



ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



**Определение условий необходимости учета  
совместной работы и обратного влияния  
сооружения на основание при расчете жилого  
монолитного железобетонного  
здания на сейсмическое воздействие.**

Янковская Ирина Дмитриевна,  
инженер-конструктор, ООО СИПИ, г. Иркутск  
Михайлов Виктор Сергеевич,  
руководитель НТЦ SCAD

18 апреля  
2018

## СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах

5.10. В РДМ следует учитывать динамическое взаимодействие сооружения с основанием. При сейсмичности площадки не более 9 баллов динамические нагрузки, передаваемые сооружением на основание, следует принимать пропорциональными перемещениям самого сооружения. Коэффициенты пропорциональности (коэффициенты упругой жесткости основания) следует определять на основе упругих параметров грунтов, вычисляемых по данным о скоростях упругих волн в грунте или на основе корреляционных связей этих параметров с физико-механическими свойствами грунтов.

Примечание - При учете взаимодействия сооружения и основания возможно как снижение, так и повышение сейсмических нагрузок.

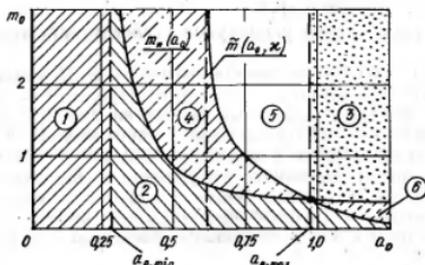
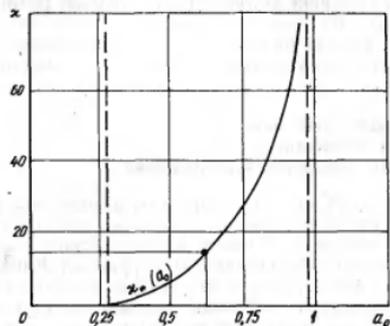


Рис. 5.5. Выделение на плоскости  $m_0 - a_0$  зон различного влияния основания на колебания системы.

$$a_0 = \omega r / v_2; \quad m_0 = m / \rho r^3; \quad x = K_x h^2 / K_\varphi,$$

где  $\omega$  — частота основного тона колебаний сооружения на жестком основании;

$$r = \sqrt{F/\pi};$$

$F$  — площадь подошвы фундамента;

$\rho$  — плотность грунта основания;

$K_\varphi$  и  $K_x$  — поворотная и сдвиговая жесткости фундамента;

$h$  — расстояние от уровня подошвы фундамента до его центра тяжести;

$v_2$  — скорость распространения волн сдвига в основании.

Зона 1 характеризуется значениями  $a_0 < a_{0,\min} \approx 0,28$ . В этой зоне обратное воздействие сооружения на основание не существенно.

В зоне 2 процессы взаимодействия с основанием также не существенны. Эта зона ограничивается сверху кривой  $m_*(a_0)$  при  $a_0 < a_{0,\max} \approx 0,95$ , а при  $a_0 > a_{0,\max}$  — ограничивается сверху кривой  $\tilde{m}(x, a_0)$ .

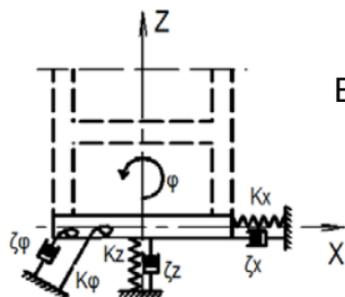
Зона 3 ограничена слева значением  $a_{0,\max}$  и снизу кривой  $m_*(a_0)$ . Здесь взаимодействие сооружения с основанием всегда существенно.

Зона 4 заключена между кривыми  $m_*(a_0)$  и  $\tilde{m}(x, a_0)$ ; в ней необходим учет обратного воздействия сооружения на грунт лишь при  $x < x_*(a_0)$ .

В зоне 5, расположенной между кривой  $\tilde{m}(x, a_0)$  и линией  $a_{0,\max}$ , взаимодействие с грунтом не существенно лишь при  $x > x_*$ .

