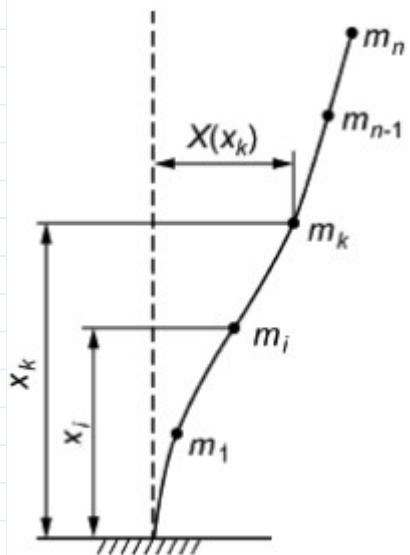


Расчёт на сейсмическое воздействие с применением  
консольной РДМ по линейно-спектральному методу  
СП 14.13330.2018 методом сил

Расчётная динамическая  
модель РДМ

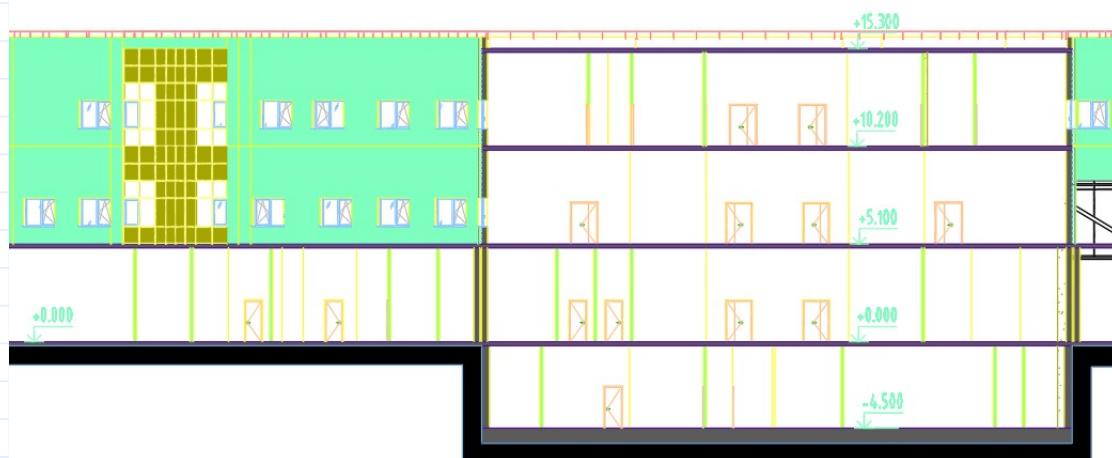


Модуль упругости бетона

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

Плотность бетона

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



Количество диафрагм одного  
направления в блоке

$$n_d := 8$$

$td$	$ld$	$tp$	$la$	$dlv$	$llv$	$x_i$	Толщина диафрагм $td$
(mm)	(m)	(mm)	( $m^2$ )	(kPa)	(kPa)	(m)	Длина диафрагм $ld$
300	7.2	200	1650	2	4	5.1	Толщина перекрытий $tp$
300	7.2	200	1650	2	4	10.2	Площади этажей $la$
300	7.2	200	1650	3	2	15.3	Постоянные нагрузки $dlv$
							Временные нагрузки $llv$

