

Расчёт ветровой нагрузки по СП 20.13330.2016

тип местности

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

сооружение

$bld := \text{"Здание"}$

размер здания в направлении расчетного ветра

$a := 31 \text{ m}$

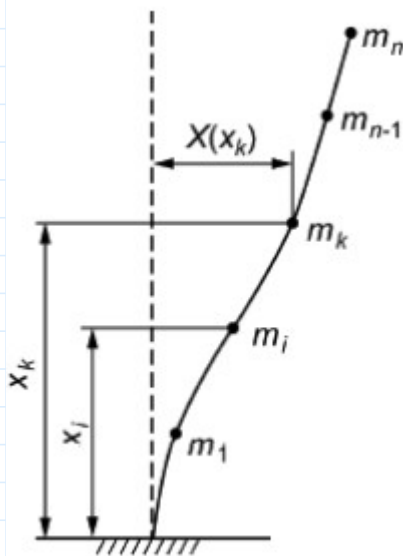
размер здания в направлении перпендикулярном
расчетному направлению ветра

$d := 80 \text{ m}$

коэффициент надёжности по нагрузке ветра

$\gamma_f := 1.4$

Расчётная динамическая
модель РДМ



Модуль упругости бетона

$E := 42000 \text{ MPa}$

Плотность бетона

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

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

[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

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

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

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

коэффициент учёта других конструкций $k_w := 1$

Матрица масс

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

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

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

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

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

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

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

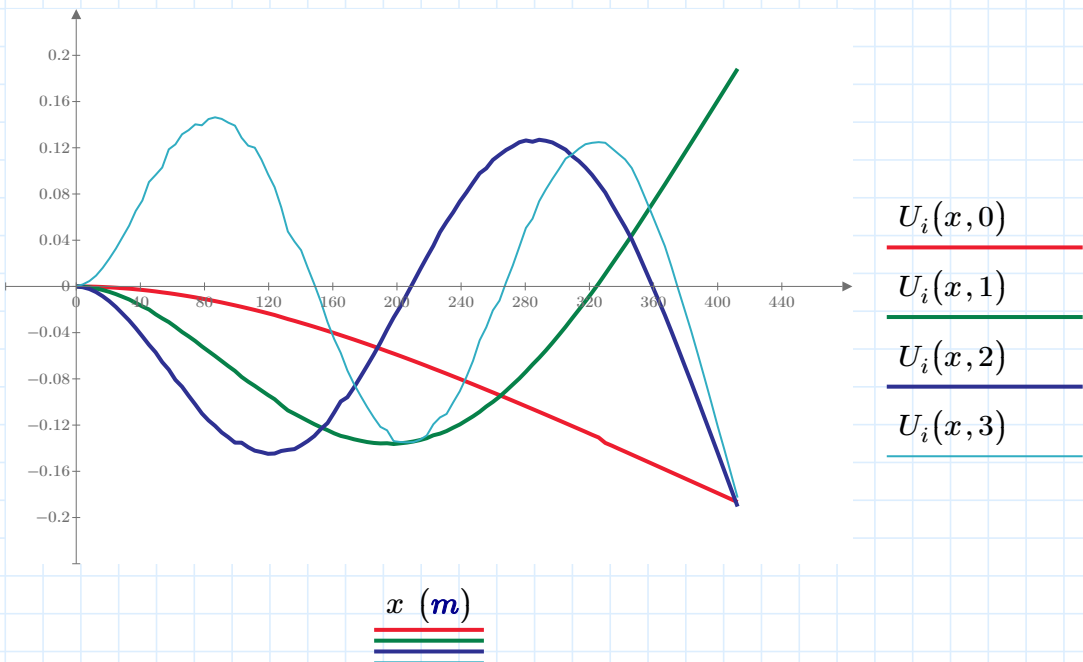
$$vy := \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots n-1 \\ \quad \| vy_i \leftarrow \text{stack}(0, U^{(i)}) \\ vy \end{cases}$$

