

Расчёт ветровой нагрузки по СП 20.13330.2016

тип местности

$ter := \text{“В”}$

сооружение

$bld := \text{“Здание”}$

размер здания в направлении расчетного ветра

$a := 21.4 \text{ м}$

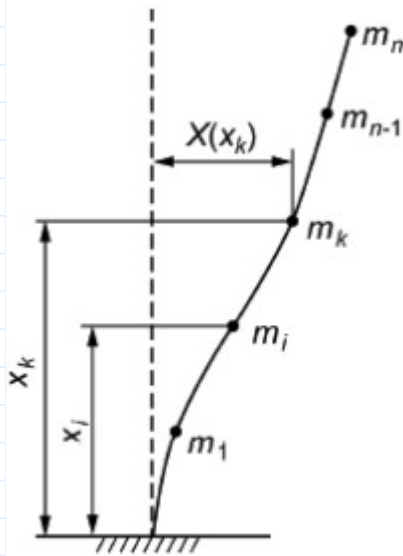
размер здания в направлении перпендикулярном
расчетному направлению ветра

$d := 16 \text{ м}$

коэффициент надёжности по нагрузке

$\gamma_f := 1.4$

Расчётная динамическая
модель РДМ



Модуль упругости бетона

$E := 36000 \text{ МПа}$

Плотность бетона

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

Количество диафрагм
одного направления

$n_d := 8$

td	ld	tp	la	dlv	llv	x_i	
(mm)	(m)	(mm)	(m^2)	(kPa)	(kPa)	(m)	
300	7.2	200	1650	2	4	4.2	Толщина диафрагм td
300	7.2	200	1650	3	2	7.2	Длина диафрагм ld
300	7.2	200	1650	3	2	10.2	Толщина перекрытий tp
300	7.2	200	1650	3	2	13.2	Площади этажей la
300	7.2	200	1650	3	2	16.2	
300	7.2	200	1650	3	2	19.2	Постоянные нагрузки dlv
300	7.2	200	1650	3	2	22.2	Временные нагрузки llv
300	7.2	200	1650	3	2	25.2	
300	7.2	200	1650	3	2	28.2	Отметка перекрытия x_i
300	7.2	200	1650	3	2	31.2	
300	7.2	200	1650	3	2	34.2	
300	7.2	200	1650	3	2	37.2	
300	7.2	200	1650	3	2	40.2	
300	7.2	200	1650	3	2	43.2	
300	7.2	200	1650	3	2	46.2	
300	7.2	200	1650	3	2	49.2	
300	7.2	200	1650	3	2	52.2	
300	7.2	200	1650	3	2	55.2	
300	7.2	200	1650	4	4	59.4	
Момент инерции диафрагм							
$I_d := \frac{\overrightarrow{td \cdot ld^3}}{12} \cdot n_d$				$EI := E \cdot I_d$		$n := \text{rows}(td) = 19$	
Общая длина				$L := x_{i_{n-1}} = 59.4 \text{ } m$			
коэффициент учёта других конструкций				$k_w := 1.1$			

Матрица масс

$$M := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0 \dots n-1 \\ \left\| \begin{array}{l} M_{i,i} \leftarrow \left(tp_i \cdot \gamma + \frac{dlv_i}{g} + \frac{llv_i}{g} \right) \cdot la_i \cdot k_w \\ M \end{array} \right\| \end{array} \right\|$$

Моменты от единичных сил

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

Матрица податливости

$$\Delta := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0 \dots n-1 \\ \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0 \dots n-1 \\ \left\| \begin{array}{l} D_{i,j} \leftarrow \int\limits_{0 \text{ } \mathbf{m}}^L \frac{M_i(x, x_{i_i}, 1 \text{ } \mathbf{kN}) \cdot M_i(x, x_{i_j}, 1 \text{ } \mathbf{kN})}{EI_i} dx \end{array} \right\| \end{array} \right\| \\ D \end{array} \right\|$$

