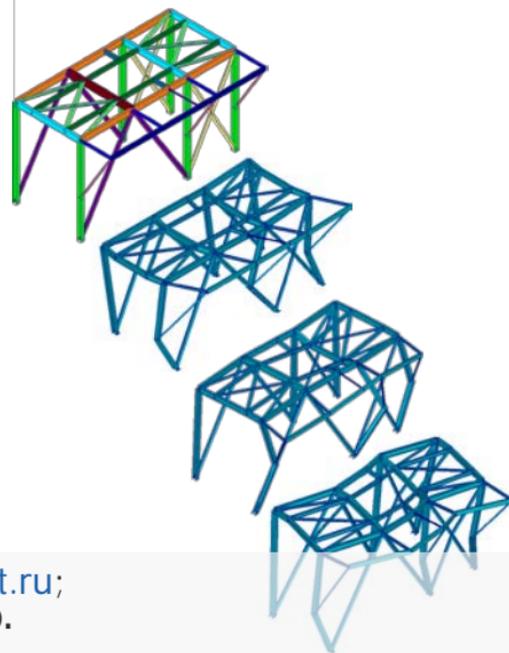
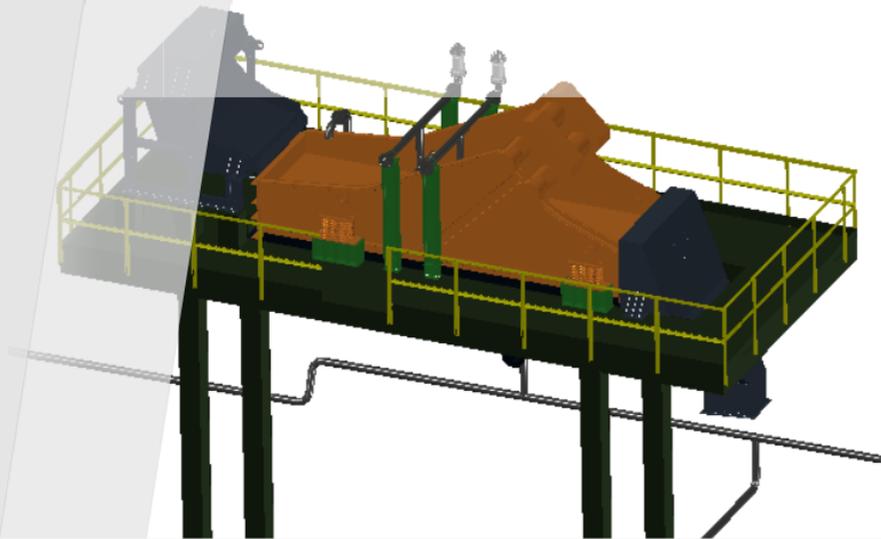




Моделирование в SCAD 21.1.9.3 неоднородных демпфирующих свойств материалов в конструкциях, фундаментах и грунтовом основании



Авторы: **Михайлов В.С.**, ЦНТП «SCAD SOFT Новосибирск», mvs@scadsoft.ru;

Коновалова С.В., ООО «Сибирский институт горного дела», г. Кемерово.

Докладчик: **Михайлов Виктор Сергеевич**

Научный руководитель: к.т.н. **Нуждин Леонид Викторович**, профессор НГАСУ, ПНИПУ

Исходные данные к практической задаче

Исходные данные:

Площадка под грохот инерционный самобалансный.

Габаритные размеры в плане – 10,5 x 4,4 x 5,73 (h)

Сечение колонн по ГОСТ Р 57837-2017:

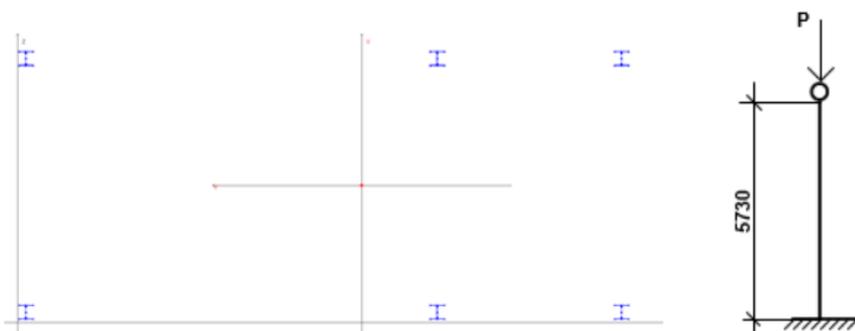
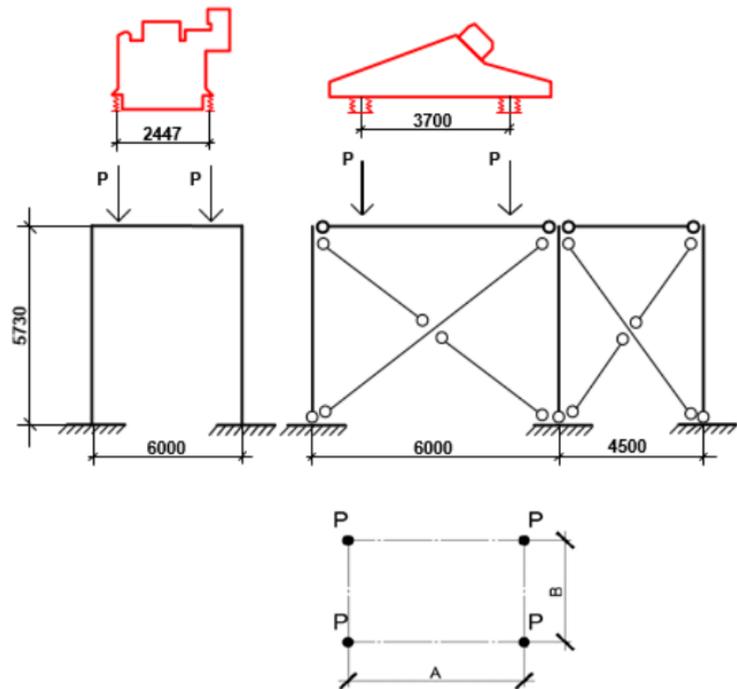


Рис.1 Геометрические характеристики сечения колонны 30К1 в программе «Тонус»

Геометрические характеристики			
	Параметр	Значение	Единица измерения
A	Площадь поперечного сечения	478,32	см ²
α	Угол наклона главных осей инерции	90	град
I_y	Момент инерции относительно центральной оси Y1 параллельной оси Y	23205714,482	см ⁴
I_z	Момент инерции относительно центральной оси Z1 параллельной оси Z	92161574,66	см ⁴
I_t	Момент инерции при свободном кручении	233,675	см ⁴
i_y	Радиус инерции относительно оси Y1	220,261	см
i_z	Радиус инерции относительно оси Z1	438,951	см
W_{U+}	Максимальный момент сопротивления относительно оси U	195762,186	см ³
W_{U-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси U	152555,921	см ³
W_{V+}	Максимальный момент сопротивления относительно оси V	99895,456	см ³
W_{V-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси V	99895,456	см ³
$W_{pl,U}$	Пластический момент сопротивления относительно оси U	189147,162	см ³
$W_{pl,V}$	Пластический момент сопротивления относительно оси V	105324,37	см ³
I_U	Максимальный момент инерции	92161574,66	см ⁴
I_V	Минимальный момент инерции	23205714,482	см ⁴
i_U	Максимальный радиус инерции	438,951	см
i_V	Минимальный радиус инерции	220,261	см
a_{U+}	Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U)	208,846	см
a_{U-}	Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U)	208,846	см
a_{V+}	Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V)	409,27	см
a_{V-}	Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V)	318,941	см
y_m	Координата центра масс по оси Y	606,617	см
z_m	Координата центра масс по оси Z	237,5	см
I_1	Момент инерции относительно глобальной оси Y	199219719,947	см ⁴
I_2	Момент инерции относительно глобальной оси Z	119141812,724	см ⁴
I_D	Полярный момент инерции	115367289,142	см ⁴
i_D	Полярный радиус инерции	491,114	см
W_D	Полярный момент сопротивления	178244,861	см ³

