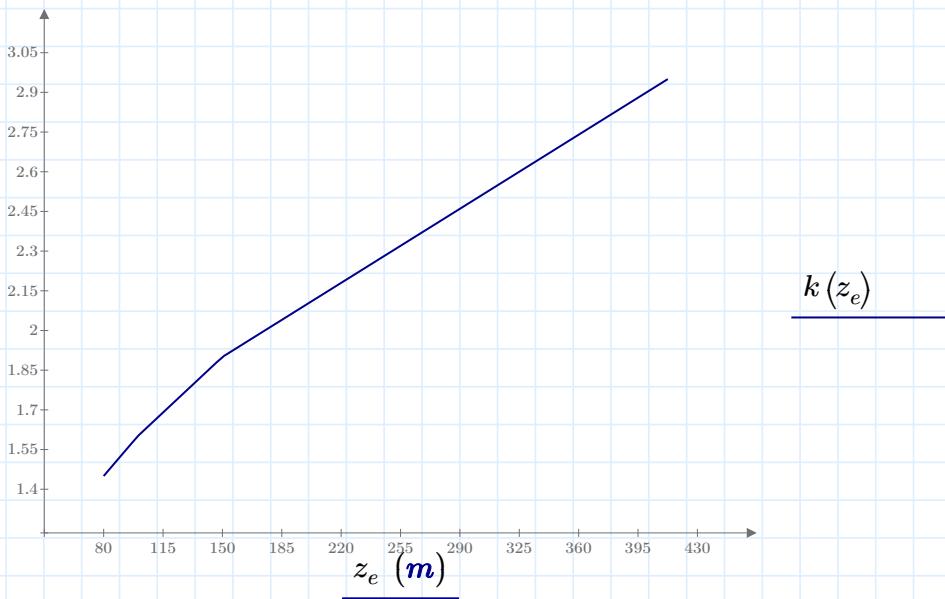
### Эквивалентная высота



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

Коэффициенты k

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



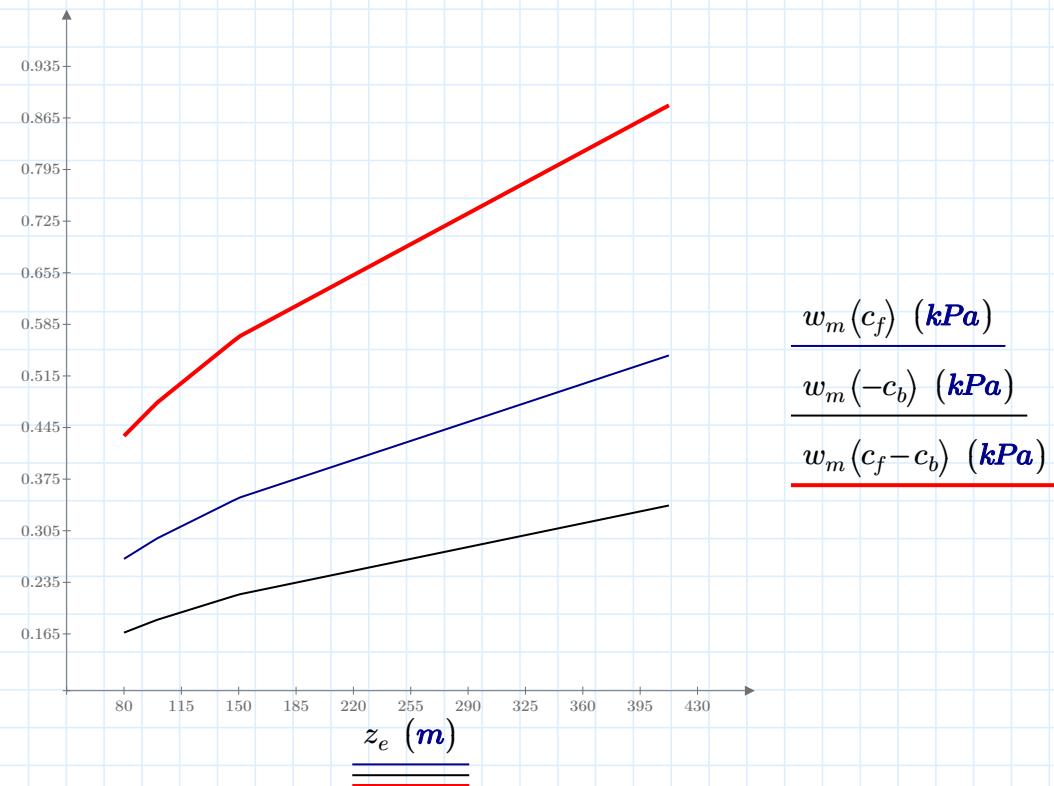
