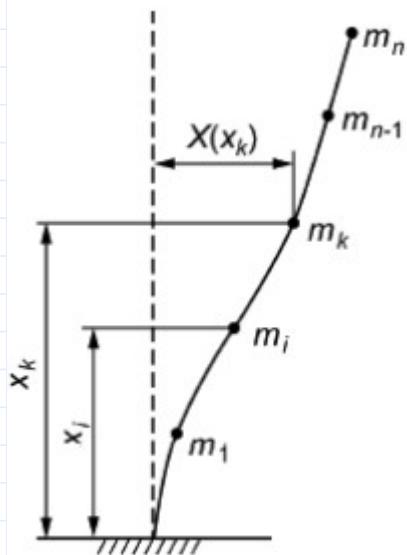


Расчёт на сейсмическое воздействие с применением  
консольной РДМ по линейно-спектральному методу  
СП 14.13330.2018 методом сил

Расчётная динамическая  
модель РДМ

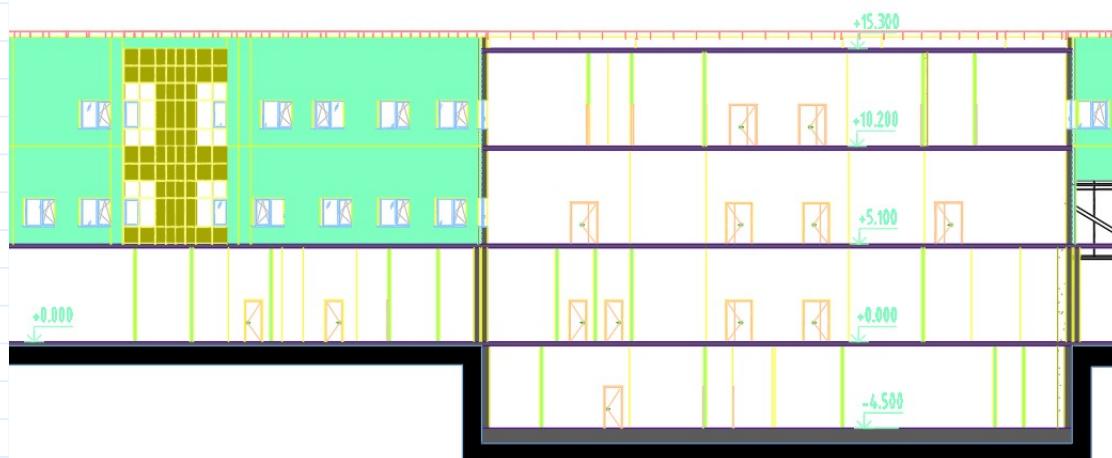


Модуль упругости бетона

$$E := 36000 \text{ MPa}$$

Плотность бетона

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



Толщина диафрагм

$$td := \begin{bmatrix} 300 \\ 300 \\ 300 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

Длина диафрагм

$$ld := \begin{bmatrix} 7.2 \\ 7.2 \\ 7.2 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Количество диафрагм

$$n_d := 8$$

Толщина перекрытий

$$tp := \begin{bmatrix} 200 \\ 200 \\ 200 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

Отметки этажей

$$x_i := \begin{bmatrix} 5.1 \\ 10.2 \\ 15.3 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Площади этажей

$$la := \begin{bmatrix} 1650 \\ 1650 \\ 1650 \end{bmatrix} \text{ m}^2$$

Постоянные нагрузки

$$dlv := \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} \cdot \text{kPa}$$

Временные нагрузки

$$llv := \begin{bmatrix} 4 \\ 4 \\ 2 \end{bmatrix} \cdot \text{kPa}$$

Момент инерции диафрагм

$$I := \frac{\overrightarrow{td \cdot ld^3}}{12} \cdot n_d$$

$$EI := E \cdot I$$

$$n := \text{rows}(x_i) = 3$$

Общая длина

$$L := x_{i_{n-1}} = 15.3 \text{ m}$$

коэффициент учёта  
других конструкций

$$k_w := 1.1$$

Матрица масс

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

$$M = \begin{bmatrix} 2.108721 \cdot 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 2.108721 \cdot 10^3 & 0 \\ 0 & 0 & 1.923642 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \text{ tonne}$$