Расчетные схемы исследуемых конструкций

Расчетная схема:



№	Имя	Свойства	Количество
1	?		0
1	291	Колонны стальной проката	10
1	3001	Рельсы стальные	9
2	126	Крышная_1	4
3	59	Элемент раскрепления	1
4	291	Балки стальной прокат	3
5	3001	Балки стальной прокат	8
6	291	Балки стальной прокат	2
7	291	Балки стальной прокат	8
8	291	Балки стальной прокат	2
9	276	Балки стальной прокат	4
11	L120x6	Связь вертикальная	4
11	L70x4	пл.	3
12	L100x6	Связь вертикальная	9
13	L100x6	Связь горизонтальная	9

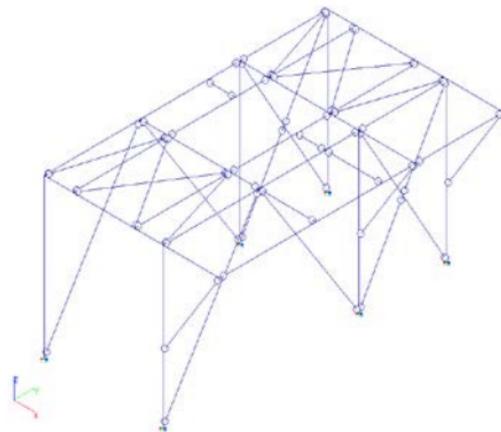
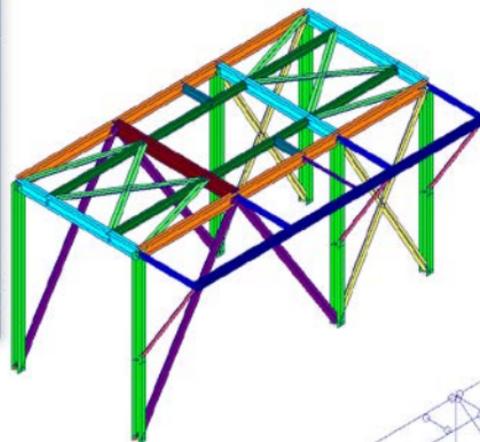


Рис.2 Схема распределения нагрузки на колонны каркаса от опор грохота



Динамические нагрузки от оборудования

Основными динамическими нагрузками от грохота являются вертикальные и направленные вдоль грохота горизонтальные инерционные силы, действующие в вертикальной плоскости, проходящей через центр инерции движущихся частей параллельно направлению их движения, и имеющие частоту вращения главного вала.

Для определения динамических сил грохотов необходимы следующие данные:

N – число оборотов главного вала в минуту;

e_x и e_z – приведенные эксцентриситеты движущихся частей соответственно в горизонтальном направлении вдоль грохота x и в вертикальном направлении Z .

G – вес движущихся частей

Коэффициент перегрузки k_d принимается равным: для вибрационных грохотов – 2 (на основании экспериментальных данных Харьковского Промстройниипроекта)

Главный вектор динамических сил грохотов разлагаются на вертикальную R_z и горизонтальную вдоль грохота R_x составляющие силы, приложенные в центре инерции движущихся частей. Амплитуды сил R_z и R_x определяются по формуле:

$$R_{0x_1} = m e_{x,z} \omega^2,$$

где $\omega = \frac{2\pi}{60} * N$ – угловая частота вращения главного вала машины в сек-1

m – масса движущихся частей

Приведенные эксцентриситеты e_x и e_z движущихся частей определяются для грохотов с конструктивно неуравновешенными движущимися частицами по кинематическим схемам механизма грохота, для грохотов с номинально уравновешенными частицами принимается равным 1/5 амплитуды колебаний коробов в соответствующих направлениях. При вычислении динамических нагрузок должно учитываться влияние материала, находящегося на ситах грохота, путем включения в состав движущихся частей 25% материала одновременно находящегося на ситах грохота.

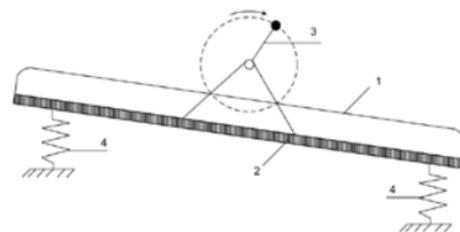


Рис. 3 Схема инерционного (вибрационного) грохота с простым дебалансом
1 – корпус; 2 – сито; 3- вибратор;
4 – упругие опоры

Определение динамических нагрузок от машин

Определение динамических нагрузок от машин

Определение динамических нагрузок от машин, устанавливаемых на перекрытия промышленных зданий (ЦНИИ Сергиевских конструкций ин. В.А. Кучеренко Госстроя СССР, Москва - 1966)

$N = 730$ *число оборотов главного вала машины в минуту (по тех. характеристикам грохота инерционного самобалансированного ГИС-61)

$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} = 76,4434$ *угловая частота вращения главного вала машины в сек⁻¹

$m = 44440$ *масса движущихся (колеблющихся) частей грохота, Ньютон

$A_{x,max} = 6800$ *Величина амплитуды динамической составляющей нагрузки грохота на несущую конструкцию при горизонтальном расположении корпуса, при минимальной и максимальной амплитудах колебаний при установившемся режиме работы в горизонтальном направлении, Н (по руководству)

$A_{x,min} = 4500$ *Величина амплитуды динамической составляющей нагрузки грохота на несущую конструкцию при горизонтальном расположении корпуса, при минимальной и максимальной амплитудах колебаний при установившемся режиме работы в горизонтальном направлении, Н (по руководству)

$A_{z,max} = 11500$ *Величина амплитуды динамической составляющей нагрузки грохота на несущую конструкцию при горизонтальном расположении корпуса, при минимальной и максимальной амплитудах колебаний при установившемся режиме работы в вертикальном направлении, Н (по руководству)

$A_{z,min} = 7600$ *Величина амплитуды динамической составляющей нагрузки грохота на несущую конструкцию при горизонтальном расположении корпуса, при минимальной и максимальной амплитудах колебаний при установившемся режиме работы в вертикальном направлении, Н (по руководству)

$e_{x,max} = \frac{1}{3} \cdot A_{x,max} = 1360$ *Эксцентриситет движущихся частей в горизонтальном направлении по X (максимальное значение), Ньютон

$e_{z,max} = \frac{1}{5} \cdot A_{z,max} = 2300$ *Эксцентриситет движущихся частей в вертикальном направлении по Z (максимальное значение), Ньютон

$e_{x,min} = \frac{1}{3} \cdot A_{x,min} = 900$ *Эксцентриситет движущихся частей в горизонтальном направлении по X (минимальное значение), Ньютон

$e_{z,min} = \frac{1}{5} \cdot A_{z,min} = 1520$ *Эксцентриситет движущихся частей в вертикальном направлении по Z (минимальное значение), Ньютон

$R_{0x,max} = m \cdot e_{x,max} \cdot \omega^2 = \frac{3,532 \cdot 10^{14}}{1000}$ *Главный вектор динамических сил грохотов по направлению X (максимальное значение)

$R_{0x,min} = m \cdot e_{x,min} \cdot \omega^2 = 2,3373 \cdot 10^{11}$ *Главный вектор динамических сил грохотов по направлению X (минимальное значение)

$R_{0z,max} = m \cdot e_{z,max} \cdot \omega^2 = 5,9732 \cdot 10^{11}$ *Главный вектор динамических сил грохотов по направлению Z (максимальное значение)

$R_{0z,min} = m \cdot e_{z,min} \cdot \omega^2 = 3,9475 \cdot 10^{11}$ *Главный вектор динамических сил грохотов по направлению Z (минимальное значение)

При вычислении динамических нагрузок должно учитываться влияние материала, находящегося на ситах грохота, путем включения в состав движущихся частей 25% веса материала, одновременно находящегося на ситах грохота.