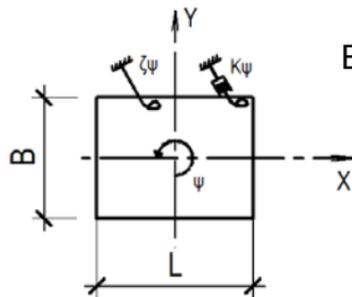
Наконец, зона 6, заключенная между кривыми  $m_*(a_0)$  и  $\tilde{m}(a_0, x)$ , при  $a_0 > a_{0,\max}$  характеризуется существенным влиянием основания.

Расчетная схема 1  
На грунтовых пружинах



Взаимодействие с основанием  
не существенно

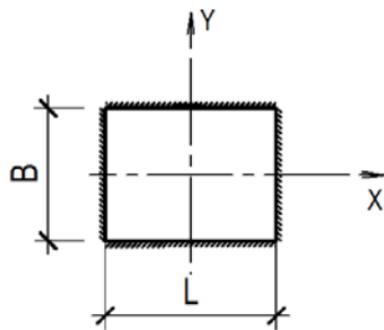
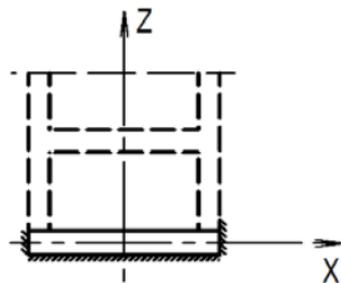
$$\frac{f1}{f2} \geq 2$$



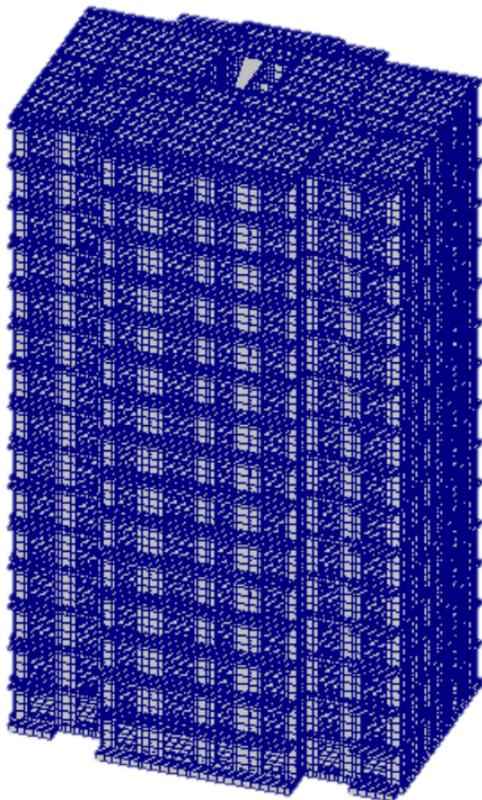
Взаимодействие с основанием  
существенно

$$\frac{f1}{f2} \leq 2$$

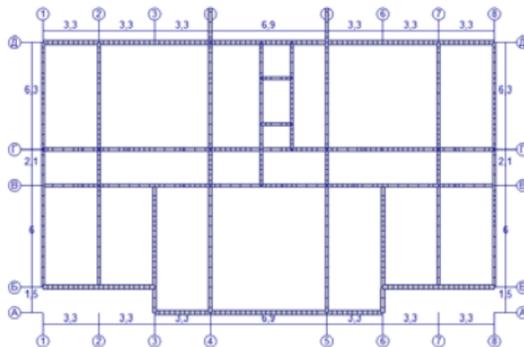
Расчетная схема 2  
На фиксированном основании



Общий вид расчетной схемы



План расчетной схемы



Характеристики сооружений

К-во этажей	Масса здания, т	L, м	B, м
5	3620	27,9	16,2
10	7250		
15	10880		
20	14510		
25	18140		

$$E = \rho V_s^2 \frac{3\delta^2 - 4}{\delta^2 - 1};$$

$$\nu = \frac{\delta^2 - 2}{2(\delta^2 - 1)},$$

где  $\delta = V_p / V_s$ ;

$$G = \rho V_s^2.$$

Наименование грунта	$V_s$ , м/с	$V_p/V_s$	$\rho$ , т/м <sup>3</sup>	E модуль упругости, кПа	$\nu$ Коэффициент Пуассона	G модуль упругости, кПа
Грунт I	700	1,7	2	2421481,5	0,235449735	980000
Грунт II	400	2,2	2	876666,67	0,369791667	320000
Грунт III	200	5,3	2	237046,88	0,481543005	80000
Грунт IV	100	11	2	59833,333	0,495833333	20000