Момент инерции диафрагм

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

$$EI := E \cdot I$$

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

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

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

### Матрица податливости

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

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

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

### Собственные значения

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

Круговая частота

Период

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

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

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

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

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

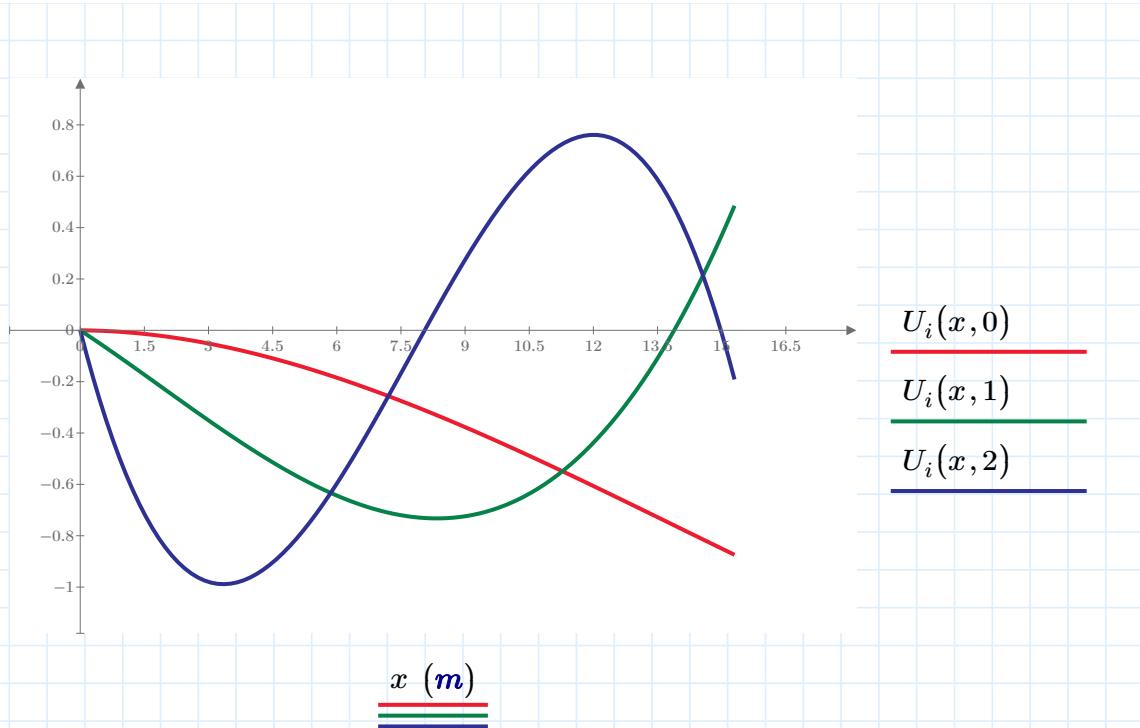
$$vy := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \left\| vy_i \leftarrow \text{stack}(0, U^{(i)}) \right. \\ \left. \right\| vy \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} [4 \times 1] \\ [4 \times 1] \\ [4 \times 1] \end{bmatrix}$$

