

Расчёт ветровой нагрузки по СП 20.13330.2016

тип местности

$ter := \text{"В"}$

сооружение

$bld := \text{"Здание"}$

размер здания в направлении расчетного ветра

$a := 31 \text{ м}$

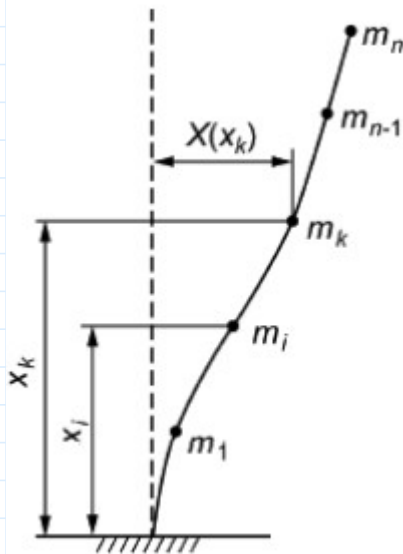
размер здания в направлении перпендикулярном
расчетному направлению ветра

$d := 80 \text{ м}$

коэффициент надёжности по нагрузке ветра

$\gamma_f := 1.4$

Расчётная динамическая
модель РДМ



Модуль упругости бетона

$E := 42000 \text{ МПа}$

Плотность бетона

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

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

[illegible]

[illegible]

[illegible]

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 $l_d := 9 \text{ m}$

Пролёты $S_i := 10 \text{ m}$

Ширина башни $a_t := S_i + l_d + S_i = 29 \text{ m}$

Шаг колонн $s_c := 6.9 \text{ m}$

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

Отметки этажей

Массы вертикальных конструкций

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

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

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

коэффициент учёта других конструкций $k_w := 0$

Матрица масс

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

Моменты от единичных сил

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

Матрица податливости

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

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

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

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

Техническая частота

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

Собственные векторы

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

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

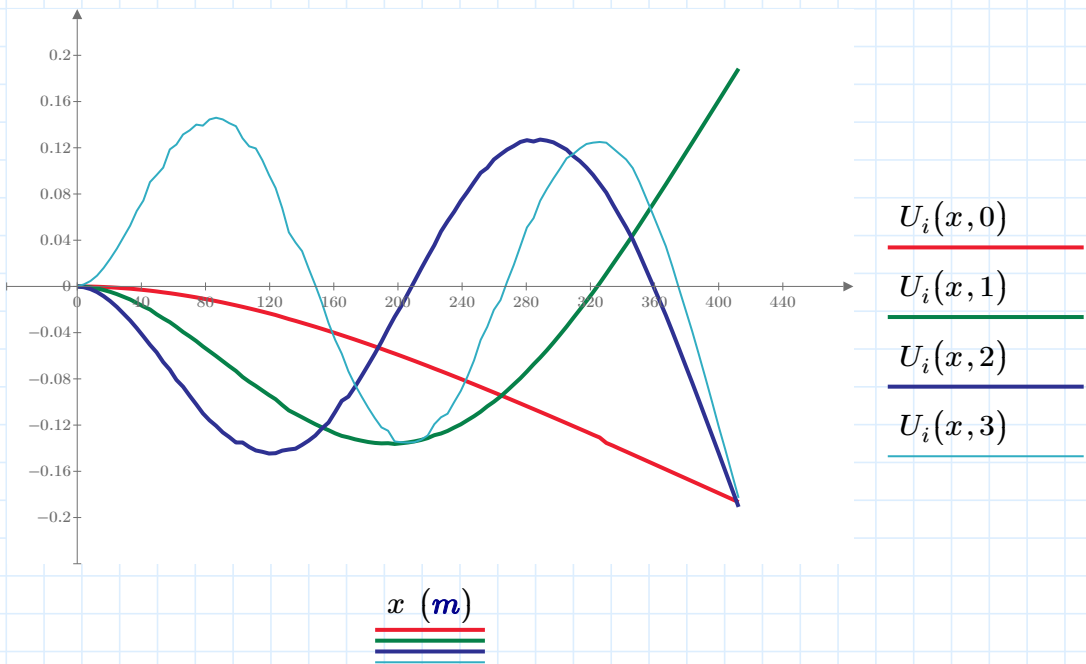
$$vy := \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots n-1 \\ \quad \| vy_i \leftarrow \text{stack}(0, U^{(i)}) \\ \quad \| vy \end{cases}$$