Длина фундамента, м

$a := 27,9$

Ширина фундамента, м

$b := 16,2$

Площадь подошвы фундамента, м<sup>2</sup>

$F := a \cdot b = 451,98$

Момент инерции фундамента, м<sup>4</sup>

$J := \frac{a \cdot b^3}{12} = 9884,8026$

Эквивалентный радиус, м

$r := \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 11,9946$

Плотность грунта основания, кН/м<sup>3</sup>

$\rho := 20$

Частота основного тона колебаний сооружения на жестком основании, Гц

$\omega := 62,2$

Расстояние от уровня подошвы фундамента до его центра тяжести, м

$h := 0,25$

Масса здания, кН

$m := 36200$

Распространение волн сдвига в основании, м/с

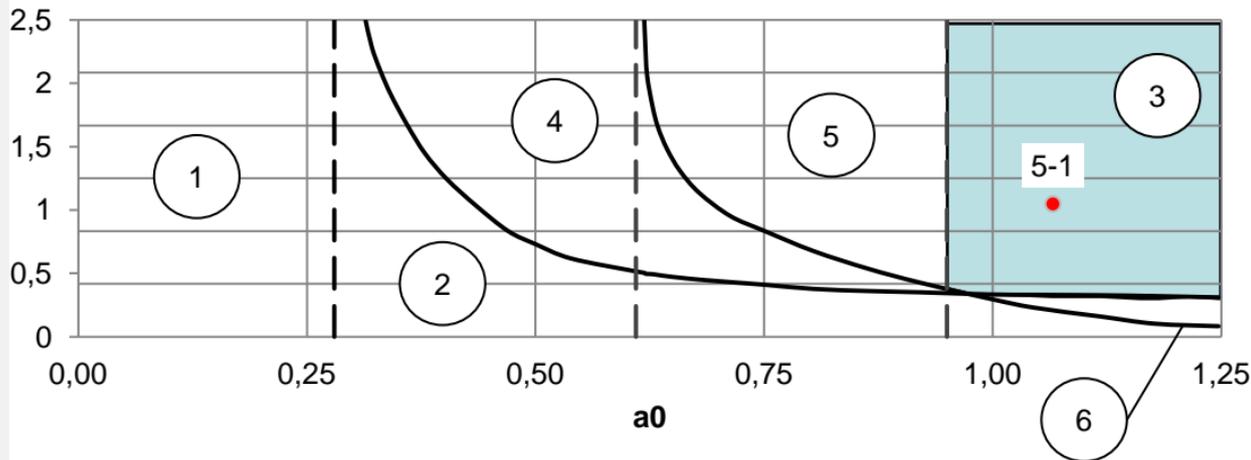
$v_2 := 700$

Резонансная частота

$\alpha_0 := \omega \cdot \frac{r}{v_2} = 1,0658$

Относительная масса сооружения

$m_0 := \frac{m}{\rho \cdot r^3} = 1,0489$



Зона 3 ограничена слева значением  $a_{0,\max}$  и снизу кривой  $m_*(a_0)$ . Здесь взаимодействие сооружения с основанием всегда существенно.

