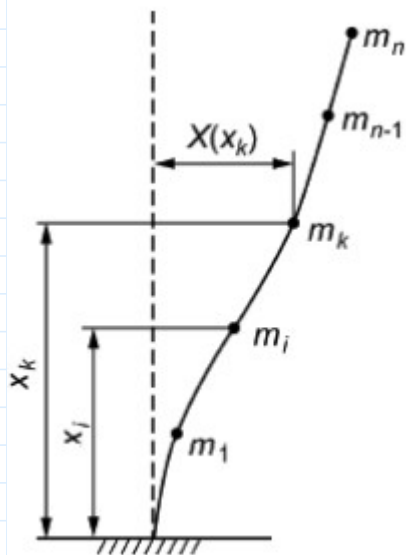


# Расчёт на сейсмическое воздействие с применением консольной РДМ по линейно-спектральному методу СП 14.13330.2018 методом сил

Расчётная динамическая модель РДМ

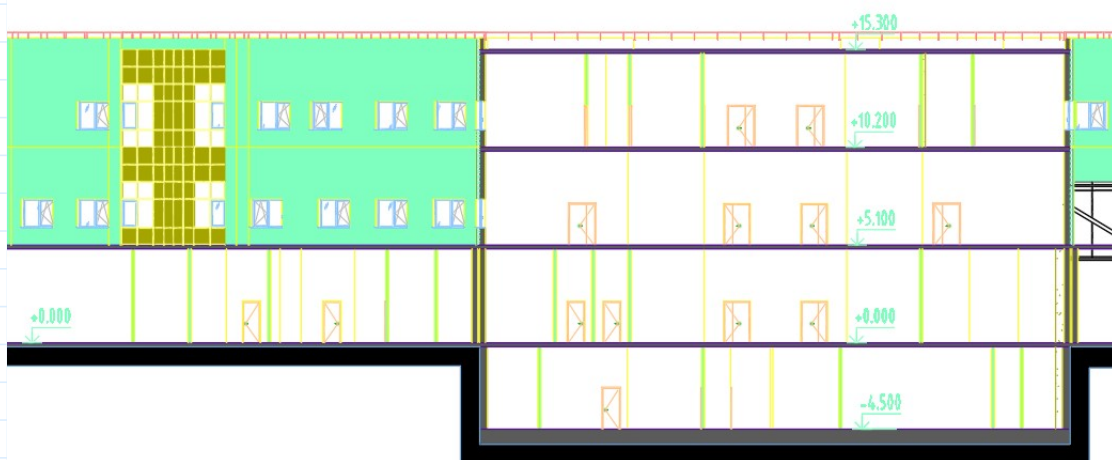


Модуль упругости бетона

$$E := 36000 \text{ МПа}$$

Плотность бетона

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



Количество диафрагм одного направления в блоке

$$n_d := 8$$

$td$	$ld$	$tp$	$la$	$dlv$	$llv$	$x_i$
$(mm)$	$(m)$	$(mm)$	$(m^2)$	$(kPa)$	$(kPa)$	$(m)$
300	7.2	200	1650	2	4	5.1
300	7.2	200	1650	2	4	10.2
300	7.2	200	1650	3	2	15.3

Толщина диафрагм  $td$

Длина диафрагм  $ld$

Толщина перекрытий  $tp$

Площади этажей  $la$

Постоянные нагрузки  $dlv$

Временные нагрузки  $llv$

Момент инерции диафрагм

$$I := \frac{\overrightarrow{td \cdot ld^3}}{12} \cdot n_d \qquad EI := E \cdot I \qquad n := \text{rows}(td) = 3$$

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

коэффициент учёта  
других конструкций  $k_w := 1.1$

Матрица масс

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

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

### Моменты от единичных сил

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

### Матрица податливости

$$\delta := \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots n-1 \\ \quad \parallel \text{for } j \in 0 \dots n-1 \\ \quad \quad \parallel D_{i,j} \leftarrow \int_{0 \text{ } \mathbf{m}}^L \frac{M_i(x, x_i, 1 \text{ } \mathbf{kN}) \cdot M_i(x, x_j, 1 \text{ } \mathbf{kN})}{EI_i} dx \end{cases}$$