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

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

Формы колебаний

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



Матрица весов масс

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

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

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

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

### Проверка

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

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

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

значение ускорения в уровне основания

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

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

$$soil := 3$$

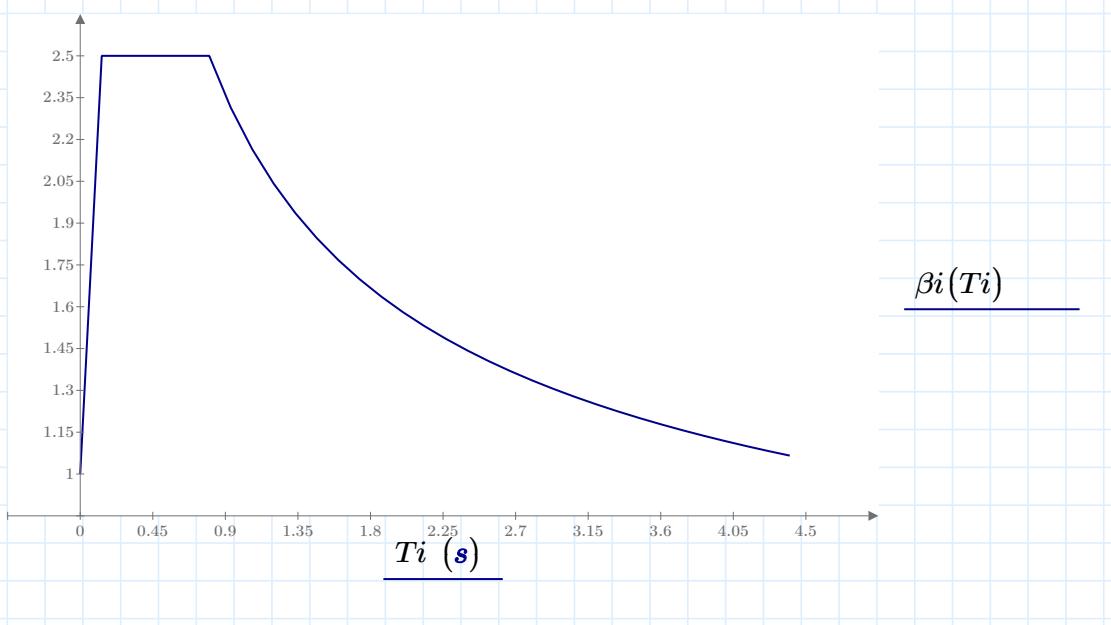
```

 $\beta_i(T) :=$ 
  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

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



$$\beta := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \beta_i \leftarrow \beta_i \left( \frac{T_i}{kN} \right) \end{array} \right\| \beta = \begin{bmatrix} 2.5 \\ 1.497332 \\ 1.184826 \end{bmatrix}$$