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

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

Формы колебаний

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



Периоды собственных колебаний

$T_0 = 18.017 \text{ } s$

$T_1 = 2.88 \text{ } s$

$T_2 = 1.024 \text{ } s$

$T_3 = 0.522 \text{ } s$

Частоты собственных колебаний

$f_0 = 0.056 \text{ } Hz$

$f_1 = 0.347 \text{ } Hz$

$f_2 = 0.976 \text{ } Hz$

$f_3 = 1.917 \text{ } Hz$

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

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

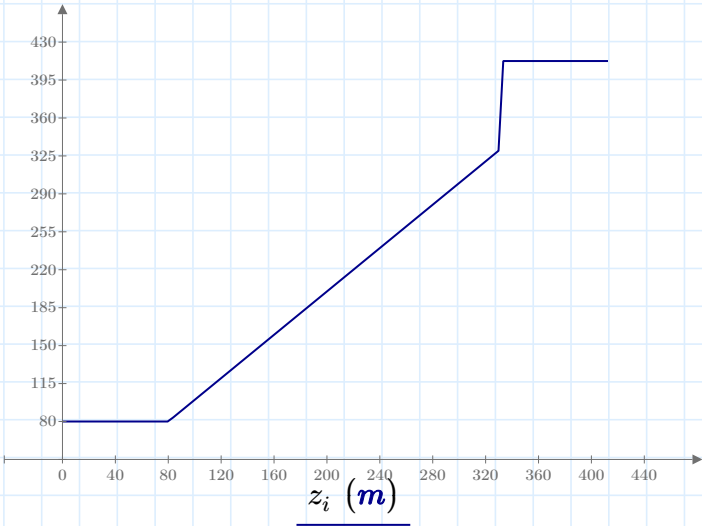
Таблица 11.2

<i>z_{ei}</i>	<i>A2</i>	<i>B2</i>	<i>C2</i>
(<i>m</i>)			
0	0.75	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) := if bld = "Здание"
                  if h ≤ z
                    z_e ← h
                  else if d < h ≤ 2 · d