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

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

### Собственные значения

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

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

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

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

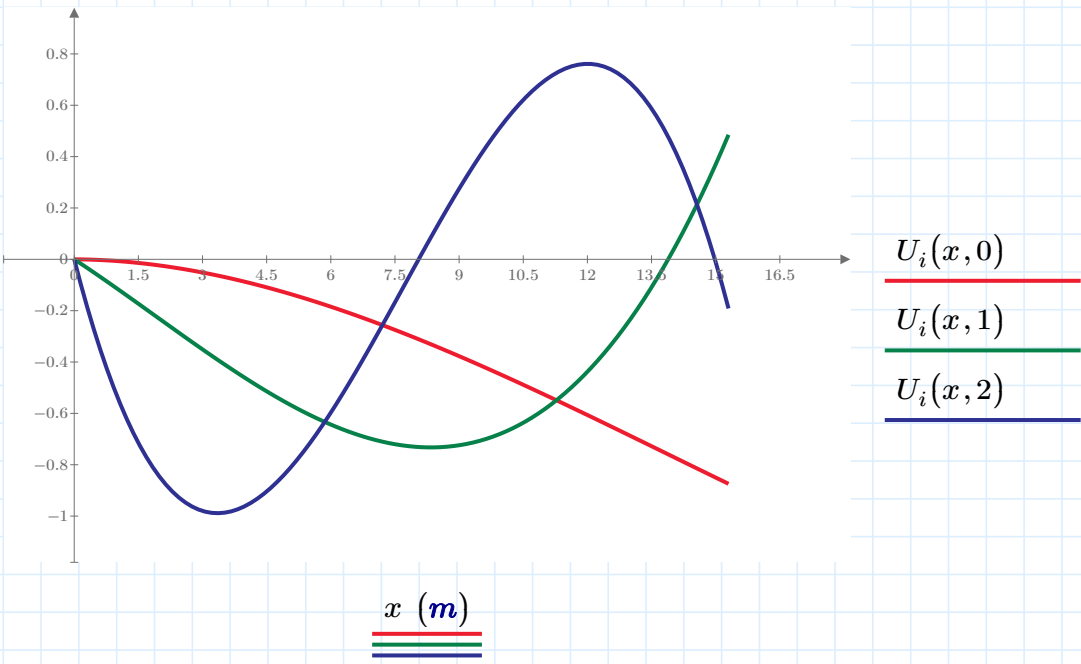
$$vy := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0 \dots n-1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} vy_i \leftarrow \text{stack}(0, U^{(i)}) \end{array} \right\| \\ \quad vy \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} [4 \times 1] \\ [4 \times 1] \\ [4 \times 1] \end{bmatrix}$$

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

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

Формы колебаний

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



Матрица весов масс

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

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

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

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

Проверка

$$\left( \eta_0 \right)_0 + \left( \eta_1 \right)_0 + \left( \eta_2 \right)_0 = 1$$

$$\left( \eta_0 \right)_1 + \left( \eta_1 \right)_1 + \left( \eta_2 \right)_1 = 1$$

$$\left( \eta_0 \right)_2 + \left( \eta_1 \right)_2 + \left( \eta_2 \right)_2 = 1$$