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

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

Формы колебаний

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



Периоды собственных колебаний

$T_0 = 18.504 \text{ } s$

$T_1 = 2.955 \text{ } s$

$T_2 = 1.05 \text{ } s$

$T_3 = 0.535 \text{ } s$

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 |

$z_e(z, d, h) :=$ if *bld* = “Здание”

if $h \leq z$

$z_e \leftarrow h$

else if $d < h \leq 2 \cdot d$

 if $z \geq h - d$

$z_e \leftarrow h$

 else if $0 < z < h - d$

$z_e \leftarrow d$

 else

$z_e \leftarrow z$

else if $h > 2 \cdot d$

 if $z \geq h - d$

$z_e \leftarrow h$

 else if $d < z < h - d$

$z_e \leftarrow z$

 else if $0 \leq z \leq d$

$z_e \leftarrow d$

 else

$z_e \leftarrow z$

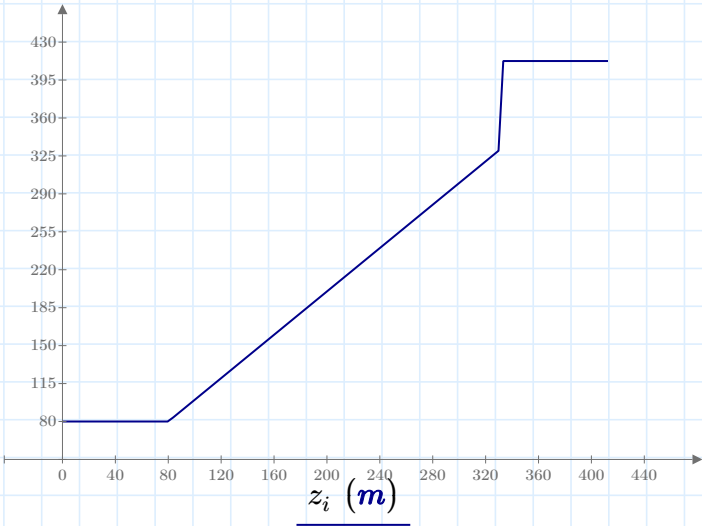
else

$z_e \leftarrow z$

z_e