## Моменты от единичных сил

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

## Матрица податливости

$$\delta := \begin{cases} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \text{for } j \in 0..n-1 \\ \quad \quad \| D_{i,j} \leftarrow \int_0^L M_i(x, x_{i_i}, 1 \text{ } kN) \cdot M_i(x, x_{i_j}, 1 \text{ } kN) dx \\ \quad \| EI_i \\ \| D \end{cases}$$

$$\delta = \begin{bmatrix} 0.000000016461 & 0.000000041174 & 0.00000006583 \\ 0.000000041174 & 0.000000131621 & 0.000000230376 \\ 0.00000006583 & 0.000000230376 & 0.000000444246 \end{bmatrix} \text{ } kN \cdot m$$

$$d := \delta \cdot M = \begin{bmatrix} 0.00003471 & 0.00008682 & 0.00012663 \\ 0.00008682 & 0.00027755 & 0.00044316 \\ 0.00013882 & 0.0004858 & 0.00085457 \end{bmatrix} \text{ } \text{tonne} \cdot kN \cdot m$$

## Собственные значения

$$\lambda := \text{eigenvals}(d) = \begin{bmatrix} 0.00113514 \\ 0.00002785 \\ 0.00000385 \end{bmatrix} \text{ } \text{tonne} \cdot kN \cdot m$$

Круговая частота

$$\omega := \sqrt{\frac{1}{\lambda}} = \begin{bmatrix} 29.680754 \\ 189.506777 \\ 509.927222 \end{bmatrix} \frac{1}{s \cdot kN}$$

Период

$$T := \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = \begin{bmatrix} 0.211692 \\ 0.033155 \\ 0.012322 \end{bmatrix} s \cdot kN$$

Техническая частота

$$f := \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \begin{bmatrix} 4.723839 \\ 30.16094 \\ 81.157438 \end{bmatrix} \frac{1}{s \cdot kN}$$

Собственные векторы

$$U := \text{eigenvects}(d) = \begin{bmatrix} -0.137345 & -0.571014 & -0.802976 \\ -0.465668 & -0.66231 & 0.564473 \\ -0.874237 & 0.485065 & -0.191312 \end{bmatrix}$$

$$vx := \text{stack}(0, m, x_i) = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.1 \\ 10.2 \\ 15.3 \end{bmatrix} m$$

$$vy := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \left\| vy_i \leftarrow \text{stack}(0, U^{(i)}) \right. \\ \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} [4 \times 1] \\ [4 \times 1] \\ [4 \times 1] \end{bmatrix}$$