$$\chi := \frac{K_x \cdot h^2}{K_\phi} = 0,001$$

Расстояние от уровня подошвы фундамента до его центра тяжести, м

$$h := 0,25$$

Сдвиговая жесткость фундамента

$$K_x := C_x \cdot F$$

Коэффициент равномерного упругого сдвига

$$C_x := 0,7 \cdot C_z$$

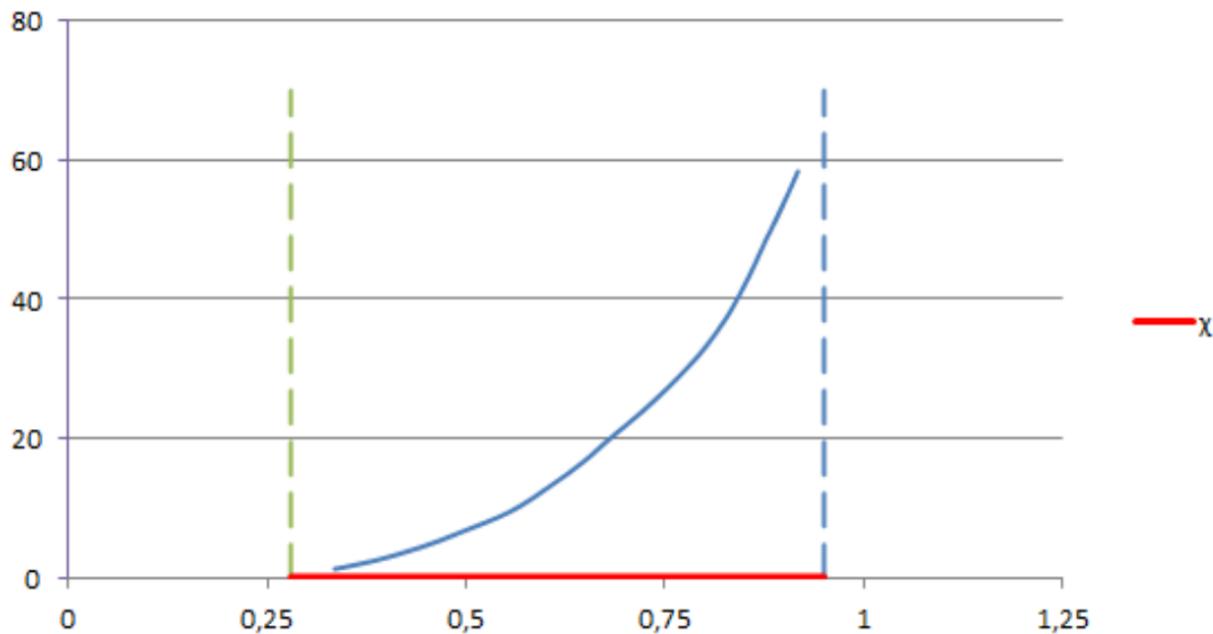
Сдвиговая жесткость фундамента

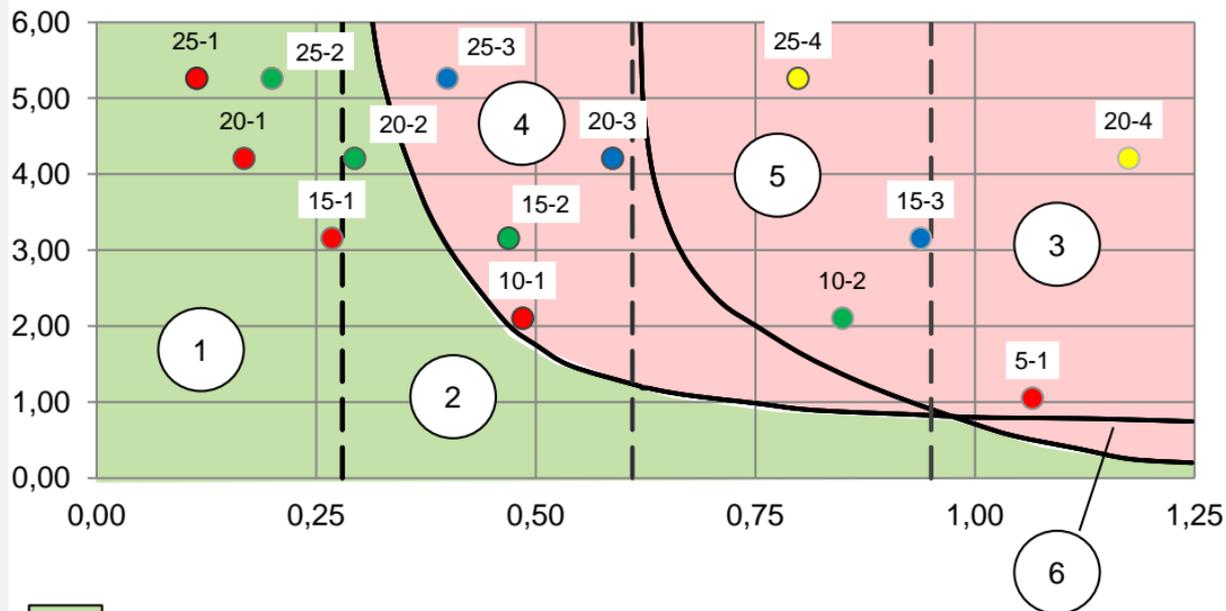
$$K_\phi := C_\phi \cdot J$$

Коэффициент упругого неравномерного сжатия основания

$$C_\phi := 2 \cdot C_z$$

$$\chi := \frac{0,35 \cdot F \cdot h^2}{J} = 0,001$$





 - Обратное воздействие сооружения на основание не существенно;