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

Собственные значения

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

Круговая частота

$$\omega := \sqrt{\frac{1}{\lambda}}$$

Период

Техническая частота

Собственные векторы

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

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

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

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

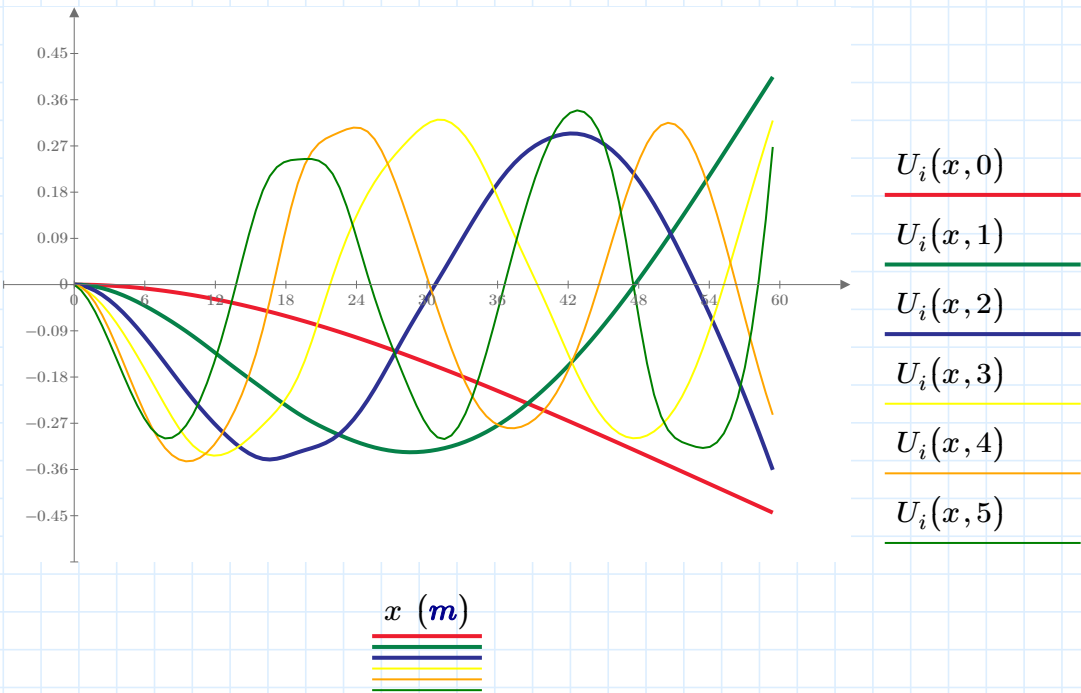
$$vy := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0 \dots n-1 \\ \left\| vy_i \leftarrow \text{stack}(0, U^{(i)}) \right\| \\ vy \end{array} \right\|$$