                    if z ≥ h - d
                      z_e ← h
                    else if 0 < z < h - d
                      z_e ← d
                    else
                      z_e ← z
                  else if h > 2 · d
                    if z ≥ h - d
                      z_e ← h
                    else if d < z < h - d
                      z_e ← z
                    else if 0 ≤ z ≤ d
                      z_e ← d
                    else
                      z_e ← z
                  else
                    z_e ← z
```


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

Эквивалентная высота

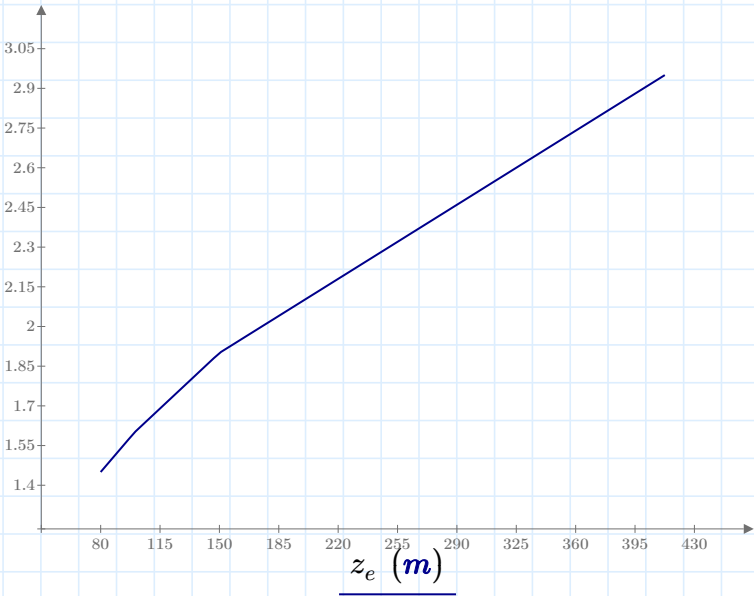


$$z_e := z_{e_i} \left(z_i \right)$$

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

Коэффициенты k

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



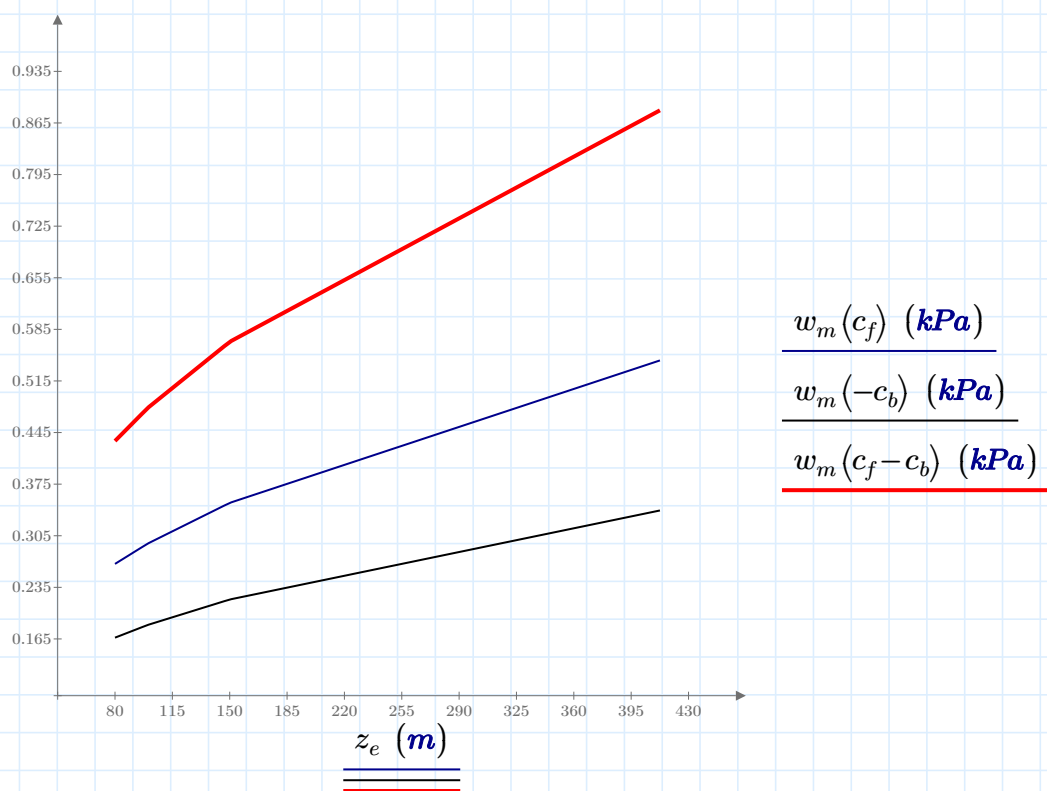
аэродинамический коэффициент