$$c0 := \text{cspline}(vx, vy_0)$$

$$U_0(x) := \text{interp}(c0, vx, vy_0, x)$$

$$c1 := \text{cspline}(vx, vy_1)$$

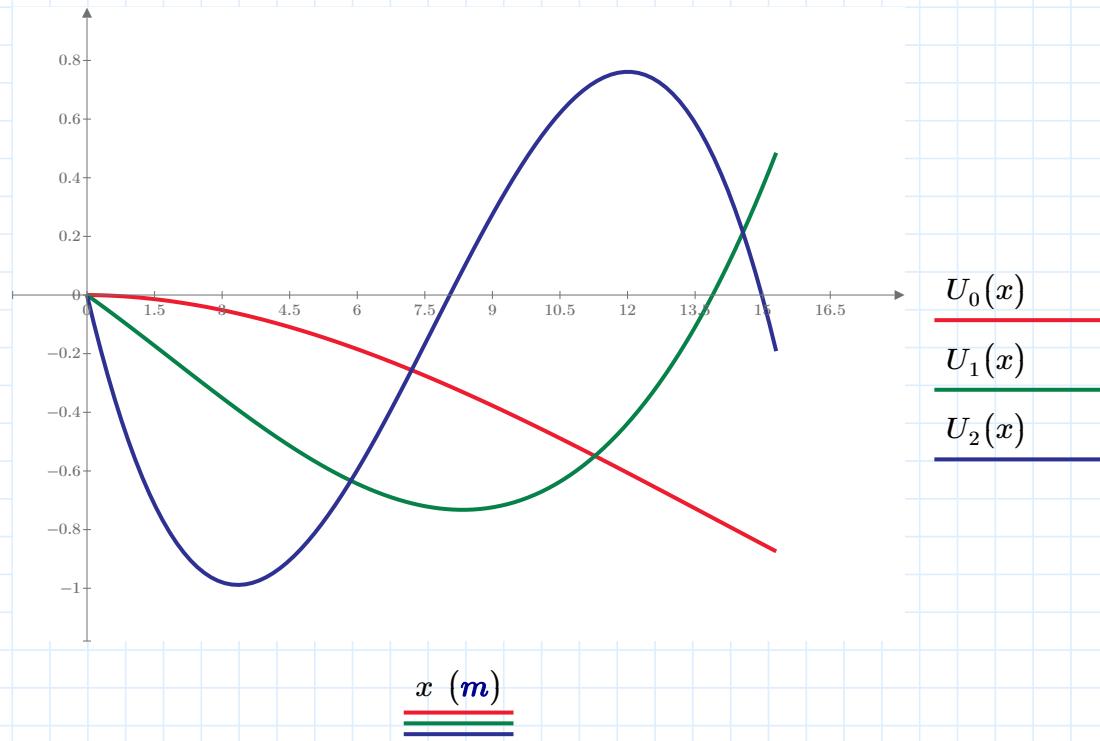
$$U_1(x) := \text{interp}(c1, vx, vy_1, x)$$

$$c2 := \text{cspline}(vx, vy_2)$$

$$U_2(x) := \text{interp}(c2, vx, vy_2, x)$$

Формы колебаний

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



Матрица весов масс

$$G := M \cdot \mathbf{g} = \begin{bmatrix} 2.067949 \cdot 10^4 & 0 & 0 \\ 0 & 2.067949 \cdot 10^4 & 0 \\ 0 & 0 & 1.886449 \cdot 10^4 \end{bmatrix} \mathbf{kN}$$

$$E1 := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} E_i \leftarrow 1 \\ E \end{array} \right. \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

коэффициент, зависящий от формы деформации здания или сооружения при его собственных колебаниях по  $i$ -й форме, от узловой точки приложения рассчитываемой нагрузки и направления сейсмического воздействия

$$\eta := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \eta_i \leftarrow \frac{(U^{(i)})^T \cdot G \cdot E1}{(U^{(i)})^T \cdot G \cdot U^{(i)}} \cdot U^{(i)} \\ \eta \end{array} \right. \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.206186 \\ 0.699071 \\ 1.312423 \\ 0.461098 \\ 0.53482 \\ -0.391694 \\ 0.332716 \\ -0.233892 \\ 0.079271 \end{bmatrix}$$