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

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

Формы колебаний

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



$$T_0 = 3.214 \ s$$

$$T_1 = 0.517 \ s$$

Первая частота
собственных колебаний

Вторая частота
собственных колебаний

$$f_0 = 0.311 \ \frac{1}{s}$$

$$f_1 = 1.935 \ \frac{1}{s}$$

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

высота от поверхности земли

$$h := x_{i_{n-1}} + \Delta z = 59.55 \text{ m}$$

Нормативное значение ветрового давления

Таблица 11.1

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

$$w_0 := I = 0.23 \text{ kPa}$$

Коэффициент k

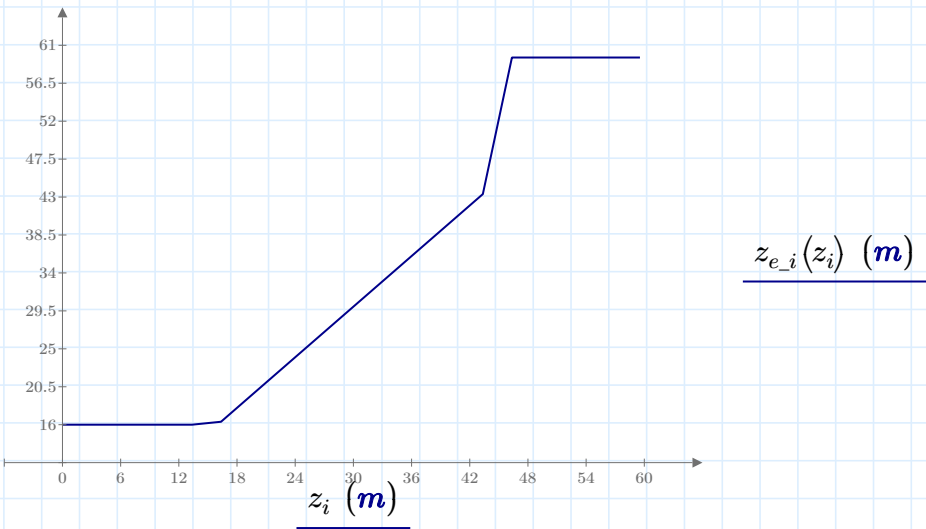
Таблица 11.2

z_{ei} (m)	$A2$	$B2$	$C2$
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

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

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

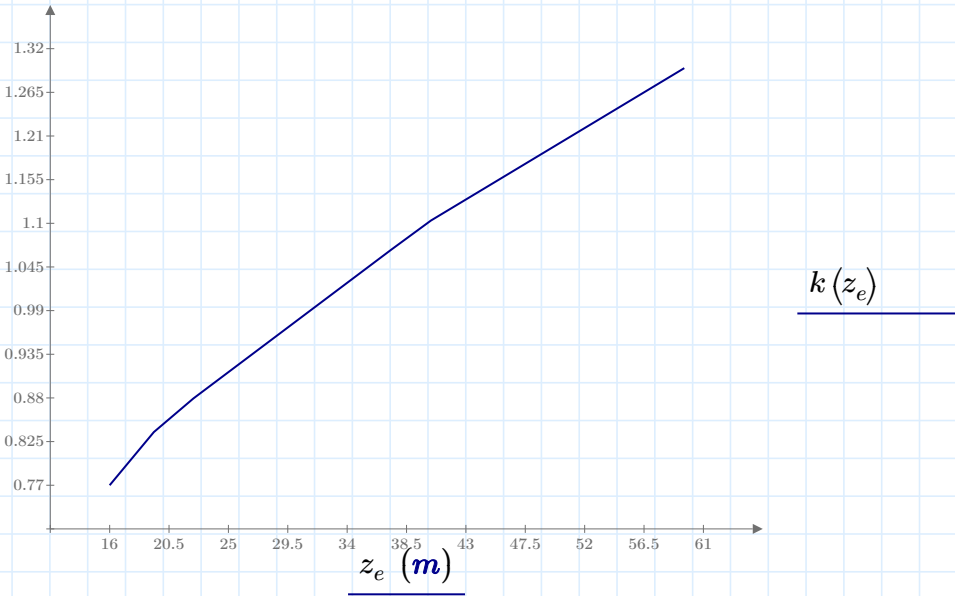
Эквивалентная высота



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

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