кг

ПРИ $m = 4530$ *масса движущихся (колеблющихся) частей грохота, кг

$m_{p,25} = 600$ *Материал в ситах грохота при установившемся (стационарном) режиме работы, кг

$m_{a,25} = 900$ *Материал в ситах грохота при аварийной ситуации, кг

$m_{p,25} = 150$ *Материал в ситах грохота при установившемся (стационарном) режиме работы с 25% веса материала находящегося в ситах, кг

$m_{a,25} = 225$ *Материал в ситах грохота при аварийной ситуации с 25% веса материала находящегося в ситах, Ньютон

$m_{p,e} = m + m_{p,25} = 5130$ *расчетная масса движущихся (колеблющихся) частей грохота с 25% веса материала находящегося в ситах при установившемся (стационарном) режиме работы, Н

$m_{a,e} = m + m_{a,25} = 5430$ *расчетная масса движущихся (колеблющихся) частей грохота с 25% веса материала находящегося в ситах при установившемся (стационарном) режиме работы, Н

то же, в Ньютон

$m = 44440$ *масса движущихся (колеблющихся) частей грохота, Ньютон

$m_{p,25} = 5886$ *Материал в ситах грохота при установившемся (стационарном) режиме работы, Н

$m_{a,25} = 8629$ *Материал в ситах грохота при аварийной ситуации, Н

$m_{p,25} = 1472$ *Материал в ситах грохота при установившемся (стационарном) режиме работы с 25% веса материала находящегося в ситах, Ньютон

$m_{a,25} = 2207$ *Материал в ситах грохота при аварийной ситуации с 25% веса материала находящегося в ситах, Ньютон

$m_{p,e} = m + m_{p,25} = 50326$ *расчетная масса движущихся (колеблющихся) частей грохота с 25% веса материала находящегося в ситах при установившемся (стационарном) режиме работы, Н

$m_{a,e} = m + m_{a,25} = 53269$ *расчетная масса движущихся (колеблющихся) частей грохота с 25% веса материала находящегося в ситах при установившемся (стационарном) режиме работы, Н

Отсюда расчетная динамическая нагрузка от грохота:

$R_{0x,max} = m_{p,e} \cdot e_{x,max} \cdot \omega^2 = 3,9998 \cdot 10^{11}$

*Главный вектор динамических сил грохотов по направлению X (максимальное значение)

$R_{0x,min} = m_{p,e} \cdot e_{x,min} \cdot \omega^2 = 2,3373 \cdot 10^{11}$

*Главный вектор динамических сил грохотов по направлению X (минимальное значение)

$R_{0z,max} = m_{p,e} \cdot e_{z,max} \cdot \omega^2 = 5,9732 \cdot 10^{11}$

*Главный вектор динамических сил грохотов по направлению Z (максимальное значение)

$R_{0z,min} = m_{p,e} \cdot e_{z,min} \cdot \omega^2 = 3,9475 \cdot 10^{11}$

*Главный вектор динамических сил грохотов по направлению Z (минимальное значение)

Определение динамических нагрузок от машин

Определение динамических нагрузок от машин

Исходные данные (Руководство по эксплуатации ГИСЛ82 Грохот инерционный, г. Красноярск):

$P_{k,z} := 7600$ амплитуда динамической составляющей нагрузки, передающейся через амортизаторы на несущую конструкцию в вертикальном направлении (минимальное значение), Н

$P_{k,x} := 4500$ амплитуда динамической составляющей нагрузки, передающейся через амортизаторы на несущую конструкцию в горизонтальном направлении (минимальное значение), Н

$P_{k,z} := 11500$ амплитуда динамической составляющей нагрузки, передающейся через амортизаторы на несущую конструкцию в вертикальном направлении (максимальное значение), Н

$P_{k,x} := 6800$ амплитуда динамической составляющей нагрузки, передающейся через амортизаторы на несущую конструкцию в горизонтальном направлении (максимальное значение), Н

$P_1 := 5$ Амплитуда колебаний корпуса при частоте тока 50Гц (минимальное значение), мм

$P_2 := 7,5$ Амплитуда колебаний корпуса при частоте тока 50Гц (максимальное значение), мм

$d_z := 6,61$??? уточнить

$d_x := 8,61$??? уточнить

$\mu = \frac{1}{2 - 1} = 0,0234$ Коэффициент передачи нагрузки пружинными амортизаторами в вертикальном направлении

$\mu = \frac{1}{2 - 1} = 0,0137$ Коэффициент передачи нагрузки пружинными амортизаторами в горизонтальном направлении

$c_z := 2500$ суммарная жесткость амортизатора в вертикальном направлении, кН/м

$c_x := 1475$ суммарная жесткость амортизатора в горизонтальном направлении, кН/м

$g := 9,80665$ ускорение свободного падения, м/с²

$G_{min} := 158,922$ масса колеблющейся части грохота с просеивающими поверхностями (минимальное значение), кН

$G_{max} := 180,504$ масса колеблющейся части грохота с просеивающими поверхностями (максимальное значение), кН

$f_{z,z,min} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{c_z \cdot g}{G_{min}}} = 1,9768$ частота собственных колебаний в вертикальном направлении (минимальное значение), сек

$f_{z,x,min} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{c_x \cdot g}{G_{min}}} = 1,5184$ частота собственных колебаний в горизонтальном направлении (минимальное значение), сек

$f_{z,z,max} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{c_z \cdot g}{G_{max}}} = 1,8548$ частота собственных колебаний в вертикальном направлении (максимальное значение), сек

$f_{z,x,max} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{c_x \cdot g}{G_{max}}} = 1,4247$ частота собственных колебаний в горизонтальном направлении (максимальное значение), сек

4.3. Технические данные
4.3.1. Технические данные грохота ГИСЛ82АК (приведены в табл.2)