$$c_f := 0.8$$

$$c_b := -0.5$$

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

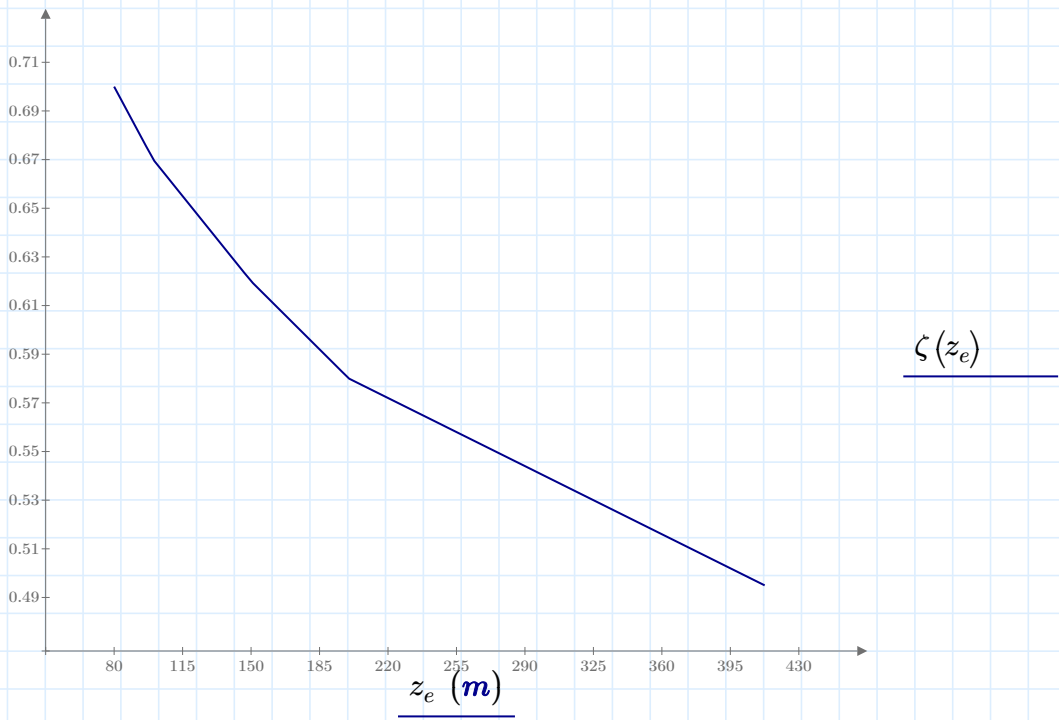
$$w_m(c_f - c_b)_n \cdot s_c \cdot h_{i_{n-1}} = 21.912 \text{ } kN$$

Коэффициент пульсаций давления ветра ζ

Таблица 11.4

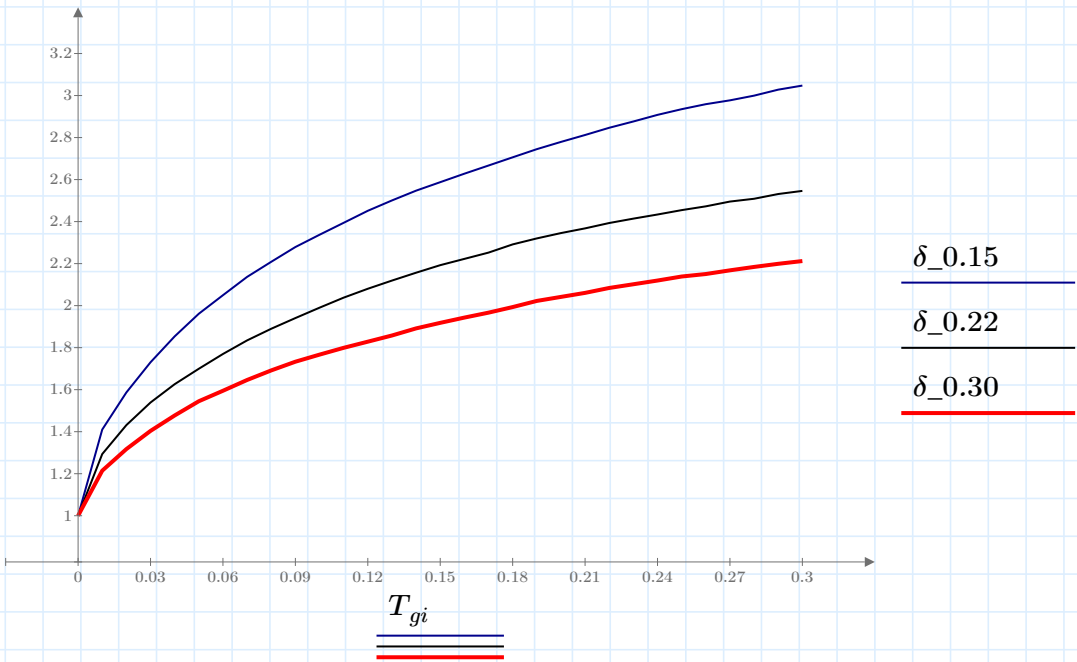
<i>A4</i>	<i>B4</i>	<i>C4</i>
0.85	1.22	1.78
0.85	1.22	1.78
0.76	1.06	1.78
0.69	0.92	1.5
0.62	0.8	1.26
0.58	0.74	1.14
0.56	0.7	1.06
0.54	0.67	1
0.51	0.62	0.9
0.49	0.58	0.84
0.47	0.56	0.8
0.46	0.54	0.76

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



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

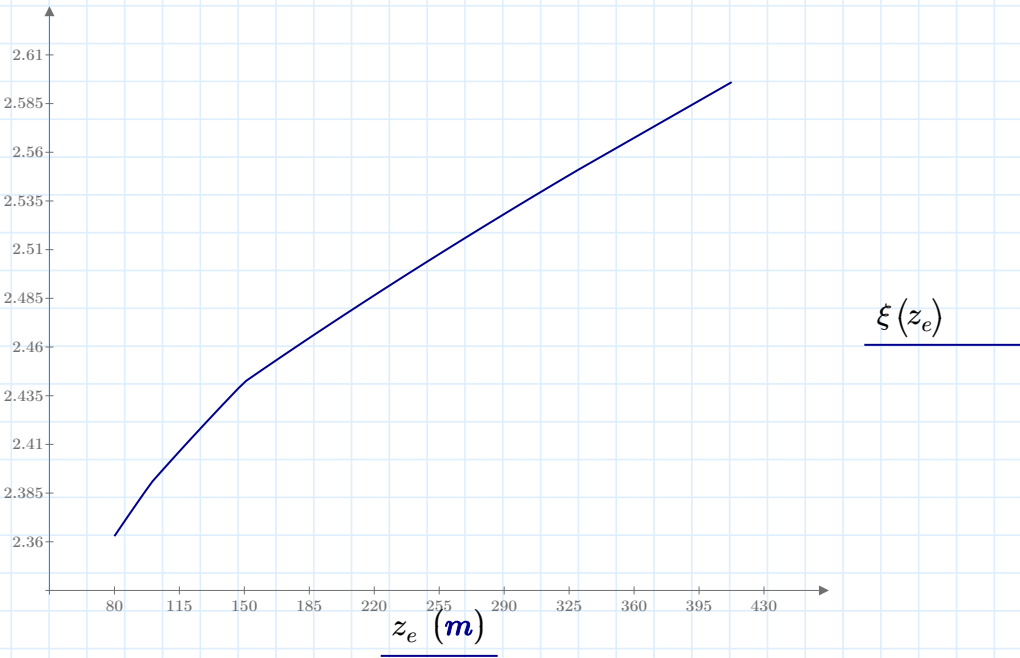
Коэффициенты динамичности ξ



$$T_{g1}(z) := \frac{\sqrt{w_0 \cdot k(z) \cdot \gamma_f \cdot \frac{m^2}{N}}}{940 \cdot f_0 \cdot s} \quad \xi(z) := \text{linterp}(T_{gi}, \delta_{0.30}, T_{g1}(z))$$