Коэффициенты k



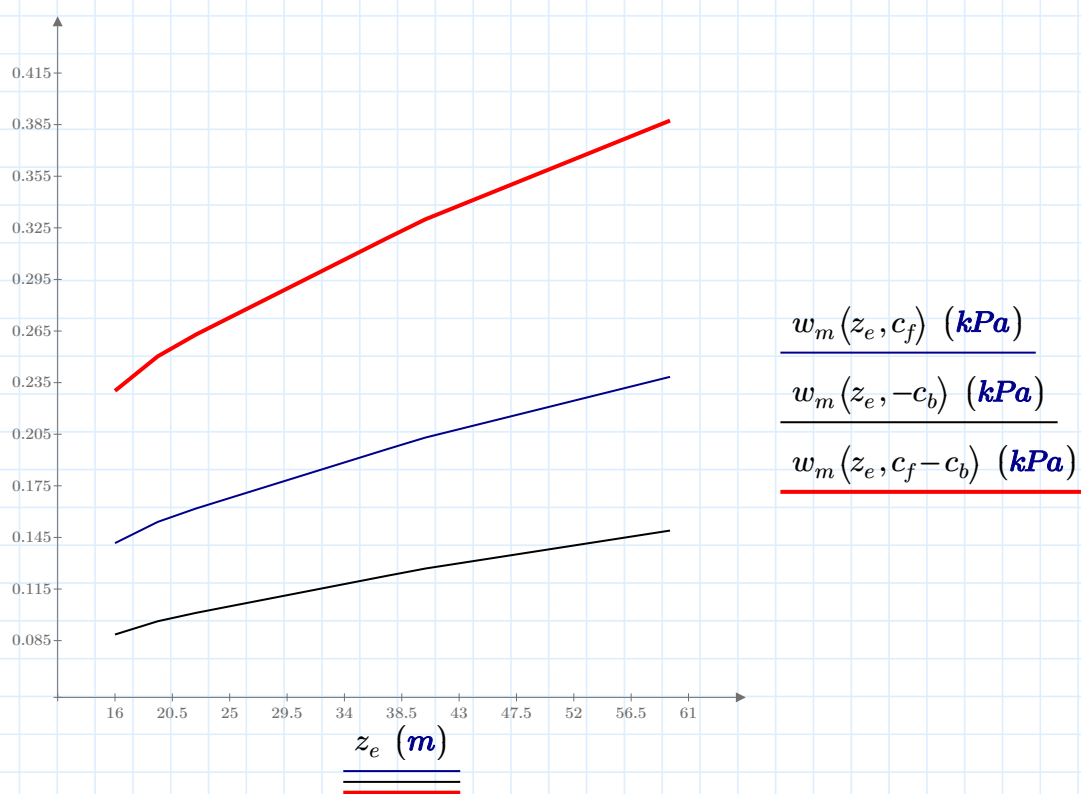
аэродинамический коэффициент

$$c_f := 0.8$$

$$c_b := -0.5$$

Нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки

$$w_m(z, c) := w_0 \cdot k(z) \cdot c$$

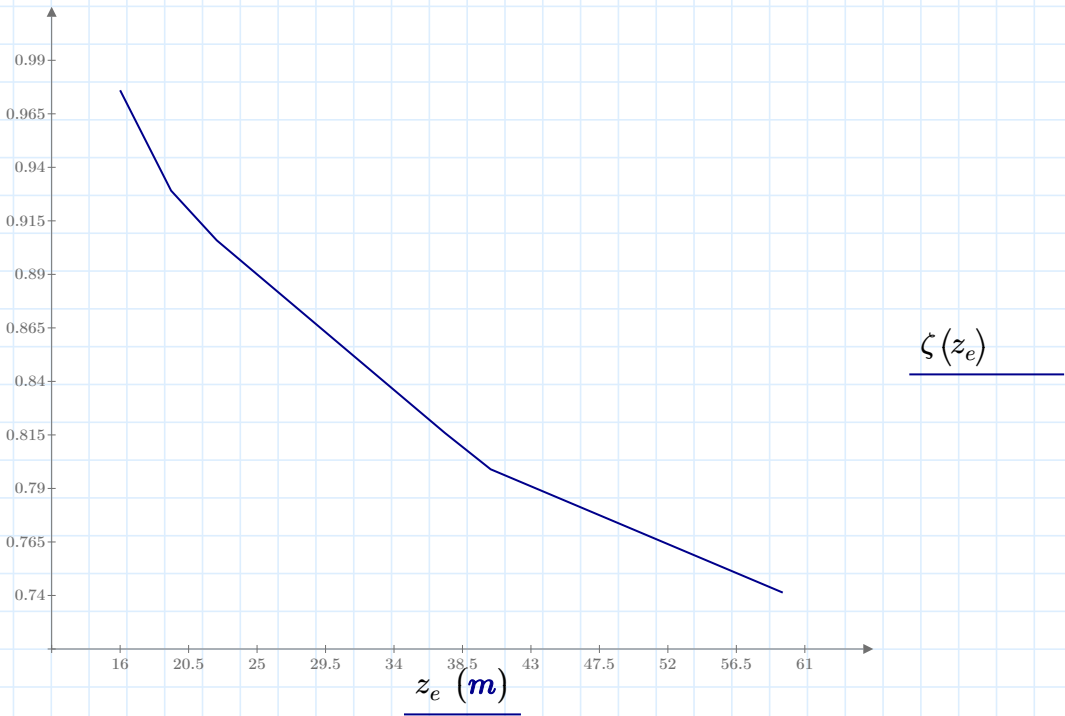


Коэффициент пульсаций давления ветра ζ

Таблица 11.4

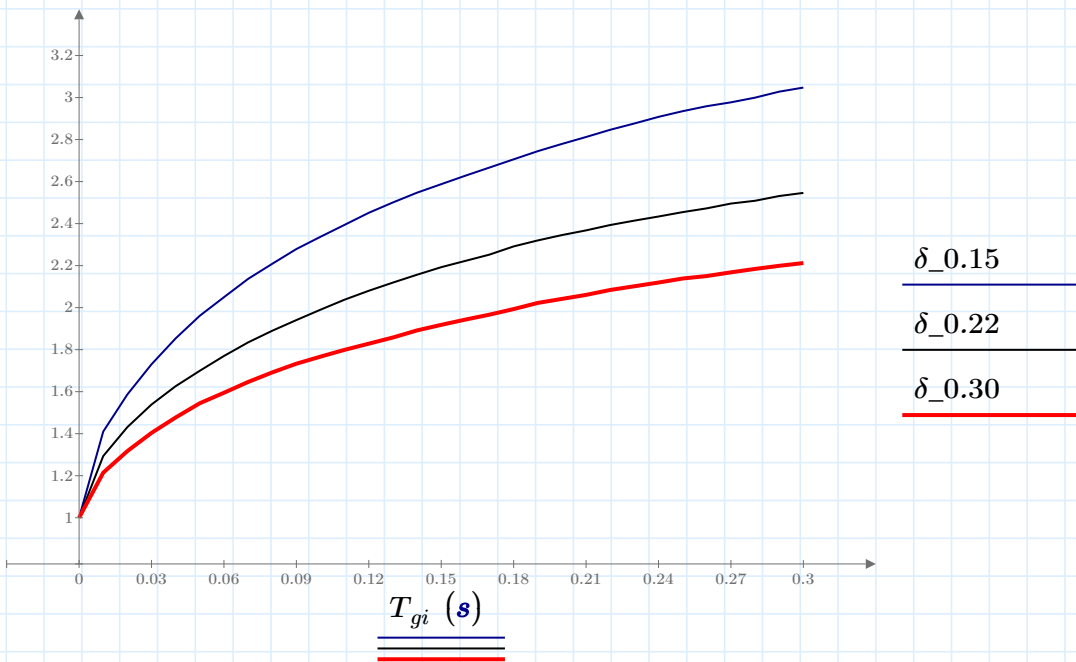
$A4$	$B4$	$C4$
0.85	1.22	1.78
0.85	1.22	1.78
0.76	1.06	1.78
0.69	0.92	1.5
0.62	0.8	1.26
0.58	0.74	1.14
0.56	0.7	1.06
0.54	0.67	1
0.51	0.62	0.9
0.49	0.58	0.84
0.47	0.56	0.8
0.46	0.54	0.76