 - Взаимодействие сооружения с основанием существенно;

Модуль сдвига грунта I, кПа

$$G := 980000$$

Коэффициент Пуассона

$$\nu := 0,26$$

Горизонтальная жесткость основания по оси X, кН/м

$$k_{x_x} := 2 \cdot (1 + \nu) \cdot G \cdot \beta_x \cdot \sqrt{B \cdot L} = 5,2503 \cdot 10^7$$

Горизонтальная жесткость основания по оси Y, кН/м

$$k_{y_y} := 2 \cdot (1 + \nu) \cdot G \cdot \beta_y \cdot \sqrt{B \cdot L} = 5,5128 \cdot 10^7$$

Вертикальная жесткость основания для штампа, кН/м

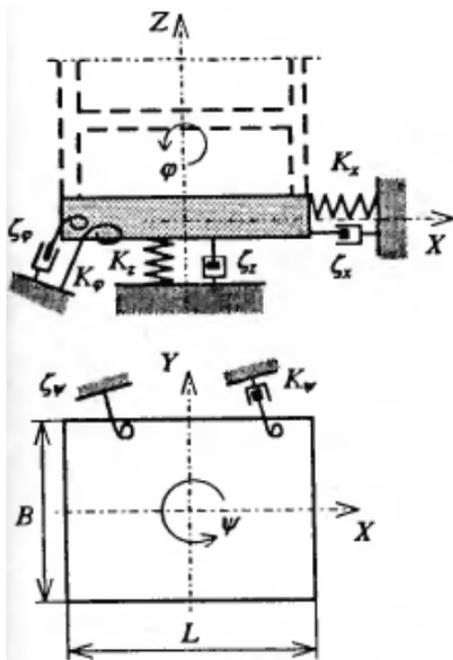
$$k_z := \frac{G}{(1 - \nu)} \cdot \beta_z \cdot \sqrt{B \cdot L} = 6,1941 \cdot 10^7$$

Качательная жесткость основания относительно Y, кНм

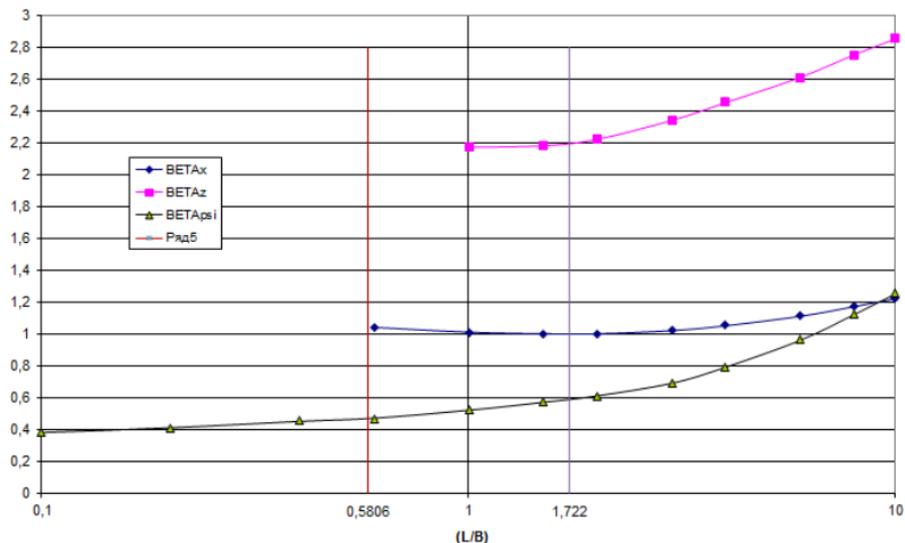
$$k_{\psi_y} := \frac{G}{(1 - \nu)} \cdot \beta_{\psi_x} \cdot B \cdot L^2 = 9,686 \cdot 10^9$$