аэродинамический коэффициент

$$c_f := 0.8$$

$$c_b := -0.5$$

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

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

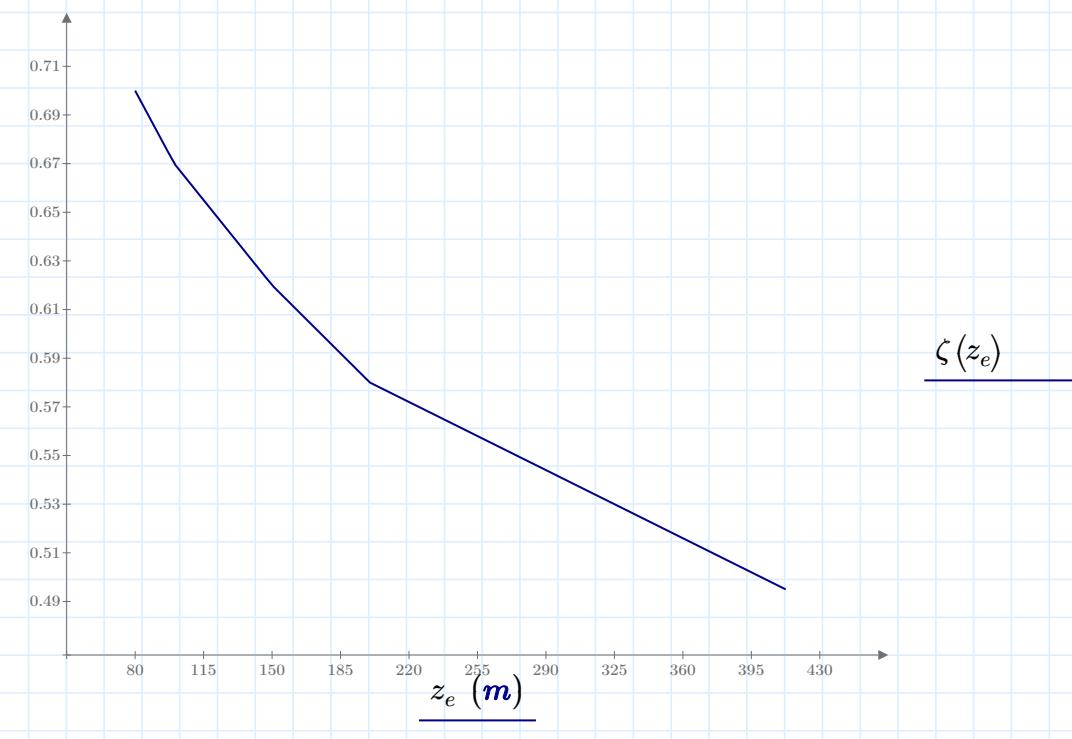
Коэффициент пульсаций давления ветра  $\zeta$