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



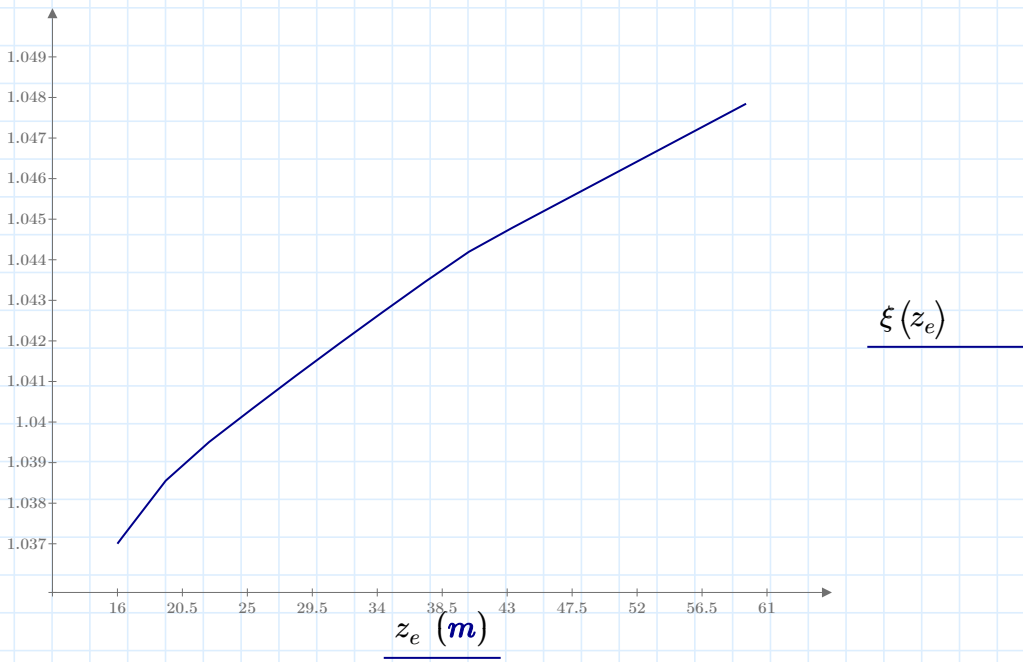
T_{gi}	$\delta_{0.15}$	$\delta_{0.22}$	$\delta_{0.30}$
(s)			
0	1	1	1
0.01	1.4102	1.2935	1.2144
0.02	1.5868	1.4312	1.3171
0.03	1.7304	1.5389	1.4037
0.04	1.8536	1.6261	1.4771
0.05	1.9613	1.6994	1.5449
0.06	2.0496	1.7698	1.5948
0.07	2.1368	1.8345	1.6461
0.08	2.2086	1.8899	1.6916
0.09	2.2789	1.9408	1.733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