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

Эквивалентная высота

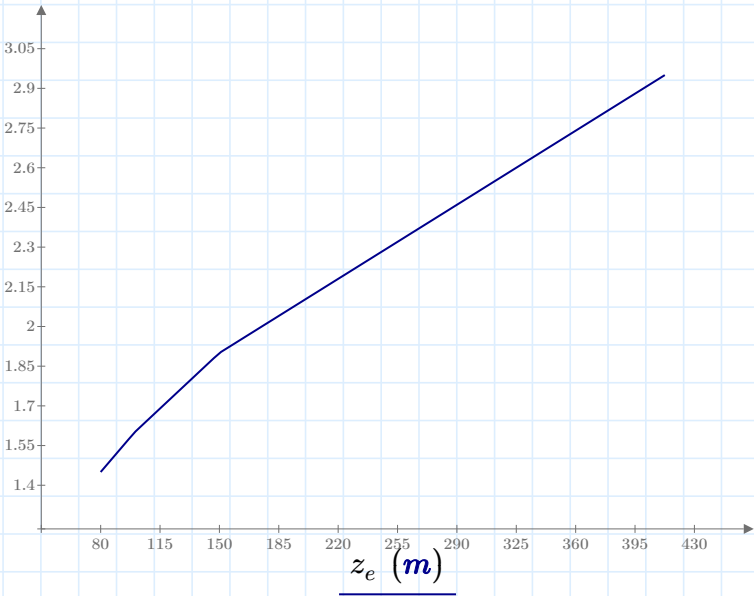


$z_e := z_{e_i} \left(z_i \right)$

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

Коэффициенты k

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



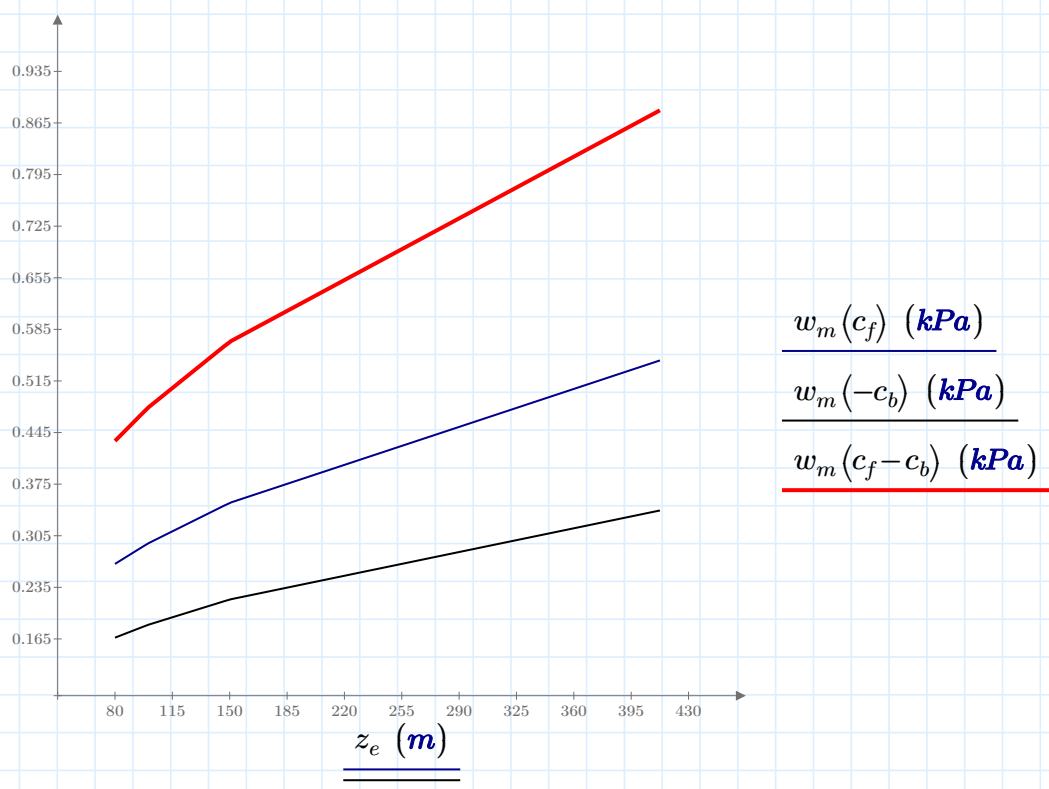
аэродинамический коэффициент

$$c_f := 0.8$$

$$c_b := -0.5$$

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

$A4$ $B4$ $C4$

Таблица 11.4

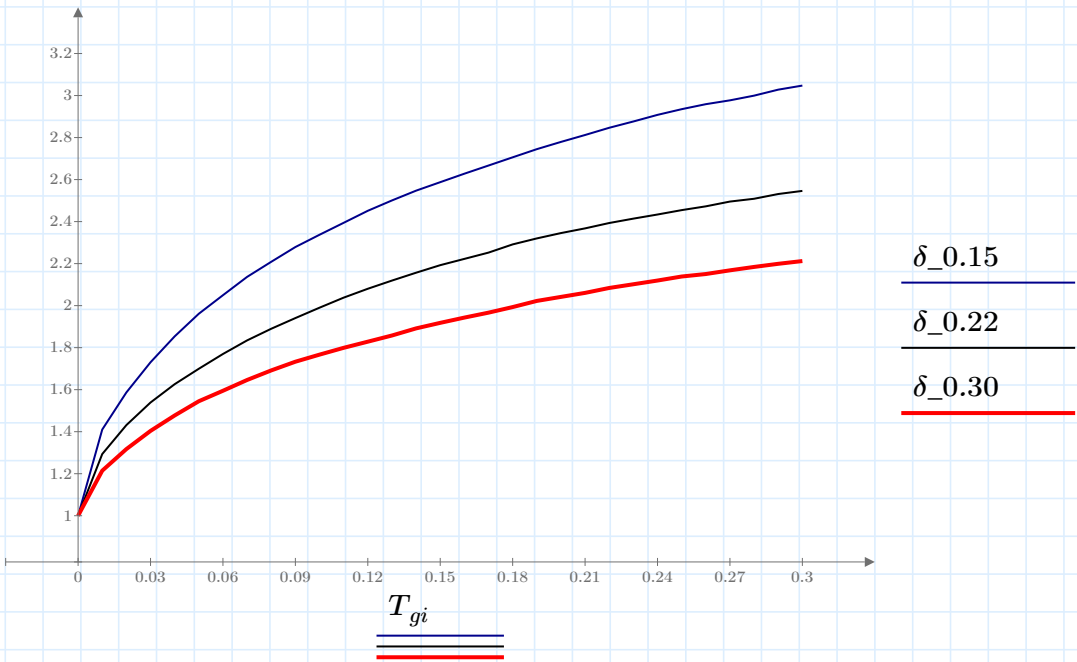
| | | |
|------|------|------|
| 0.94 | 1.38 | 1.78 |
| 0.85 | 1.22 | 1.78 |
| 0.76 | 1.06 | 1.78 |
| 0.69 | 0.92 | 1.5 |
| 0.62 | 0.8 | 1.26 |
| 0.58 | 0.74 | 1.14 |
| 0.56 | 0.7 | 1.06 |
| 0.54 | 0.67 | 1 |
| 0.51 | 0.62 | 0.9 |
| 0.49 | 0.58 | 0.84 |
| 0.47 | 0.56 | 0.8 |
| 0.46 | 0.54 | 0.76 |
| 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 |