Таблица 11.4

$A4 \quad B4 \quad C4$

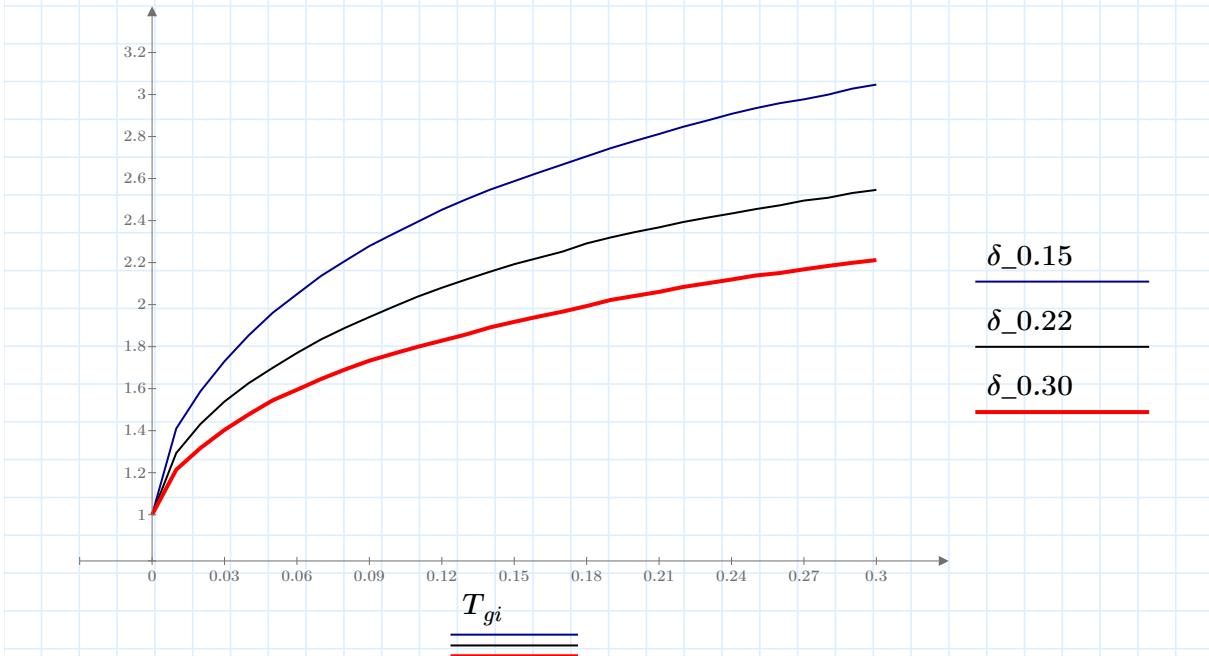
$A4$	$B4$	$C4$
0.85	1.22	1.78
0.85	1.22	1.78
0.76	1.06	1.78
0.69	0.92	1.5
0.62	0.8	1.26
0.58	0.74	1.14
0.56	0.7	1.06
0.54	0.67	1
0.51	0.62	0.9
0.49	0.58	0.84
0.47	0.56	0.8
0.46	0.54	0.76

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



$T_{gi}$	$\delta_{-0.15}$	$\delta_{-0.22}$	$\delta_{-0.30}$
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