### Проверка

$$\binom{\eta_0}{0} + \binom{\eta_1}{0} + \binom{\eta_2}{0} = 1$$

$$\binom{\eta_0}{1} + \binom{\eta_1}{1} + \binom{\eta_2}{1} = 1$$

$$\binom{\eta_0}{2} + \binom{\eta_1}{2} + \binom{\eta_2}{2} = 1$$

значение ускорения в уровне основания

$$As := 4 \frac{m}{s^2}$$

коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность

$$K_0 := 1.1$$

коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений

$$K_1 := 0.3$$

коэффициент, учитывающий способность зданий и сооружений к рассеиванию энергии

$$K_\Psi := 1$$

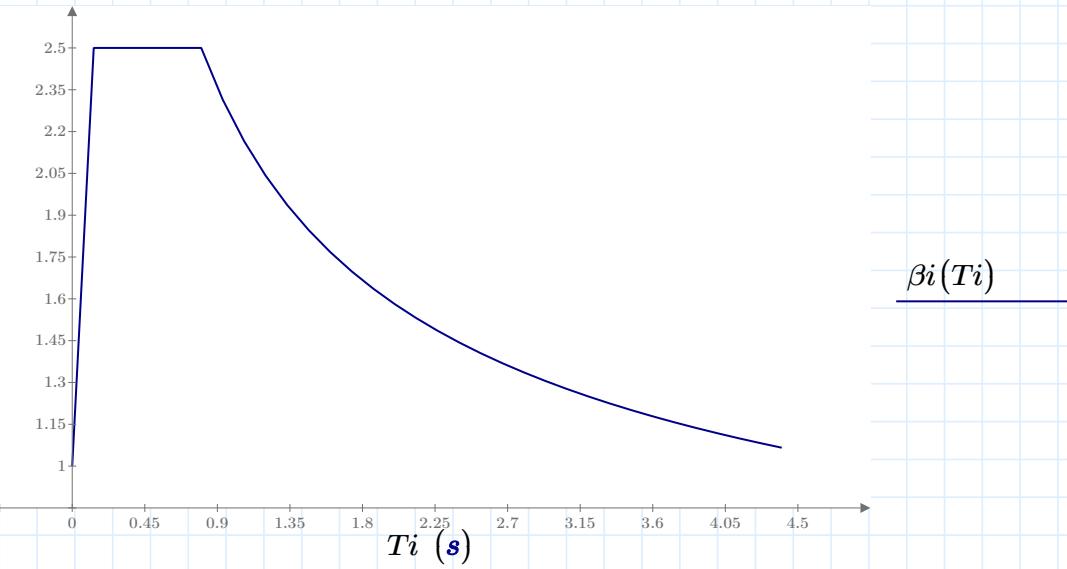
Категории грунтов

$$soil := 3$$

$$\beta_i(T) := \begin{cases} \text{if } soil = 1 \\ \quad \begin{cases} \text{if } T \leq 0.1 s \\ \quad \beta_i \leftarrow 1 + 15 \cdot \frac{T}{s} \\ \text{else if } 0.1 s < T < 0.4 s \\ \quad \beta_i \leftarrow 2.5 \\ \text{else} \\ \quad \beta_i \leftarrow 2.5 \cdot \left( \frac{0.4 \cdot s}{T} \right)^{0.5} \end{cases} \\ \text{else} \\ \quad \begin{cases} \text{if } T \leq 0.1 s \\ \quad \beta_i \leftarrow 1 + 15 \cdot \frac{T}{s} \\ \text{else if } 0.1 s < T < 0.8 s \\ \quad \beta_i \leftarrow 2.5 \\ \text{else} \\ \quad \beta_i \leftarrow 2.5 \cdot \left( \frac{0.8 \cdot s}{T} \right)^{0.5} \end{cases} \\ \text{if } \beta_i < 0.8 \\ \quad \beta_i \leftarrow 0.8 \\ \beta_i \end{cases} \end{cases}$$

Значения коэффициента динамичности

$$Ti := 0 \text{ } s, \frac{2 \text{ } s}{15} \dots 4.5 \text{ } s$$



$$\beta := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \beta_i \leftarrow \beta_i \left( \frac{T_i}{kN} \right) \end{array} \right. \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 2.5 \\ 1.497332 \\ 1.184826 \end{bmatrix} \quad S_0 := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} S_{0i} \leftarrow M \cdot \eta_i \cdot As \cdot \beta_i \cdot K_\Psi \end{array} \right. \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1.434801 \cdot 10^3 \\ 4.864683 \cdot 10^3 \\ 8.331289 \cdot 10^3 \\ 1.921783 \cdot 10^3 \\ 2.229047 \cdot 10^3 \\ -1.489235 \cdot 10^3 \\ 1.097291 \cdot 10^3 \\ -771.36976 \\ 238.487732 \end{bmatrix}$$