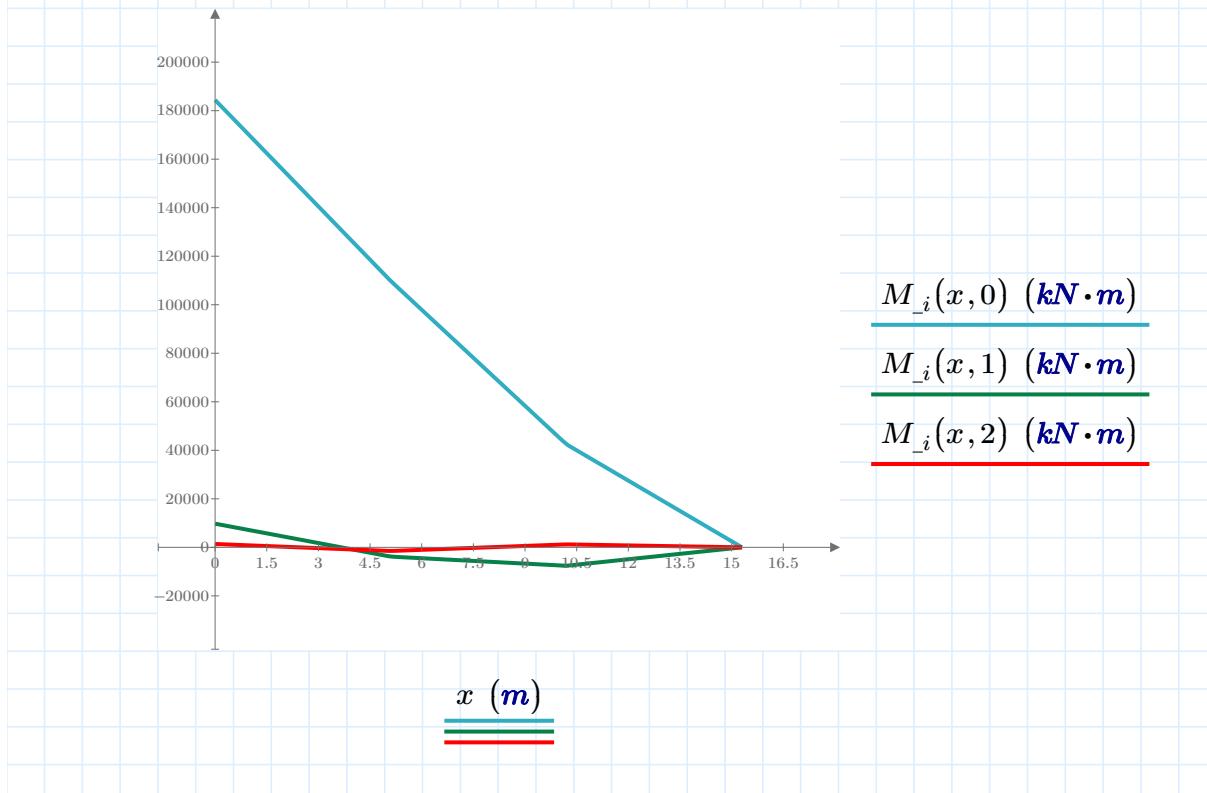
$$S_0 := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ S_{0,i} \leftarrow M \cdot \eta_i \cdot A_s \cdot \beta_i \cdot K_\Psi \end{array} \right\| S_0$$

Расчетная сейсмическая нагрузка

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

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

Изгибающие моменты в диафрагмах по формам

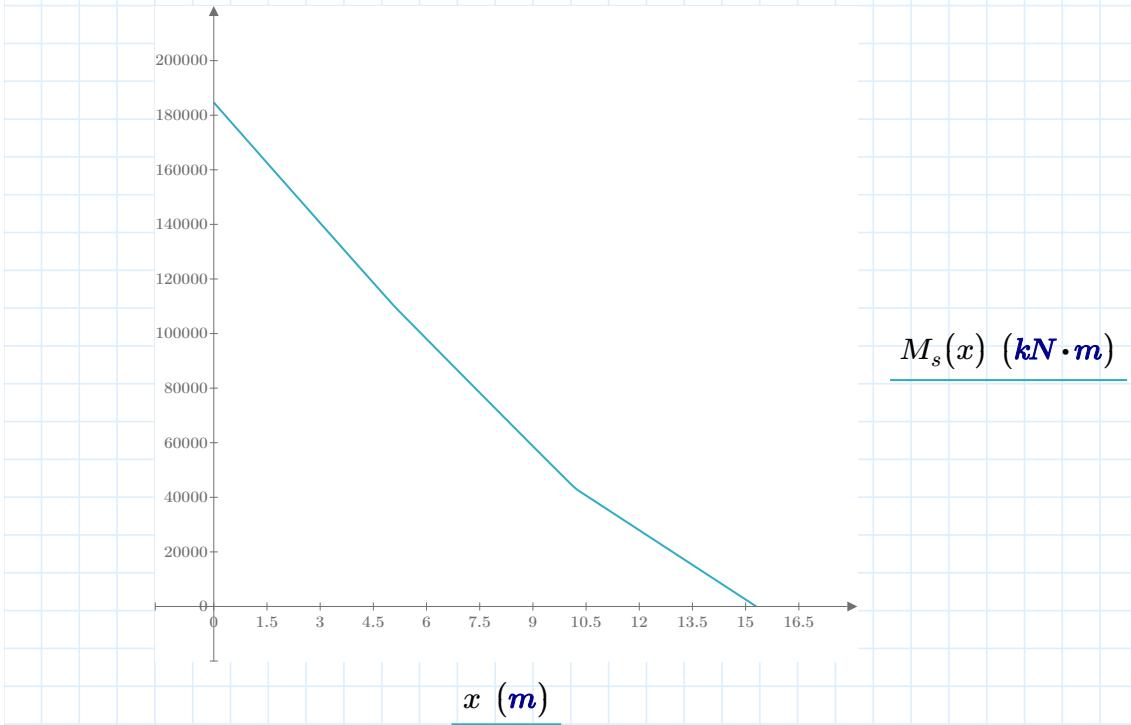


$$M_{-i}(0 \text{ } m, 0) = 184405.971 \text{ } kN \cdot m$$

Суммарная эпюра моментов

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

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



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

### Перемещения от сейсмического воздействия

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

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

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

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

### Перемещения