Коэффициенты динамичности ξ

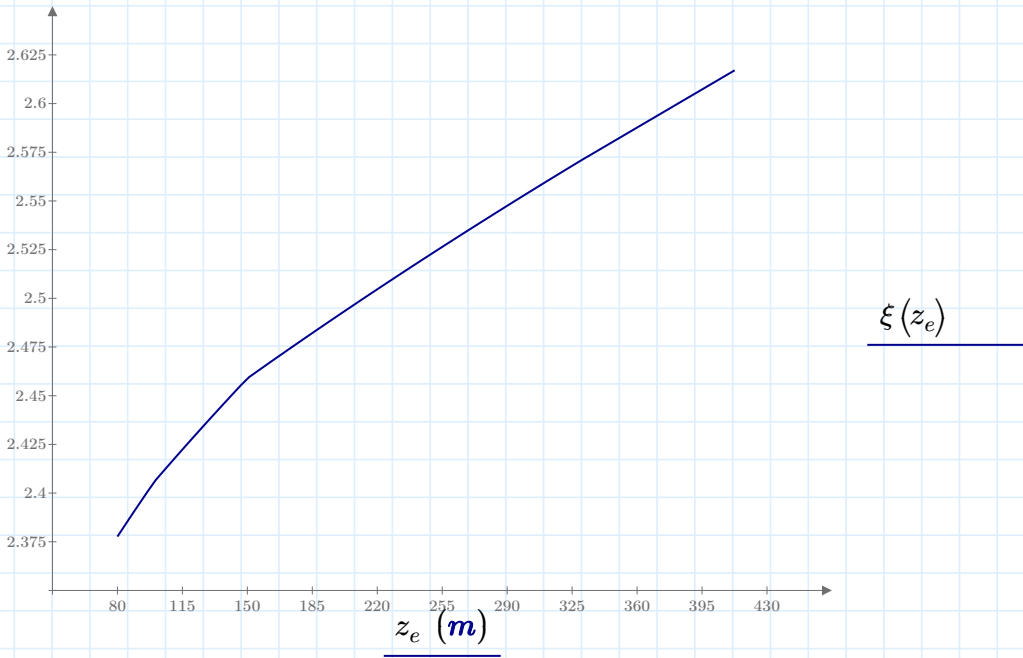


$$T_{g1}(z) := \frac{\sqrt{w_0 \cdot k(z) \cdot \gamma_f \cdot \frac{m^2}{N}}}{940 \cdot f_0 \cdot s}$$