Наименование параметра и размеры	Величина
Размеры просеивающей поверхности, мм (внутренний диаметр)	3060×50
диаметр вала привода	7500 (10) 3900-мм
Площадь просеивающей поверхности, м ²	22,5 - 24,5
Полная площадь просеивающей поверхности (включая вал), м ²	21,540,5
Число ярусов сит	2
Амплитуда колебаний корпуса при частоте тока 50Гц, мм	5 - 7,5
Частота вынужденных колебаний, С ⁻¹	12,25-12,25
Частота вращения вала привода, об/мин	735
Мощность двигателя номинальная, кВт	74 (2x37)
Габаритные размеры колеблющейся части грохота, мм не более	8300
длина	4942,50
ширина	2700
высота	
Масса колеблющейся части грохота с просеивающими поверхностями, кг	16200 - 18400/400
Масса грохота, кг с просеивающими поверхностями	18100/400
Угол наклона корпуса, градус	0-25
Тип просеивающих поверхностей верхнего сита	Штампованные
нижнего сита	Штампованные или сетчатые
Размеры отверстий сит, мм	
верхнего штампованного	010, 013, 015, 020, 025, 030, 050 (100), 07, 012, 050,
нижнего сит штампованного	010, 013, 015, 020, 025, 030, 050, 07, 012, 050,
сетчатого	0,5, 0,8, 1,0, 1,6, 2,0,

4.3.2. Технические данные грохота ГИСЛ82АК (приведены в табл.2)

Данные для расчета опорных конструкций	
Характеристика статических нагрузок	
Величина статической нагрузки (без грохотного материала) на опору, тис, Н (кгс)	4500
Масса грохотного материала на опору	Должна определяться в каждом конкретном случае и зависеть от производительности и других условий эксплуатации.
Характеристика динамических нагрузок	
* Величина амплитуды динамической составляющей нагрузки грохота на несущую конструкцию при горизонтальном расположении корпуса, при минимальном и максимальной амплитудах колебаний, Н:	
1) при установившемся режиме работы в вертикальном направлении	7600 - 11500 4500 - 8100
2) в период пуска и останова грохота	Амплитуда динамической составляющей нагрузки на вертикальном направлении увеличивается пропорционально скорости.
3) характер изменения динамической нагрузки	Динамическая нагрузка возникает по синусоидальному закону.
Частота собственных колебаний корпуса, С ⁻¹	1,86 1,43
* в вертикальном направлении	
* в горизонтальном направлении	
Характеристика амортизаторов	
* Суммарная жесткость кН/м	
* в вертикальном направлении	2500
* в горизонтальном направлении	1475
Количество опор на грохоте, шт.	4
Количество пружинных амортизаторов в опоре, шт.	5

4.3.3. Технические данные грохота ГИСЛ82АК (приведены в табл.2)

Коэффициент передачи нагрузки пружинными амортизаторами

$$\mu = \frac{G_z}{2 \cdot G_z - 1} = \frac{1}{2 - 1} = 0,0234$$

* в вертикальном направлении

* в горизонтальном направлении

142,3
173,1

P_k – амплитуда динамической составляющей нагрузки, передающейся через амортизаторы на несущую конструкцию в соответствующем направлении.

P – амплитуда вынужденной силы, вызываемой на виброконструкцию установкой и соответствующее направление.

M_0 – масса колеблющейся части виброконструкции.

f_{0z} – частота собственных колебаний.

f_{0x} – частота собственных колебаний.

μ – коэффициент передачи нагрузки пружинными амортизаторами.

G_z – масса колеблющейся части виброконструкции.

G_x – масса колеблющейся части виброконструкции.

* Параллельные нагрузки опор грохота могут привести к изгибанию основания.

Допустимый коэффициент неравномерности должен быть не более, см. 4.3.



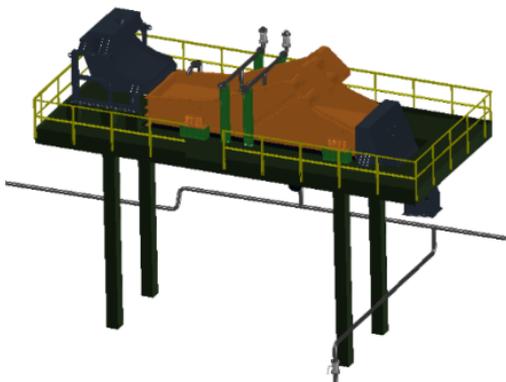
Характеристики оборудования

Грохот инерционный самобалансный легкого типа ГИСЛ-61 предназначен для разделения на фракции сыпучих материалов с плотностью до 1,4 т/м³ в процессе сухого (с поверхностной влагой материала не более 5 %) грохочения угля, антрацитов и горючих сланцев.

Крупность кусков питания, подаваемых на инерционный грохот ГИСЛ-61 не должна превышать 300 мм.

Грохот ГИСЛ-61 разработан для использования на обогатительных фабриках, шахтных сортировочных комплексах и других предприятиях, перерабатывающих уголь, антрациты и горючие сланцы.

Тип грохота	Размеры, мм		Нагрузка P, кН
	A	B	
ГИСЛ-61	3700	2447	44,44



Наименование показателя	Показатель
Размеры просеивающей поверхности, мм:	
- длина	5686
- ширина	2000
Число ярусов сит, ед.	1
Угол наклона просеивающей поверхности, град	0-25
Амплитуда колебаний, мм	4,8-7,4
Номинальная мощность двигателя, кВт	2x15
Частота колебаний короба, мин ⁻¹	730/960
Производительность по питанию, т/ч**	600
Крупность кусков питания, мм, не более	250
Масса колеблющейся части грохота, кг	4530
Толщина бортового листа, мм	10



Динамические нагрузки, действующие на конструкцию

3. Динамические нагрузки

3.1. При расчете зданий и сооружений угольной промышленности и их конструктивных элементов необходимо учитывать следующие динамические нагрузки и воздействия:

- a) пульсация скоростного напора, вызванные порывами ветра, для высоких сооружений (башенные сооружения многоканатных подъемов, дымовые трубы и т.д.);
- b) сейсмические и подобные им воздействия при проведении взрывных работ;
- c) подвижные, возникающие при движении составов нормальной и узкой колеи, от погрузчиков, каров, автомобилей, тракторов, а также мостовых и подвесных кранов;
- d) инерционные (динамические), возникающие при работе машин, установленных на перекрытиях и фундаментах;
- e) экстренные, возникающие при работе шахтного подъема;
- f) ударные, возникающие при работе шахтного подъема.

3.2. Ветровую нагрузку с учетом динамического воздействия порывов ветра на сооружение определять согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.

3.3. Сейсмические нагрузки и нагрузки от воздействия промышленных взрывов определять согласно СНиП II-A 12-69 «Руководство по проектированию сейсмостойких зданий и сооружений» (СТО 17330282.27.140.002-2008 Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Условия создания. Нормы и требования).

3.4. Динамическое воздействие на перекрытия зданий и сооружений от погрузчиков и каров, а также воздействие на конструкцию зданий мостовых и подвесных кранов учитывать в соответствии со СНиП II-6-74 (СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*).

3.5. Динамические нагрузки от машин определять согласно «Инструкции по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки», «Инструкция по определению динамических нагрузок от машин, устанавливаемых на перекрытиях промышленных зданий», СНиП II-Б.7-70 «Фундаменты машины с динамическими нагрузками» (СП 26.13330.2012 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками», «Методическим указаниям по расчету несущих конструкций эстакад с ленточными конвейерами» и разделам 3 и 4 настоящей инструкции.