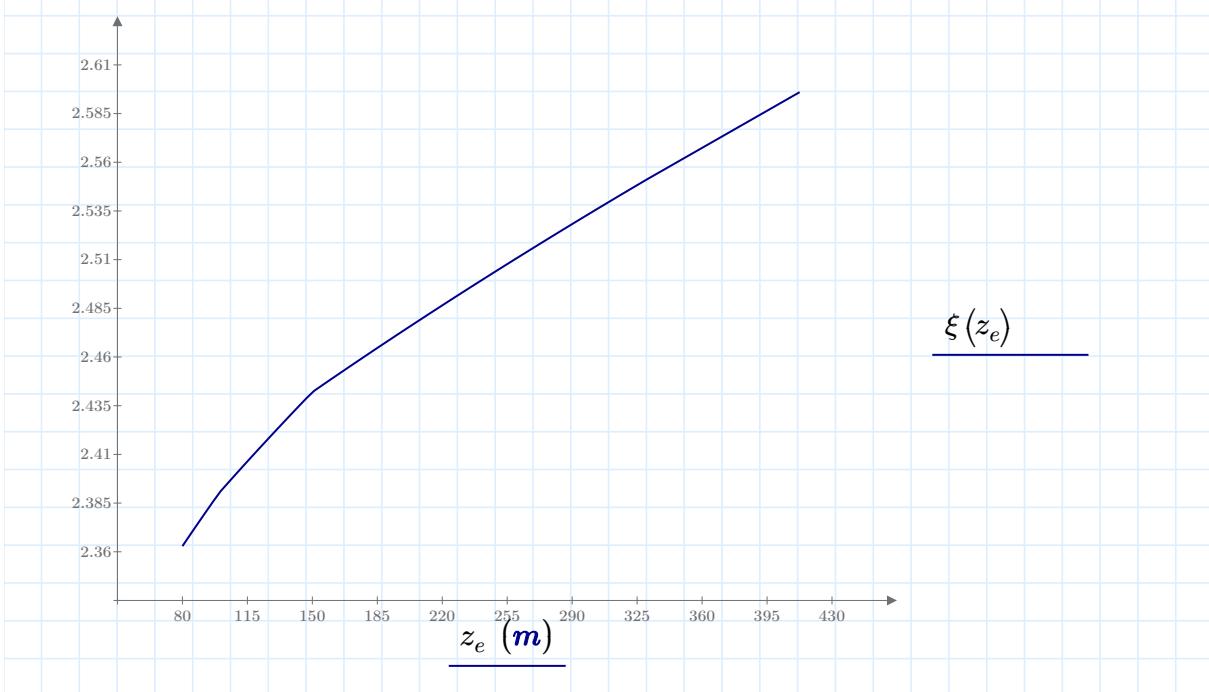
### Коэффициенты динамичности $\xi$



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

Коэффициенты динамичности  $\xi$

$$T_{g1}(z_e)_n = 0.591$$



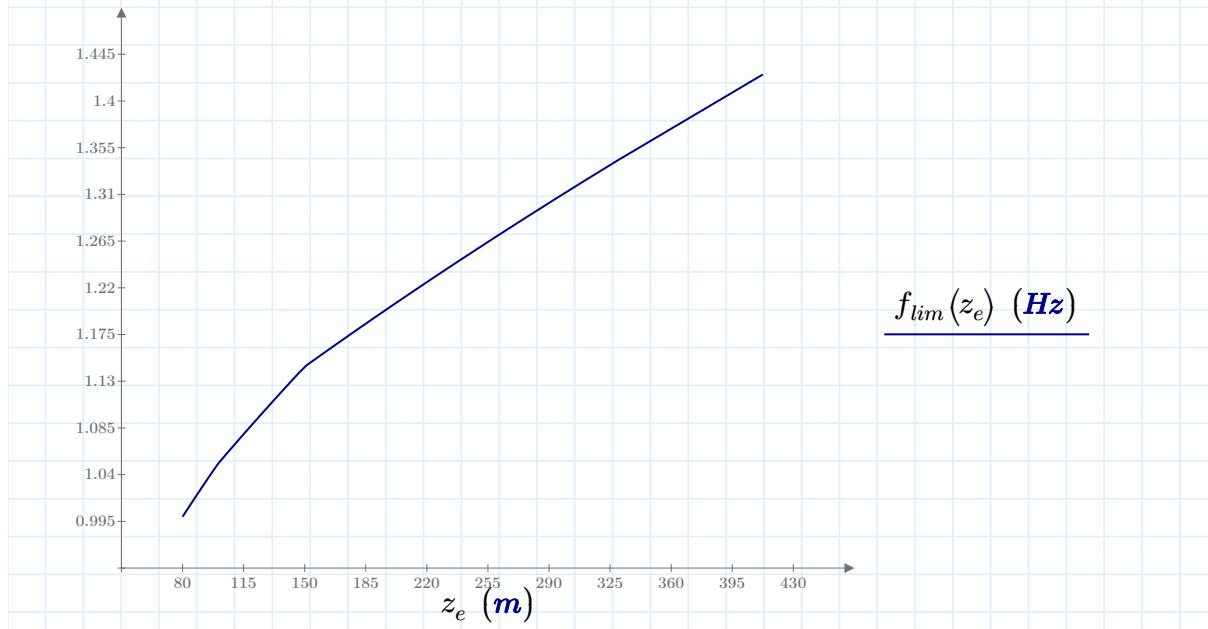
$$\xi(z_e)_n = 2.596$$

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

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

Предельное значение частоты  
собственных колебаний

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



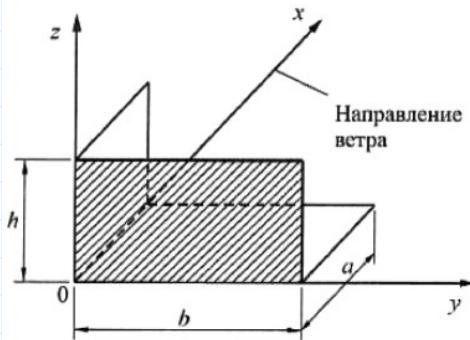
Коэффициент корреляции  $\nu$

Таблица 11.6

$\rho_i$ ( $m$ )	$\chi_{-5}$	$\chi_{-10}$	$\chi_{-20}$	$\chi_{-40}$	$\chi_{-80}$	$\chi_{-160}$	$\chi_{-350}$
0.1	0.95	0.92	0.88	0.83	0.76	0.67	0.56
5	0.89	0.87	0.84	0.8	0.73	0.65	0.54
10	0.85	0.84	0.81	0.77	0.71	0.64	0.53
20	0.8	0.78	0.76	0.73	0.68	0.61	0.51
40	0.72	0.72	0.7	0.67	0.63	0.57	0.48
80	0.63	0.63	0.61	0.59	0.56	0.51	0.44
160	0.53	0.53	0.52	0.5	0.47	0.44	0.38