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

Коэффициенты динамичности ξ

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



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

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

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

Предельное значение частоты
собственных колебаний

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

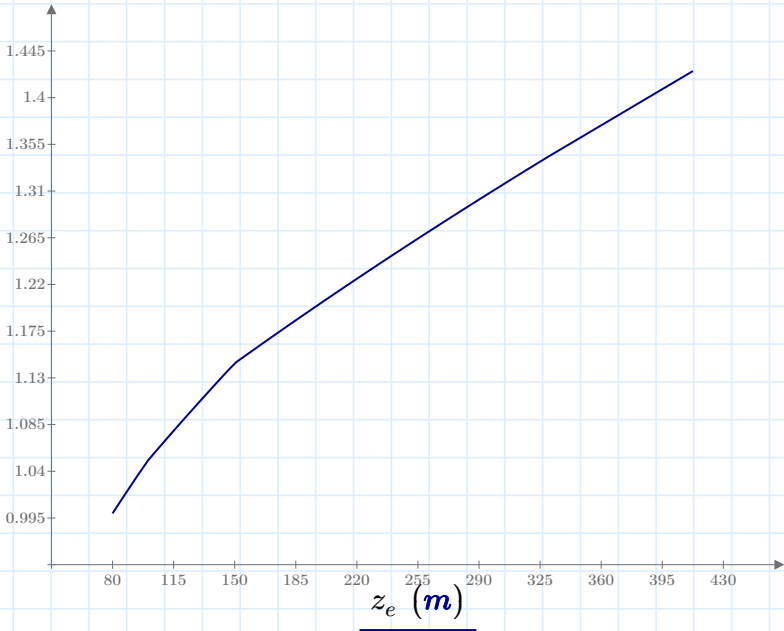
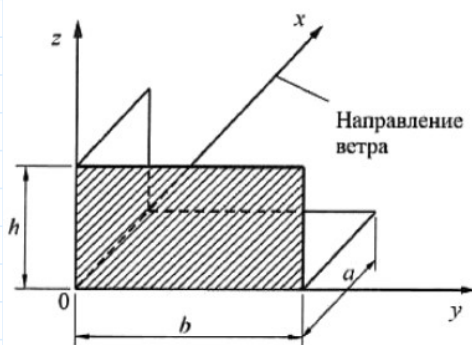


Таблица 11.6

| ρ_i (m) | 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 |

Таблица 11.7



| | <i>mcs</i> | ρ_s | χ_s |
|-------------|------------|----------|----------|
| $b := d$ | | | |
| $\rho := b$ | “Z0Y” | “b” | “h” |
| | “Z0X” | “0.4*a” | “h” |
| $\chi := h$ | “X0Y” | “b” | “a” |

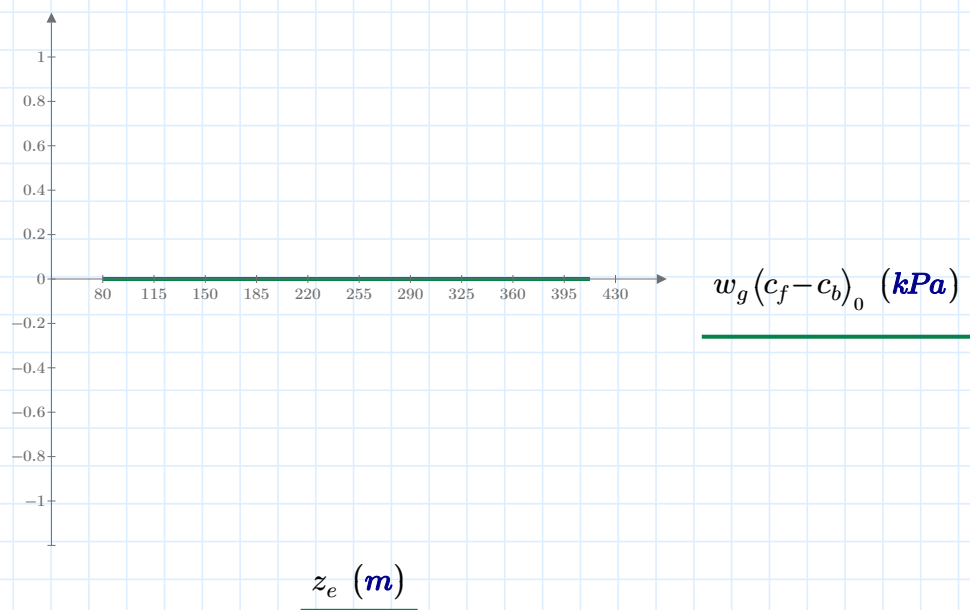
| | |
|--|--|
| $ \begin{aligned} \nu := & \text{ if } \chi \leq 5 \text{ m} \\ & \quad \nu \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-5}, \rho) \\ & \text{ else if } 5 \text{ m} < \chi \leq 10 \text{ m} \\ & \quad \nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-5}, \rho) \\ & \quad \nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-10}, \rho) - \nu_0}{5 \text{ m}} \cdot (\chi - 5 \text{ m}) \\ & \text{ else if } 10 \text{ m} < \chi \leq 20 \text{ m} \\ & \quad \nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-10}, \rho) \\ & \quad \nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-20}, \rho) - \nu_0}{10 \text{ m}} \cdot (\chi - 10 \text{ m}) \\ & \text{ else if } 20 \text{ m} < \chi \leq 40 \text{ m} \\ & \quad \nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-20}, \rho) \\ & \quad \nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-40}, \rho) - \nu_0}{20 \text{ m}} \cdot (\chi - 20 \text{ m}) \\ & \text{ else if } 40 \text{ m} < \chi \leq 80 \text{ m} \\ & \quad \nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-40}, \rho) \\ & \quad \nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-80}, \rho) - \nu_0}{40 \text{ m}} \cdot (\chi - 40 \text{ m}) \\ & \text{ else if } 80 \text{ m} < \chi \leq 160 \text{ m} \\ & \quad \nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-80}, \rho) \\ & \quad \nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-160}, \rho) - \nu_0}{80 \text{ m}} \cdot (\chi - 80 \text{ m}) \\ & \text{ else if } 160 \text{ m} < \chi \leq 350 \text{ m} \\ & \quad \nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-160}, \rho) \\ & \quad \nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-350}, \rho) - \nu_0}{190 \text{ m}} \cdot (\chi - 160 \text{ m}) \\ & \text{ else if } 350 \text{ m} < \chi \leq 700 \text{ m} \\ & \quad \nu_0 \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-350}, \rho) \\ & \quad \nu \leftarrow \nu_0 + \frac{\text{linterp}(\rho_i, \chi_{-700}, \rho) - \nu_0}{190 \text{ m}} \cdot (\chi - 350 \text{ m}) \\ & \text{ else} \\ & \quad \nu \leftarrow \text{linterp}(\rho_i, \chi_{-700}, \rho) \\ & \nu \end{aligned} $ | $ \begin{aligned} \nu &= 0.417 \\ 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} \end{aligned} $ |
|--|--|