Расчетная сейсмическая нагрузка

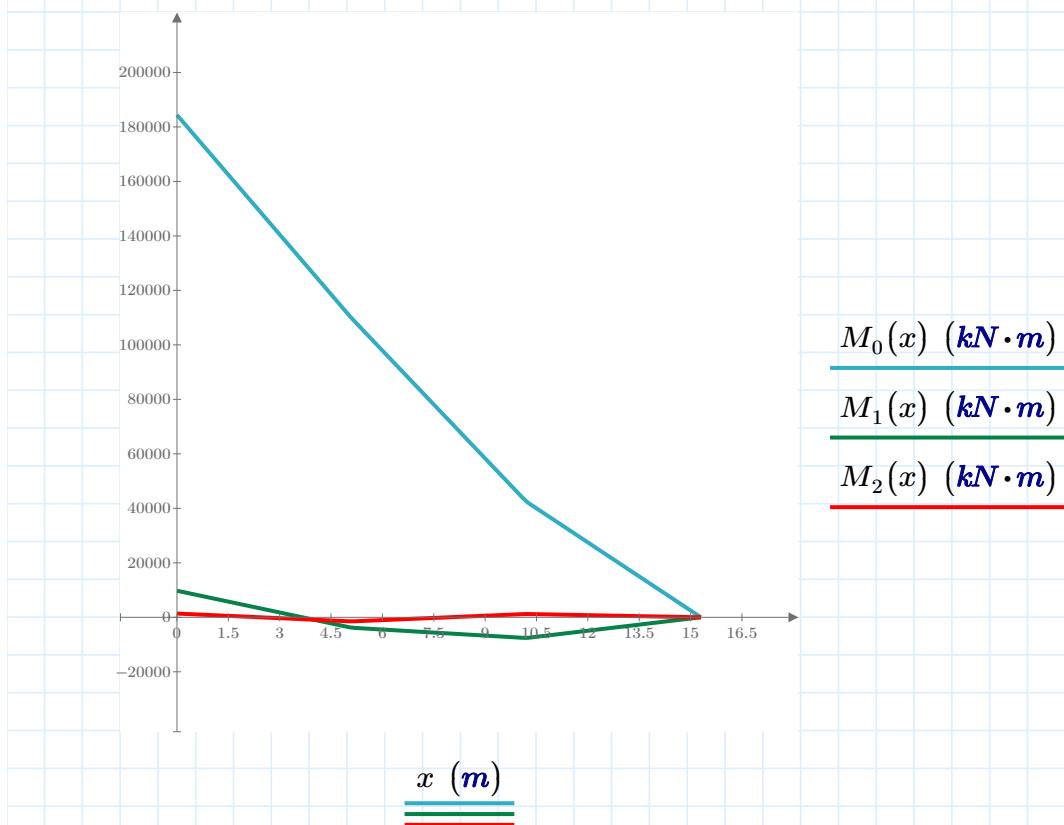
$$S := K_0 \cdot K_1 \cdot S_0 = \begin{bmatrix} 1.434801 \cdot 10^3 \\ 4.864683 \cdot 10^3 \\ 8.331289 \cdot 10^3 \\ 1.921783 \cdot 10^3 \\ 2.229047 \cdot 10^3 \\ -1.489235 \cdot 10^3 \\ 1.097291 \cdot 10^3 \\ -771.36976 \\ 238.487732 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$M_0(x) := M_i \left( x, x_{i_0}, \left( S_0^{\frac{0}{0}} \right)_0 \right) + M_i \left( x, x_{i_1}, \left( S_0^{\frac{1}{1}} \right)_0 \right) + M_i \left( x, x_{i_2}, \left( S_0^{\frac{2}{2}} \right)_0 \right)$$

$$M_1(x) := M_i \left( x, x_{i_0}, \left( S_1^{\frac{0}{0}} \right)_0 \right) + M_i \left( x, x_{i_1}, \left( S_1^{\frac{1}{1}} \right)_0 \right) + M_i \left( x, x_{i_2}, \left( S_1^{\frac{2}{2}} \right)_0 \right)$$

$$M_2(x) := M_i \left( x, x_{i_0}, \left( S_2^{\frac{0}{0}} \right)_0 \right) + M_i \left( x, x_{i_1}, \left( S_2^{\frac{1}{1}} \right)_0 \right) + M_i \left( x, x_{i_2}, \left( S_2^{\frac{2}{2}} \right)_0 \right)$$

Изгибающие моменты в диафрагмах по формам



$$M_0(0 \text{ m}) = 184405.971 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