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

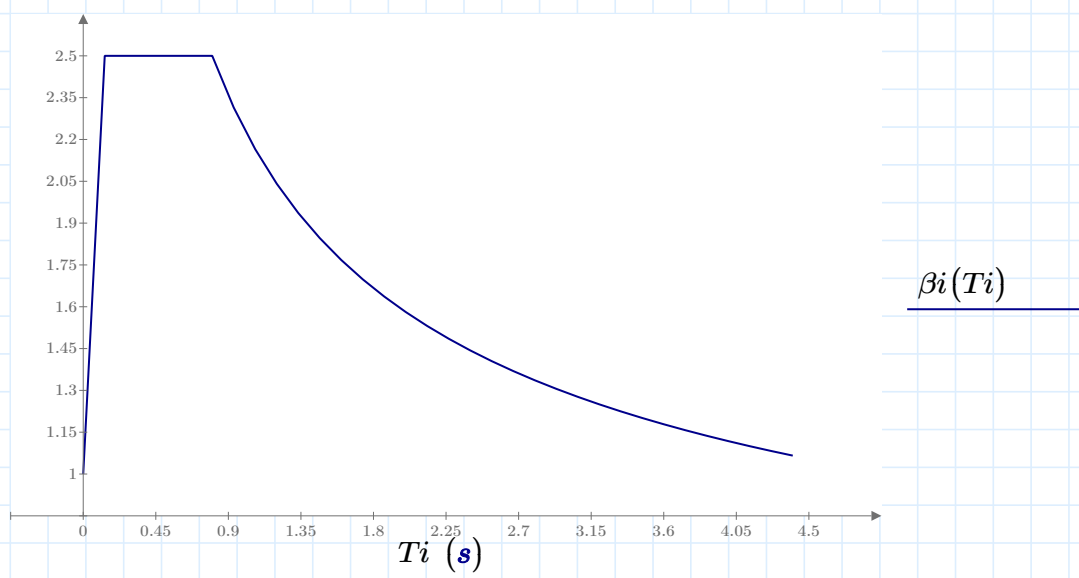
$$soil := 3$$

```

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

```

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



$$\beta := \left\| \left\| \text{for } i \in 0 \dots n-1 \right. \right\| = \begin{bmatrix} 2.5 \\ 1.497332 \\ 1.184826 \end{bmatrix} \quad S_0 := \left\| \left\| \text{for } i \in 0 \dots n-1 \right. \right\| \left\| S_{0_i} \leftarrow M \cdot \eta_i \cdot A_s \cdot \beta_i \cdot K_\Psi \right\|$$

$$\left\| \left\| \beta_i \leftarrow \beta_i \left( \frac{T_i}{kN} \right) \right\| \right\| \beta$$

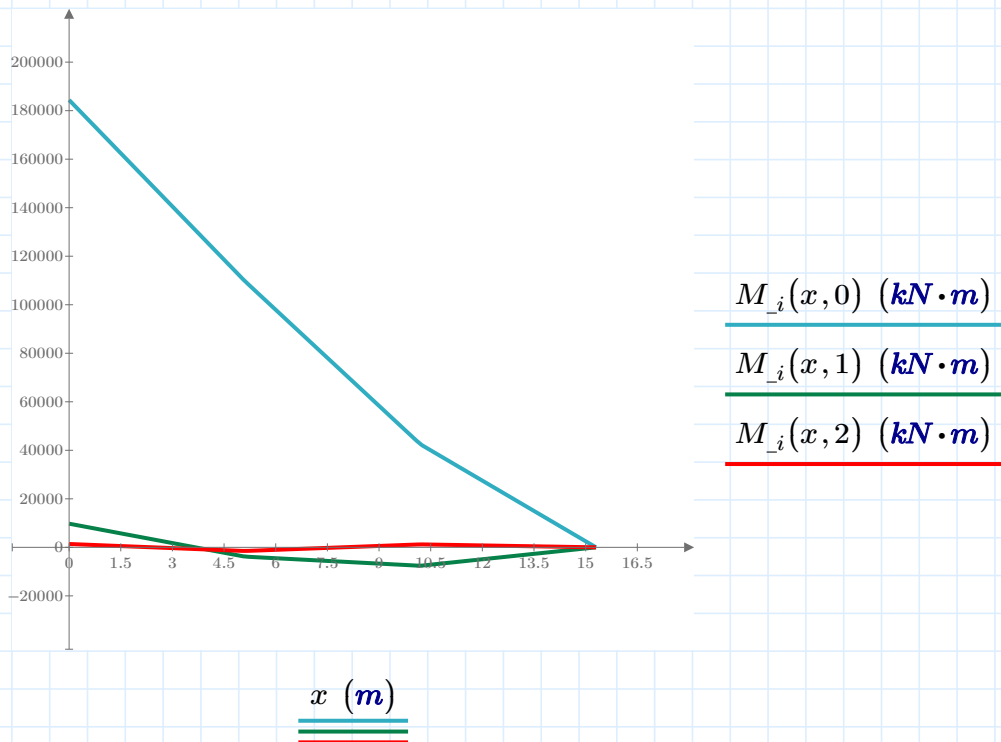
$$\left\| \left\| S_0 \right\| \right\| S_0$$