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



Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки

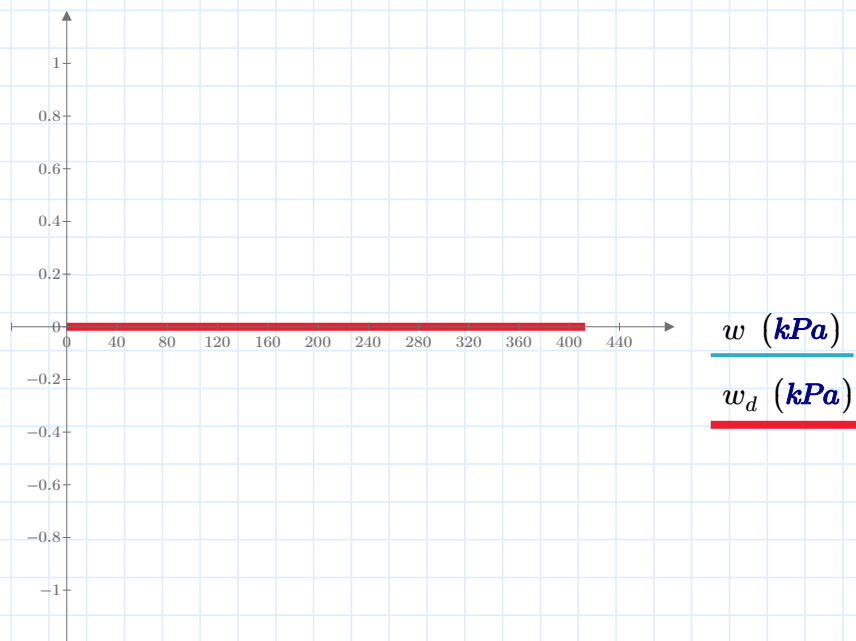
$$\left(w_g(c_f - c_b)\right)_0 \cdot s_c \cdot h_{i_{n-1}} = 0 \text{ } \textcolor{blue}{kN}$$

Нормативное значение основной ветровой нагрузки

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

Расчётное значение основной ветровой нагрузки

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



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

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