Коэффициенты динамичности ξ

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



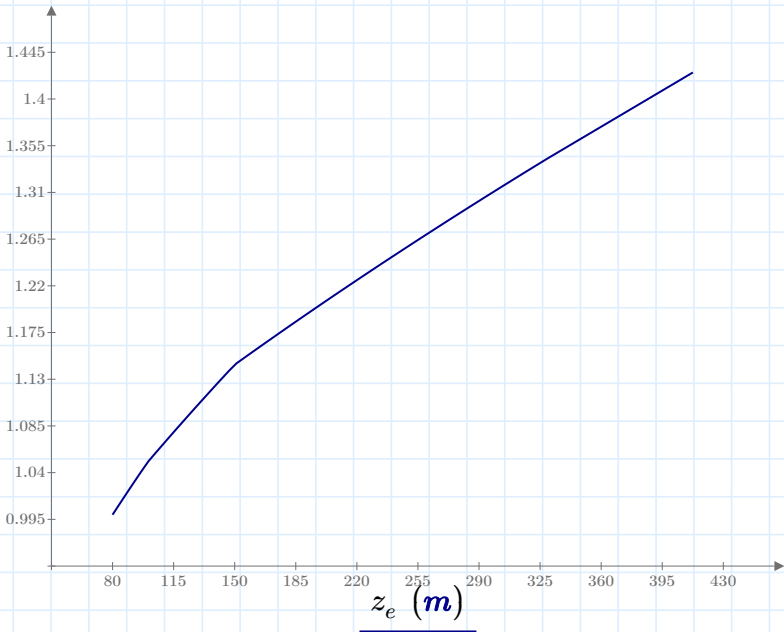
$$\xi(z_e)_n = 2.596$$

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

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

Предельное значение частоты
собственных колебаний

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



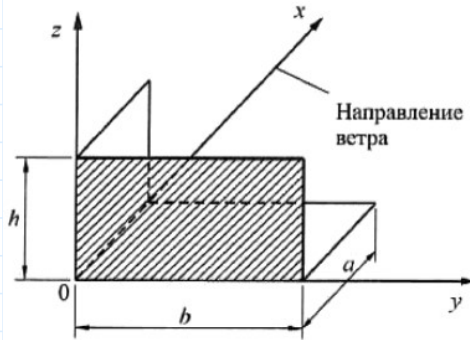
Коэффициент корреляции ν

Таблица 11.6

ρ_i	χ_{-5}	χ_{-10}	χ_{-20}	χ_{-40}	χ_{-80}	χ_{-160}	χ_{-350}
(m)							
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 ν

Таблица 11.7



$$b := d$$

$$\rho := b$$

$$\chi := h$$

mcs	ρ_s	χ_s
"Z0Y"	"b"	"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 +  $\frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi-350, \rho) - \nu_0}{190 \text{ m}} \cdot (\chi - 160 \text{ m})$ 
  else
    || ν ← linterp (ρi, χ-350, ρ)
  ν