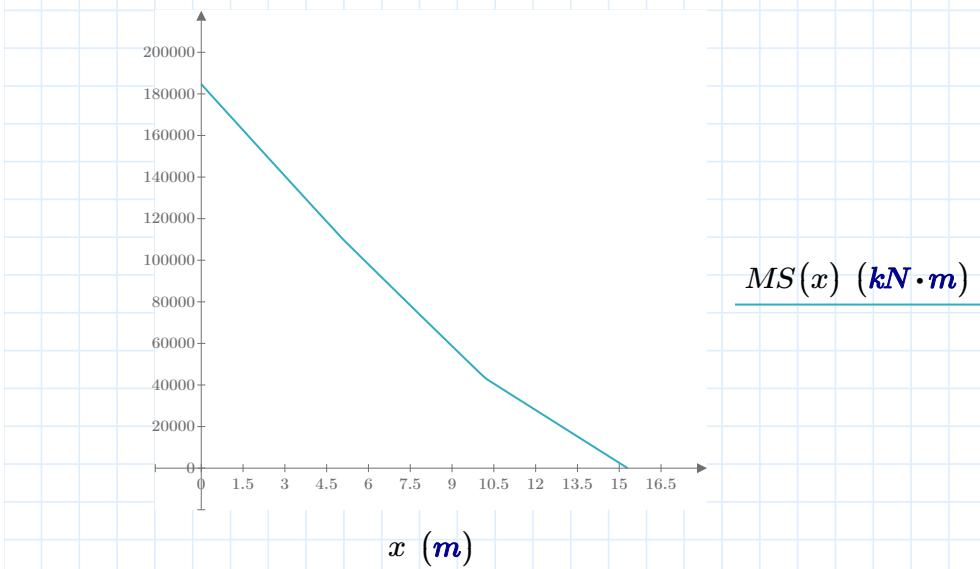
### Суммарная эпюра моментов

$$M_0(x) := \left( M_i\left(x, x_{i_0}, \left(S_0^{\frac{0}{0}}\right)_0\right) + M_i\left(x, x_{i_1}, \left(S_0^{\frac{1}{1}}\right)_0\right) + M_i\left(x, x_{i_2}, \left(S_0^{\frac{2}{2}}\right)_0\right) \right)^2$$

$$M_1(x) := \left( M_i\left(x, x_{i_0}, \left(S_1^{\frac{0}{0}}\right)_0\right) + M_i\left(x, x_{i_1}, \left(S_1^{\frac{1}{1}}\right)_0\right) + M_i\left(x, x_{i_2}, \left(S_1^{\frac{2}{2}}\right)_0\right) \right)^2$$

$$M_2(x) := \left( M_i\left(x, x_{i_0}, \left(S_2^{\frac{0}{0}}\right)_0\right) + M_i\left(x, x_{i_1}, \left(S_2^{\frac{1}{1}}\right)_0\right) + M_i\left(x, x_{i_2}, \left(S_2^{\frac{2}{2}}\right)_0\right) \right)^2$$

$$MS(x) := \sqrt{M_0(x) + M_1(x) + M_2(x)}$$



$$MS(0 \text{ } m) = 184668.788 \text{ } kN \cdot m$$

## Перемещения от сейсмического воздействия

$$\Delta := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \Delta_{i,0} \leftarrow \int_0^L M_i(x, x_{i,i}, 1 \text{ kN}) \cdot M_0(x) \\ \quad \Delta_{i,1} \leftarrow \int_0^L M_i(x, x_{i,i}, 1 \text{ kN}) \cdot M_1(x) \\ \quad \Delta_{i,2} \leftarrow \int_0^L M_i(x, x_{i,i}, 1 \text{ kN}) \cdot M_2(x) \\ \end{array} \right\| \Delta$$

$$\Delta_i := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \Delta_{i,i} \leftarrow \frac{\sqrt{\Delta_{i,0}^2 + \Delta_{i,1}^2 + \Delta_{i,2}^2}}{\text{kN}} \end{array} \right\| \Delta_i = \begin{bmatrix} 0.772445 \\ 2.618627 \\ 4.916202 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

$$vy\Delta := \text{stack}(0, \Delta_i) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.772445 \\ 2.618627 \\ 4.916202 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

$$c := \text{cspline}(vx, vy\Delta) \quad \Delta_i(x) := \text{interp}(c, vx, vy\Delta, x)$$

## Перемещения