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

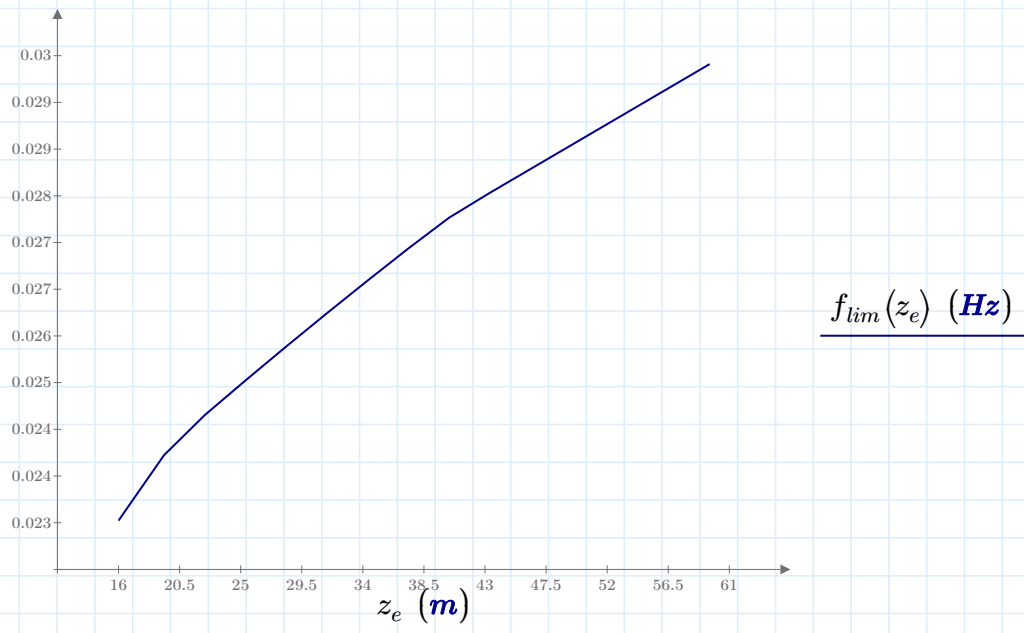
Коэффициенты динамичности ξ



$$T_{glim} := 0.023$$

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

Предельное значение частоты
собственных колебаний



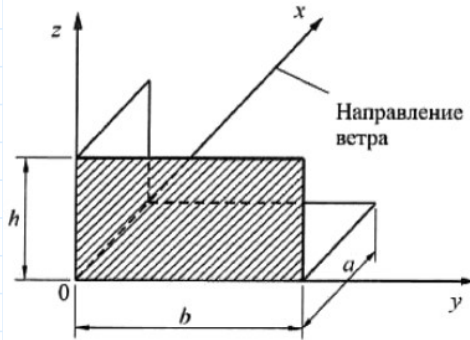
Коэффициент корреляции ν

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

```

$$\nu = 0.72$$

$$\max(f_{lim}(z_i)) = 0.03 \frac{1}{s}$$

$$f_0 = 0.311 \frac{1}{s}$$

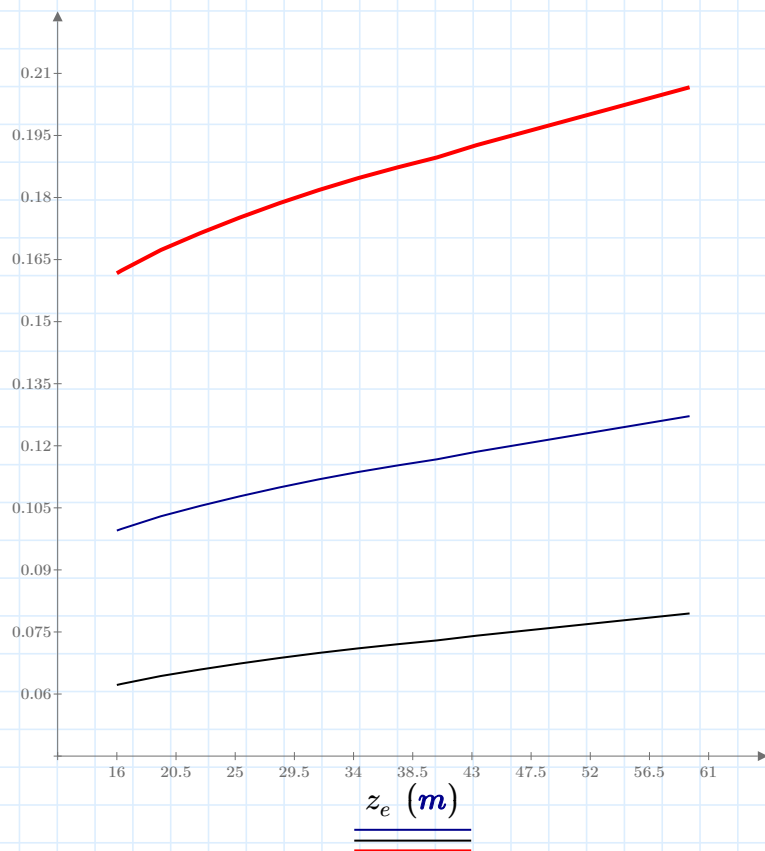
$$f_1 = 1.935 \frac{1}{s}$$

$$f_3 = 10.604 \frac{1}{s}$$

Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки

$$w_g(z, c) := \begin{cases} w \leftarrow w_m(z, c) \\ \zeta \leftarrow \zeta(z_{e,i}(z)) \\ \xi \leftarrow \xi(z) \\ \text{if } f_0 \geq \max(f_{lim}(z_i)) \\ \quad \parallel w \leftarrow \overrightarrow{w \cdot \zeta \cdot \nu} \\ \text{else if } f_0 < \max(f_{lim}(z_i)) \leq f_1 \\ \quad \parallel w \leftarrow \overrightarrow{(w \cdot \xi) \cdot \zeta \cdot \nu} \\ \text{else} \\ \quad \parallel w \leftarrow \overrightarrow{w \cdot \zeta \cdot 0} \\ w \end{cases}$$

Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки w_g



$$\underline{w_g(z_e, c_f) \text{ (kPa)}}$$

$$\underline{w_g(z_e, -c_b) \text{ (kPa)}}$$

$$\underline{w_g(z_e, c_f - c_b) \text{ (kPa)}}$$

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

$$w := w_m(z_e, c_f - c_b) + w_g(z_e, c_f - c_b)$$

Нормативное значение основной ветровой нагрузки w