```

$$\nu = 0.44$$

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

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

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

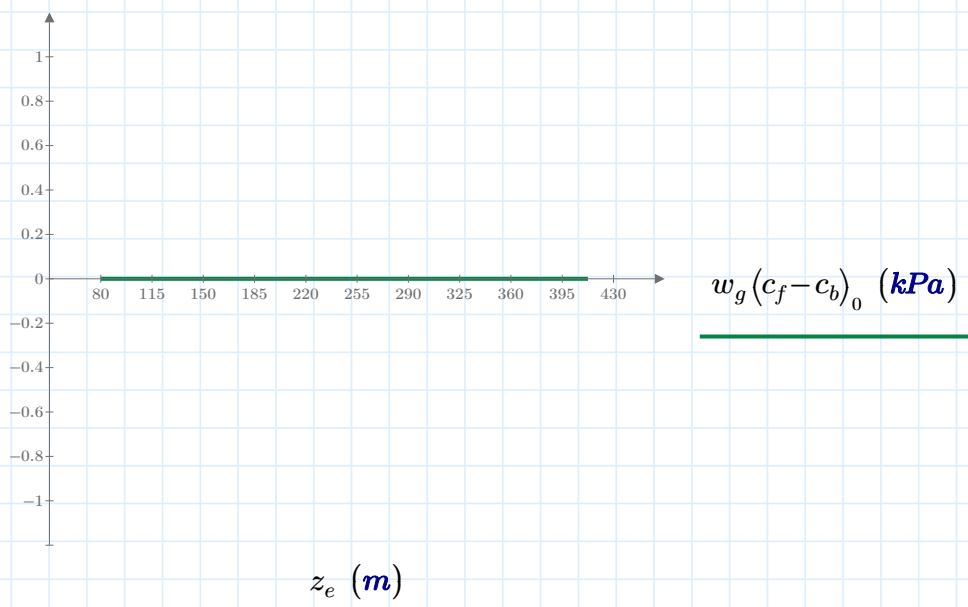
$$f_3 = 1.917 \text{ Hz}$$

Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки

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

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

Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки



Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки

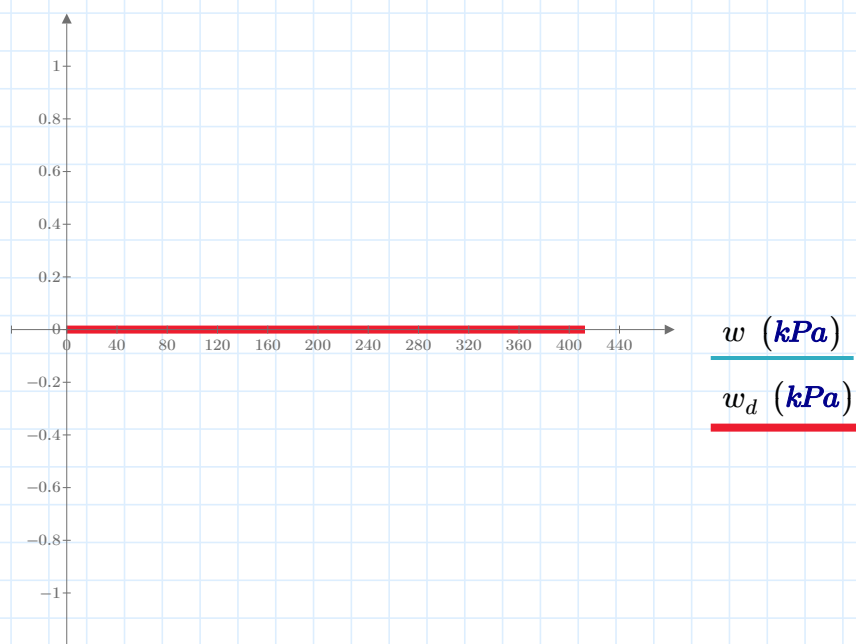
$$\left(w_g(c_f - c_b)\right)_n \cdot s_e \cdot h_{i_{n-1}} = 0 \text{ } \textcolor{blue}{kN}$$

Нормативное значение основной ветровой нагрузки

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

Расчётное значение основной ветровой нагрузки

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



$$\textcolor{blue}{z_i} \text{ (} \textcolor{blue}{m} \text{)}$$

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