Основная система координат при определении коэффициента корреляции  $\nu$

Таблица 11.7



$$b := d$$

$$\rho := b$$

$$\chi := h$$

$mcs$	$\rho_s$	$\chi_s$
“Z0Y”	“b”	“h”
“Z0X”	“0.4*a”	“h”
“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  $160 \text{ m} < \chi \leq 350 \text{ m}$ 
     $\nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-160}, \rho)$ 
     $\nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-350}, \rho) - \nu_0}{190 \text{ m}} \cdot (\chi - 160 \text{ m})$ 
  else
     $\nu \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-350}, \rho)$ 

```

$$\nu = 0.44$$

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

$$f_0 = 0.056 \text{ Hz}$$

$$f_1 = 0.347 \text{ Hz}$$

$$f_3 = 1.917 \text{ Hz}$$

Нормативное значение пульсационной  
составляющей основной ветровой нагрузки

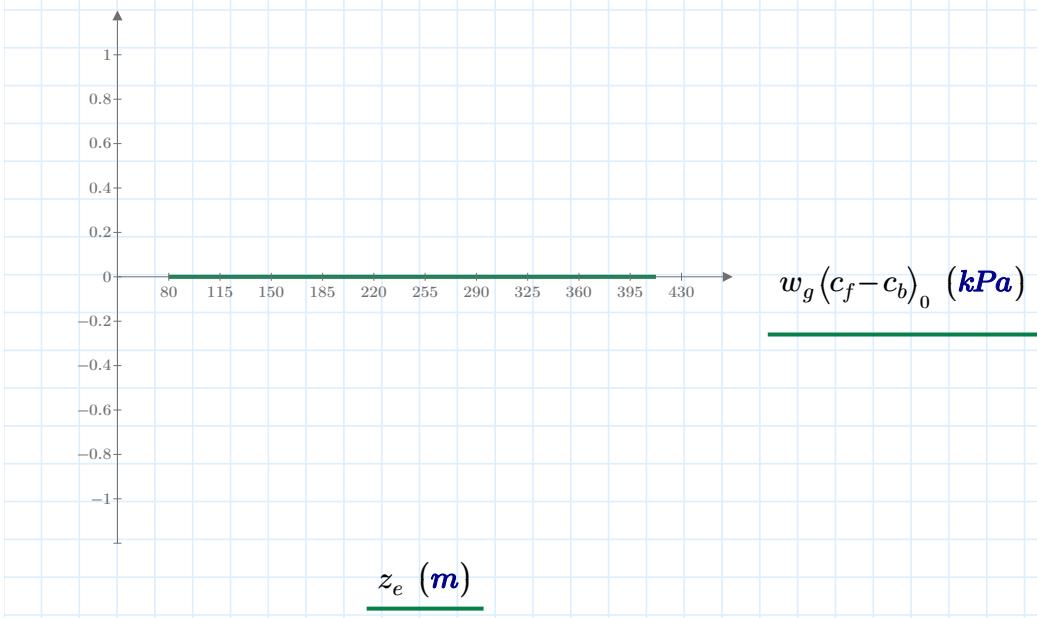
```

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

```

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

Нормативное значение пульсационной  
составляющей основной ветровой нагрузки



Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки

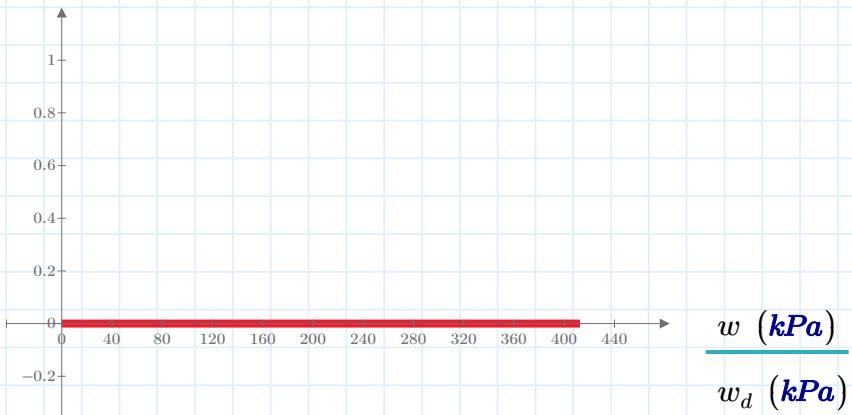
$$\left( w_g (c_f - c_b)_0 \right)_n \cdot s_c \cdot h_{i_{n-1}} = 0 \text{ kN}$$

Нормативное значение основной ветровой нагрузки

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

Расчётное значение основной ветровой нагрузки

$$w_d := w \cdot \gamma_f$$



$$\underline{\underline{z_i \text{ (m)}}}$$

$$w_{d_n} = 0 \text{ kPa}$$