Расчетная сейсмическая нагрузка

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

$$M_{_i}(x, i) := \sum_{j=0}^{n-1} M_i \left( x, x_{i_j}, \left( S_i^{\hat{j}} \right)_0 \right)$$

Изгибающие моменты в диафрагмах по формам



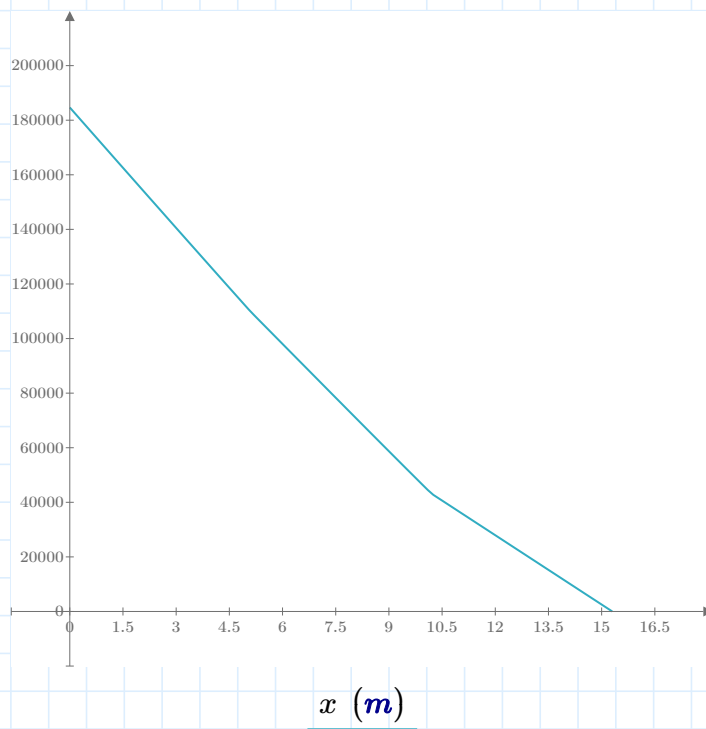


$$M_{-i}(0\text{ }\textcolor{blue}{m},0)=184405.971\text{ }\textcolor{blue}{kN}\cdot\textcolor{blue}{m}$$

Суммарная эпюра моментов

$$M_{-s}(x,i):=\left(\sum_{j=0}^{n-1}M_i\left(x,x_{i_j},\left(\widehat{S_i^j}\right)_0\right)\right)^2$$

$$M_s(x):=\sqrt{\sum_{j=0}^{n-1}M_{-s}(x,j)}$$



$$M_s(0\text{ }\textcolor{blue}{m})=184668.788\text{ }\textcolor{blue}{kN}\cdot\textcolor{blue}{m}$$

## Перемещения от сейсмического воздействия

$$\Delta := \begin{array}{|l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \begin{array}{|l} \text{for } j \in 0..n-1 \\ \quad \Delta_{i,j} \leftarrow \int_0^L \frac{M_i(x, x_{i_i}, 1 \text{ } kN) \cdot M_{-i}(x, j)}{EI_i} dx \end{array} \end{array}$$

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

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

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

## Перемещения