Условные коэффициенты динамичности для некоторых машин

Таблица. 2 Условные коэффициенты динамичности для некоторых машин

Условные коэффициенты динамичности машин, для которых инерционные силы до настоящего времени не определены, найдены на основании опыта проектирования и равны:

Грохоты:	
Резонансные	2,5
Гиравционные (на подвеске с пружинами)	2,0
Качающиеся	2,0
Валковые	1,2
Центрифуги:	
С горизонтальным ротором	3,0-4,0
С вертикальным ротором	2,0
Дробилки:	
Двухвалковые зубчатые	2,0-2,2
Четырехвалковые зубчатые для кокса	2,0-2,5
Одновалковые	2,0-2,5
Отсадочные машины	1,1-1,2
Флотационные машины	1,1-1,2
Сепараторы:	
Пневматические	2,0
Колесные	1,1-1,2
Питатели:	
Качающиеся	1,5-2,0
Тарельчатые неподвижные	1,1
Тарельчатые передвижные	1,2
Вибрационные	2,0-2,5

Учет динамичности производится умножением расчетной статической нагрузки от машины на условные коэффициенты. Условные коэффициенты динамичности разрешается применять только для однопролетных конструкций (плит и балок) при вертикальных динамических воздействиях машин при условии, что частота этих воздействий не превышает частоту первого тона собственных колебаний рассчитываемой конструкции. Коэффициенты перегрузки для определения расчетной статической нагрузки для определения расчетной статической нагрузки от машин принимать согласно соответствующим пунктам инструкции.

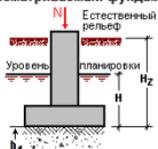


Расчет фундамента в программе «ЗАПРОС»

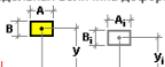
Осадка фундамента

Расчет выполнен по СП 22.13330.2011

Рассматриваемый фундамент



Глубина заложения подошвы фундамента от уровня планировки, $H = 2,7$ м
 Глубина заложения подошвы фундамента относительно естественного рельефа, $H_z = 2,7$ м
 Планировка отсутствует
 Предельная величина деформации фундамента 150 мм



Грунты

Коэффициент надежности по грунту $\gamma_g = 1,1$

Средний удельный вес грунта выше подошвы фундамента 1,93 Т/м³

	Наименование	Толщина слоя м	Удельный вес Т/м ³	Удельное сцепление Т/м ²	Угол внутреннего трения град	Модуль деформации Т/м ²	Коэффициенты условий работы	
							основания	фундамента
1	Суглинок тяжелый пылеватый тугопластичный	28	1,93	2,85	17	601,43	1	1

Характеристики грунтов по просадке - тип I

Результаты расчета

Проверка для уровня подошвы удовлетворена		
Расчетное сопротивление грунта в уровне подошвы фундамента	26,969	Т/м ²
Среднее давление от нагрузок (включая вес тела фундамента, грунта и пола) в уровне подошвы фундамента	11,976	Т/м ²
Осадка определена для основания в виде упругого полупространства		
Осадка основания	14,043	мм
Просадка от нагрузки	0	мм
Просадка от веса грунта	0	мм
Сумма осадки и просадки	14,043	мм
Глубина сжимаемой толщи	3,227	м
Винклеровский коэффициент постели	852,795	Т/м ³

Координаты центра	Размеры подошвы		Продольная сила	
	Y	A		B
	м	м	м	Т
1,05	2,1	2,1	29	

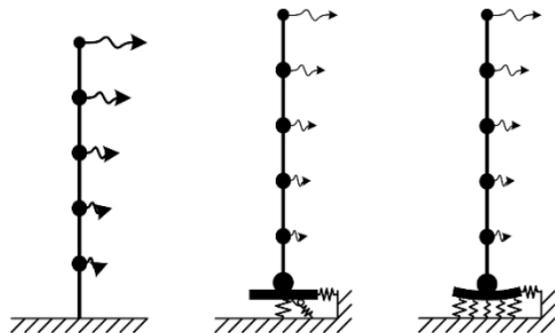
Данные по слоям грунта

	Толщина слоя м	Давление от нагрузки в средней точке слоя Т/м ²	Бытовое давление в средней точке слоя Т/м ²	Расчетное давление в уровне кровли разнородных слоев грунта Т/м ²	Осадка мм	Просадка мм
1	0,84	10,778	6,022	0	7,271	0
2	0,84	7,479	7,643	0	4,217	0
3	0,84	4,228	9,264	0	1,87	0
4	0,707	2,575	10,756	0	0,685	0



Варианты моделей системы «сооружение-основание» в виде консольной динамической модели

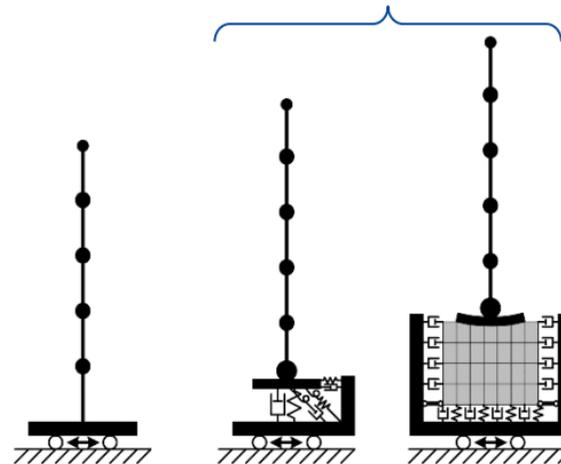
Импедансная асимптотическая и прямая физическая модели, рассматриваемые в исследовании



Классические квази-статические инерционные воздействия на сооружение

ИЛИ

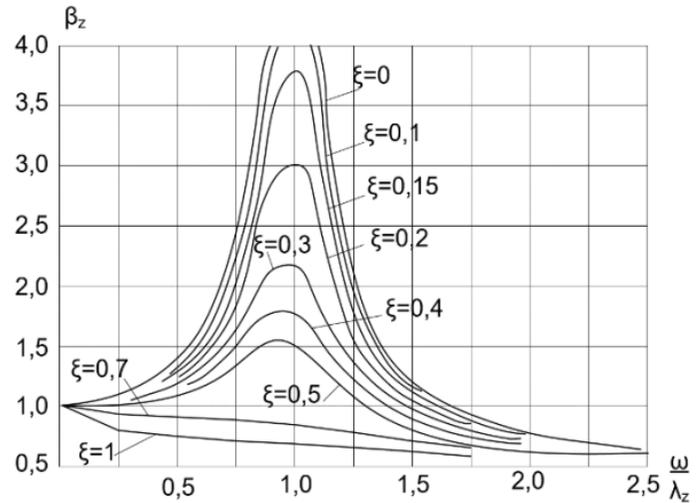
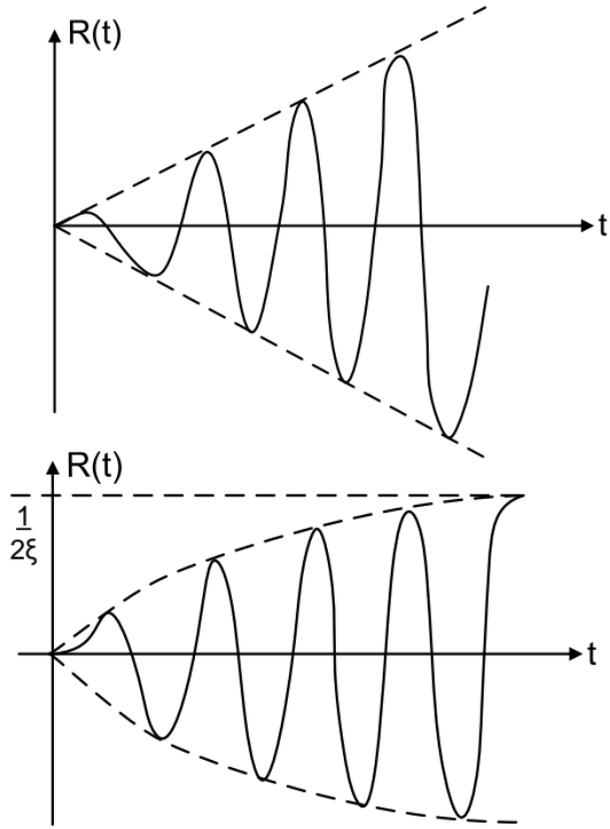
Прямые динамические воздействия на сооружение относительно основания