Качательная жесткость основания относительно X, кНм

$$k_{\psi_x} := \frac{G}{(1 - \nu)} \cdot \beta_{\psi_y} \cdot B^2 \cdot L = 4,6545 \cdot 10^9$$



Коэффициенты для прямоугольных фундаментов



$$\frac{L}{B} = 1,7222$$

$$\frac{B}{L} = 0,5806$$

Безразмерные коэффициенты для квадратного фундамента

$$\beta_x := 1$$

$$\beta_y := 1,05$$

$$\beta_z := 2,2$$

$$\beta_{\psi_z} := 2,2$$

$$\beta_{\psi_x} := 0,58$$

$$\beta_{\psi_y} := 0,48$$

вертикальная частота здания на грунтовых пружинах

$$f_z := \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k_z}{m}} = 20,8187$$

$$\frac{f_x}{f_{x0}} = 1,9361$$

Горизонтальная частота здания на грунтовых пружинах по оси X

$$f_x := \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k_x}{m}} = 19,1672$$

$$\frac{f_y}{f_{y0}} = 1,7274$$

Горизонтальная частота здания на грунтовых пружинах по оси Y

$$f_y := \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k_y}{m}} = 19,6405$$

$$\frac{f_z}{f_{z0}} = 0,6102$$

	Фиксированный фундамент, Гц		
	fx0	fy0	fz0
5 этажей	9,9	11,37	34,12

	Грунт I	Грунт II	Грунт III	Грунт IV
$k_x$ , кН/м	5,15E+07	1,86E+07	5,04E+06	1,27E+06
$k_y$ , кН/м	5,41E+07	1,96E+07	5,29E+06	1,34E+06
$k_z$ , кН/м	6,00E+07	2,37E+07	7,22E+06	1,86E+06
$k_{\psi x}$ , кНм	9,38E+09	3,71E+09	1,13E+09	2,90E+08
$k_{\psi y}$ , кНм	4,51E+09	1,78E+09	5,42E+08	1,39E+08

	Фиксированный фундамент, Гц		
	$f_{x0}$	$f_{y0}$	$f_{z0}$
5 этажей	9,9	11,37	34,12
10 этажей	4,51	4,64	21,74
15 этажей	2,78	2,49	12,39
20 этажей	1,89	1,56	9,65
25 этажей	1,37	1,06	7,83

Количество этажей	Грунт I				Грунт II				Грунт III				Грунт IV			
	fx1/fx0	fy1/fy0	fz1/fz0	Кн. Уздина	fx2/fx0	fy2/fy0	fz2/fz0	Кн. Уздина	fx3/fx0	fy3/fy0	fz3/fz0	Кн. Уздина	fx4/fx0	fy4/fy0	fz4/fz0	Кн. Уздина
5	1,92	1,71	0,60	+	1,15	1,03	0,38	+	0,60	0,54	0,21	+	0,30	0,27	0,11	+
10	2,97	2,96	0,67	+	1,79	1,78	0,42	+	0,93	0,93	0,23	+	0,47	0,47	0,12	+
15	3,94	4,51	0,95	-	2,37	2,71	0,60	+	1,23	1,41	0,33	+	0,62	0,71	0,17	+
20	5,02	6,23	1,06	-	3,02	3,75	0,67	-	1,57	1,95	0,37	+	0,79	0,98	0,19	+
25	6,19	8,20	1,17	-	3,72	4,93	0,74	-	1,94	2,56	0,41	+	0,97	1,29	0,21	+



-Обратное воздействие сооружения на основание не существенно;



-Взаимодействие сооружения с основанием существенно;

## Докладчики

Инженер-конструктор ООО «Сибирский проектный институт»  
**Янковская Ирина Дмитриевна**  
[Yank-ira@mail.ru](mailto:Yank-ira@mail.ru)

Руководитель новосибирского центра технической поддержки  
SCAD Office  
**Виктор Сергеевич Михайлов**  
[mvs@scadsoft.ru](mailto:mvs@scadsoft.ru)

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!