Прямые динамические воздействия на основание относительно сооружения

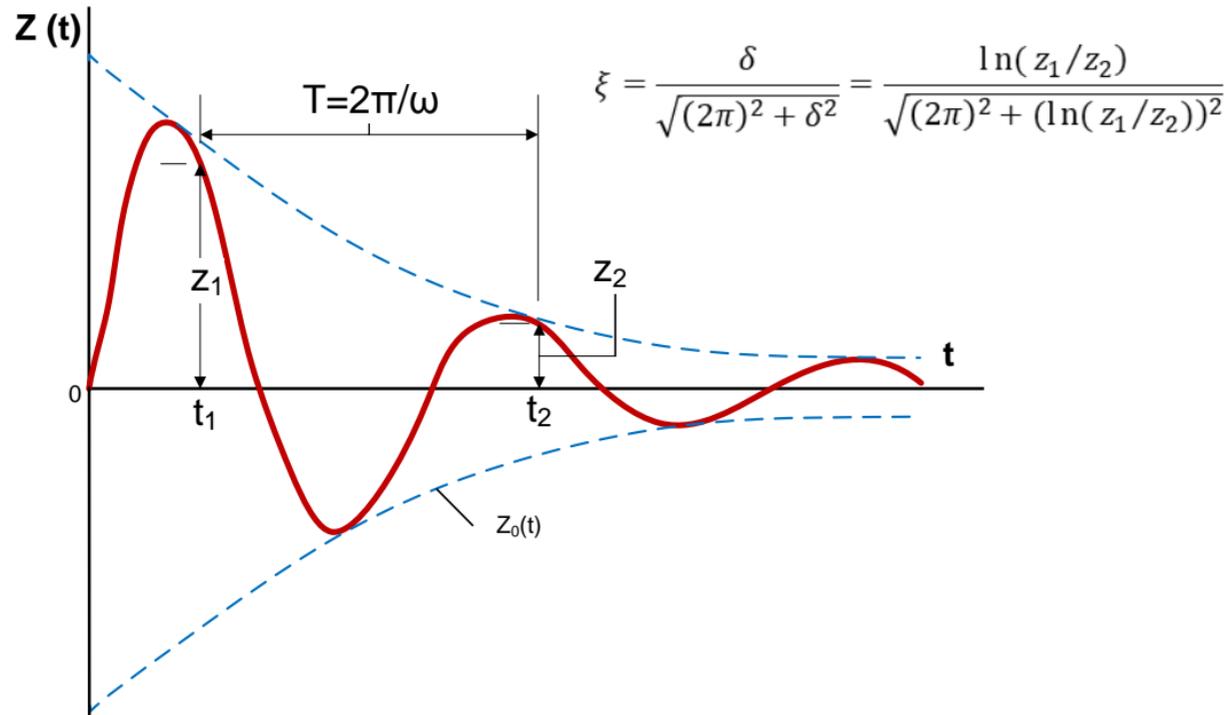


Зависимость предельного резонанса от демпфирования





Параметр демпфирования в материалах конструкций





Параметр демпфирования в материалах конструкций

Конструкция	Значение ψ			Значение $\gamma_{cp}=2\xi$	Автор исслед.
	От	До	Среднее		
Стальные мосты	0,04	0,30	0,17	0,027	С.А. Бернштейн
	0,02	0,29	0,17	0,027	С.А. Ильясевич
Стальные дымовые трубы	0,08	0,16	0,11	0,0175	М.Ф. Барштейн
Железобетонные ребристые перекрытия	0,39	0,78	0,57	0,1	Е.С. Сорокин
Железобетонные безбалочные перекрытия	-	-	0,56	0,089	Хорт
Железобетонные крупнопанельные перекрытия высотных зданий:					О.И. Томсон
а) до замоноличивания стыков	0,2	0,24	0,22	0,035	
б) после замоноличивания стыков	0,44	0,6	0,52	0,083	
Железобетонные перекрытия	0,32	0,57	0,44	0,07	М. Росен
Железобетонные своды по стальным балкам	0,36	1	0,68	0,108	М.Ф. Барштейн
Кирпичные своды по стальным балкам	0,47	0,9	0,68	0,108	Е.С. Сорокин
Железобетонные подкрановые балки:					
а) до замоноличивания стыков	0,24	0,4	0,32	0,051	
б) после замоноличивания стыков	0,38	0,56	0,47	0,075	
Железобетонные балки	0,35	0,78	0,56	0,089	Н.П. Павлюк
Железобетонные рамы	0,35	0,45	0,38	0,061	О.А. Савинов
	0,16	0,33	0,25	0,04	
Железобетонные мосты	-	-	0,63	0,1	М. Росен

Материал	Бетон и железобетон	Кирпичная кладка	Дерево	Сталь прокатная
Коэффициент γ_0	0,1	0,08	0,05	0,025



Демпфирование динамических расчетов и моделей демпфирования

В практике проектирования получили широкое распространение три основных метода моделирования динамических воздействий и соответствующие им методы задания демпфирующих свойств в материалах конструкций и основания, которые дают близкие результаты в условиях отсутствия демпфирования:

- Модальный метод на основе определения форм собственных колебаний системы (справочные данные о неупругом сопротивлении материала γ или параметр демпфирования в долях от критического ξ).
- Расчет амплитудно-частотных характеристик и спектров реакции в частотном диапазоне (неупругое сопротивление материала γ или параметр демпфирования ξ).
- Прямое интегрирование уравнений движения во времени (Рэлеевские коэффициента α и β , зависмые от двух априорно заданных частот и параметра демпфирования ξ , или новый «нерэлеевский» подход с непосредственным заданием неупругого сопротивления γ):

$$\hat{C} = \alpha \hat{M} + \beta \hat{K}$$

$$C = \sum_e \gamma_e P_e^T K_e P_e$$



Демпфирование колебаний по Рэлею

В большинстве расчетных комплексов для моделирования демпфирования при выполнении расчетов методом прямого интегрирования уравнений движения используется пропорциональное затухание в виде матрицы диссипации Рэлея:

где $[M]$ – матрица массы, $[K]$ – матрица жесткости, α и β – постоянные коэффициенты демпфирования Рэлея. Инерционный коэффициент α описывает зависимость демпфирования от узловых масс системы. Коэффициент β – зависимость демпфирования системы в материалах конструкций пропорционально их жесткости.

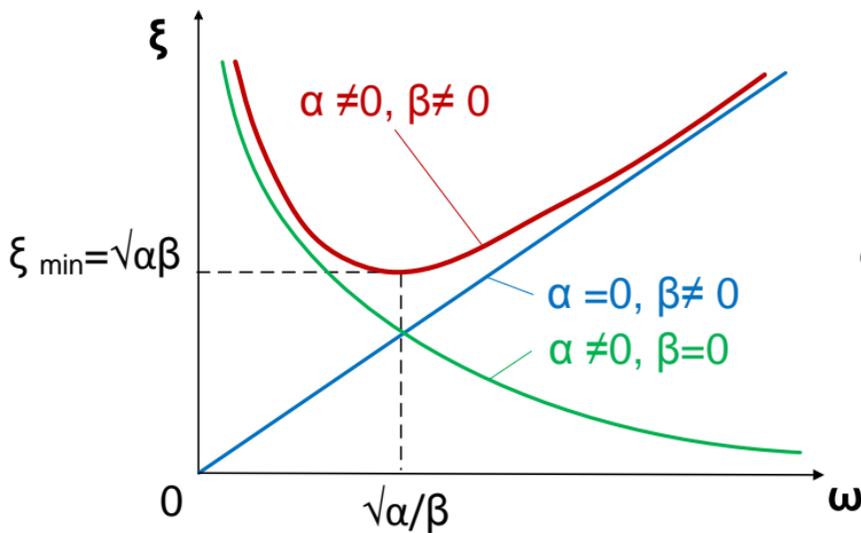


Справка: Английский физик Лорд Рэлей в 1871 году вывел формулу для сечения рассеяния света. Затем **в 1878 году** в двух томах монографии Рэлея «Теория звука» впервые отчетливо проявился единый подход к изучению колебательных и волновых процессов, имеющих различную физическую природу. Эти идеи Рэлея легли в основу современной теории колебаний. В том числе в этой двухтомной работе Рэлей ввел в механику понятие о функции рассеяния или «диссипативная функция Рэлея» - величина, характеризующая скорость рассеяния механической энергии. В последствии в 1885 году он предсказал существование поверхностных акустических волн, названными волнами Рэлея, что значительно повлияло на развитие теории сейсмологии.



Достоинства метода демпфирования по Рэлею

- "Рэлеевская" модель демпфирования позволяет достаточно просто выполнять расчет для больших систем со многими степенями свободы по двум заданным собственным частотам.
- Матрица диссипации Рэлея может содержать внедиагональные «Нерэлеевские» параметры вязкого демпфирования в одноузловых демпферах, используемых для моделирования диссипативных свойств грунтового основания на контакте с фундаментом.



$$\xi = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{\omega} + \beta\omega \right)$$

$$\alpha = \frac{2\omega_i\omega_n(\xi_i\omega_n - \xi_n\omega_i)}{\omega_n^2 - \omega_i^2}$$

$$\beta = \frac{2(\xi_n\omega_n - \xi_i\omega_i)}{\omega_n^2 - \omega_i^2}$$



Проблемы использования демпфирования по Рэлею

- Матрица диссипации Рэлея вычисляется на основании приближенного анализа частот свободных колебаний систем со многими степенями свободы.
- "Рэлеевская" модель демпфирования позволяет получить матрицу диссипации только для однородных по материалу систем со многими степенями свободы. Учет неоднородного демпфирования невозможен.
- В своем методе для формализации комплексной теории колебаний (1878 г.) Рэлей был вынужден уйти от физичности модели демпфирования путем учета матрицы масс, которая физически не должна влиять на диссипативные силы. Сам подход «Нефизичен».
- Предлагается воспроизводить заданный коэффициент модального демпфирования только на двух априорно определенных частотах, в то время, как в континуальных системах может не быть явно выраженных двух частот колебаний.
- "Провисающая" кривая зависимости затухания от частоты гарантированно занижает модальное демпфирование в интервале между парой выбранных частот, что к середине интервала может оказаться существенным и привести к завышенному консерватизму результатов расчета. При этом искусственное занижение демпфирования иногда приводит к "аномальному" занижению сейсмических реакций, что объясняется связью реакций с частотным составом воздействия относительно собственных частот системы.
- «Аномальность» занижения сейсмических реакций приходится выявлять путем вариационного сравнения спектров ответа при различных заданных значениях демпфирования, вместо выбора одного определенного спектра.

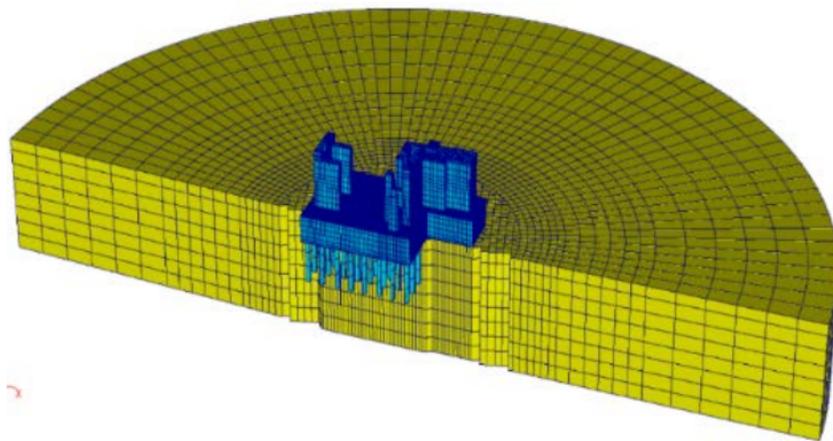
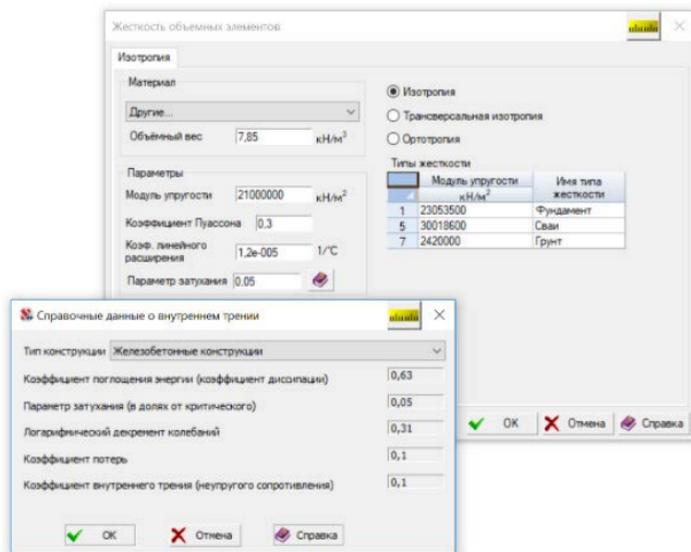


Нерэлеевский метод моделирования демпфирования

В новой «нерэлеевской» постановке задачи С.Ю. Фиалко предложил матрицу диссипации C представить в виде демпфирования по типу материала не зависимо от частот колебаний сооружения, что предельно упрощает применение методов прямой динамики к решению стандартных инженерных задач:

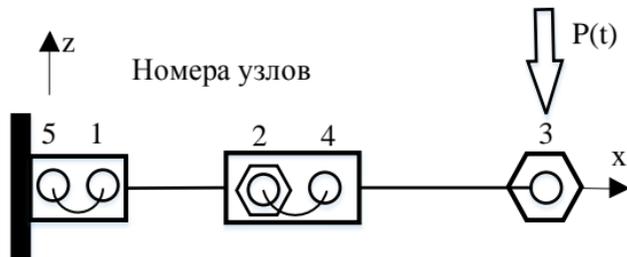
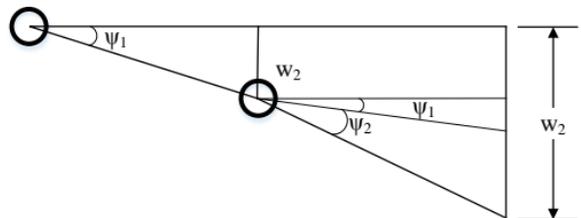
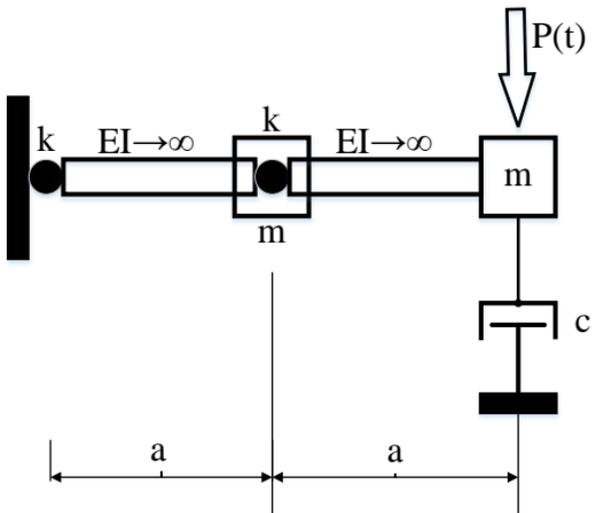
$$C = \sum_e \gamma_e P_e^T K_e P_e$$

где K_e – матрица жесткости конечного элемента e , P_e – матрица перестановок, γ_e – стандартный коэффициент неупругого сопротивления материала по нормативным данным и общепризнанным инженерно-научным справочным изданиям.





Аналитическое и численное решение задачи неоднородного демпфирования



- Номера узлов
- Узел
 - Объединение перемещений x, y, z, U_x, U_z
 - Упругая связь U_y с жесткостью k
 - Сосредоточенная масса m
 - Абсолютно твердое тело
 - Локальный демпфер с коэф. демпфирования c
 - Жесткие закрепления



Аналитическое и численное решение задачи неоднородного демпфирования

$$\psi_1 = \frac{w_1}{a}; \quad \psi_2 = \frac{w_2 - w_1}{a} - \psi_1 = \frac{w_2 - 2w_1}{a};$$

$$\mathcal{E} = \Pi + W = \frac{1}{2}k\psi_1^2 + \frac{1}{2}k\psi_2^2 - P w_2;$$

$$T = \frac{1}{2}m\dot{w}_1^2 + \frac{1}{2}m\dot{w}_2^2;$$

$$L = \mathcal{E} - T;$$

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} L dt = 0$$

$$\underbrace{\begin{pmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{pmatrix}}_{\mathbf{M}} \begin{pmatrix} \ddot{w}_1 \\ \ddot{w}_2 \end{pmatrix} + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & c \end{pmatrix}}_{\mathbf{C}} \begin{pmatrix} \dot{w}_1 \\ \dot{w}_2 \end{pmatrix} + \frac{k}{a^2} \underbrace{\begin{pmatrix} 5 & -2 \\ -2 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{K}} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ P(t) \end{pmatrix}$$



Аналитическое и численное решение задачи неоднородного демпфирования

$$\begin{aligned}
 a &:= 1 & m &:= 1 & c &:= 10 & k &:= 1000 & PP &:= \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\
 M &:= \begin{pmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{pmatrix} & C &:= \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & c \end{pmatrix} & K &:= \frac{k}{a} \begin{pmatrix} 5 & -2 \\ -2 & 1 \end{pmatrix} & Y &:= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

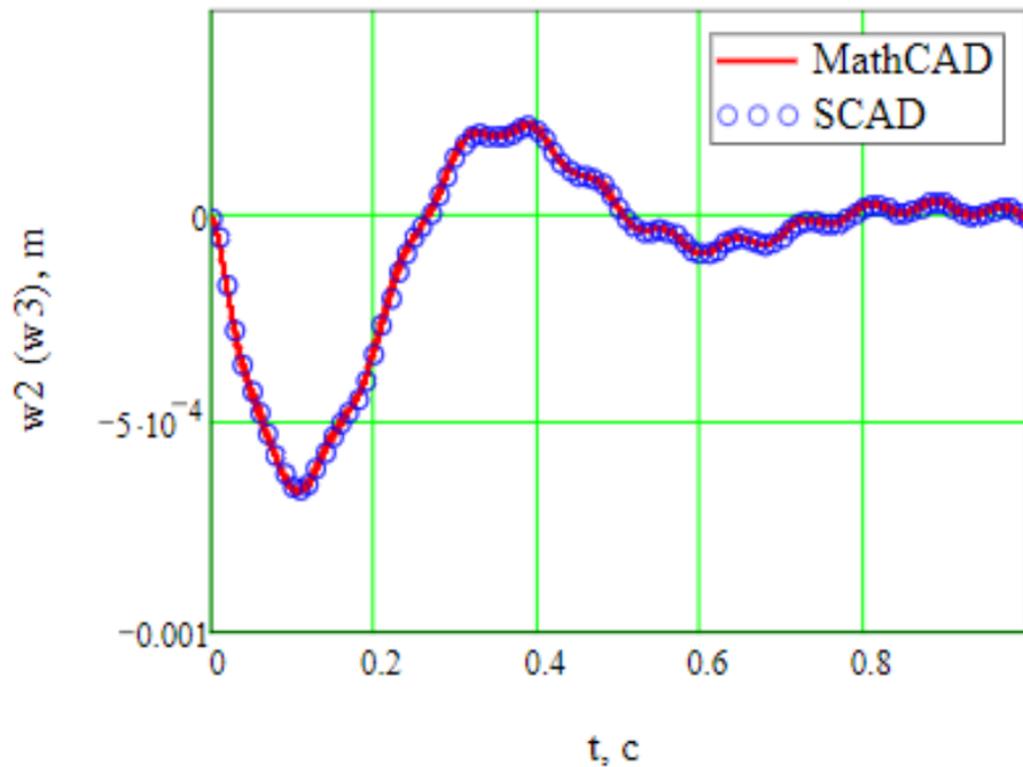
$$\begin{aligned}
 \Omega &:= \text{genvals}(K, M) & Fr &:= \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\Omega} & V &:= \text{genvecs}(K, M) & Z &:= \text{lsolve}(K, PP) \\
 \Omega &= \begin{pmatrix} 5.828 \times 10^3 \\ 171.573 \end{pmatrix} & Fr &= \begin{pmatrix} 12.151 \\ 2.085 \end{pmatrix} & V &= \begin{pmatrix} 1 & 0.414 \\ -0.414 & 1 \end{pmatrix} & Z &= \begin{pmatrix} 2 \times 10^{-3} \\ 5 \times 10^{-3} \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

$$P(t) := \begin{cases} p \leftarrow 1 & \text{if } t \leq 0.01 \\ p \leftarrow -100 \cdot t + 2 & \text{if } t > 0.01 \wedge t \leq 0.02 \\ p \leftarrow 0 & \text{if } t > 0.02 \\ \text{return } p \end{cases}$$

$$D(t, Y) := \begin{bmatrix} Y_2 \\ Y_3 \\ \frac{1}{m} \cdot (-K_{0,0} \cdot Y_0 - K_{0,1} \cdot Y_1) \\ \frac{1}{m} \cdot (P(t) - c \cdot Y_3 - K_{1,0} \cdot Y_0 - K_{1,1} \cdot Y_1) \end{bmatrix}$$



Аналитическое и численное решение задачи неоднородного демпфирования





Динамическое взаимодействие сооружения с основанием

Безусловное требование выполнения расчета гражданских зданий на возможные случаи динамического нагружения от промышленных, транспортных и сейсмических воздействий с учетом податливости основания оговаривается положениями СП 14.13330.2018, в п. 5.10 которого говорится, что в расчетно-динамической модели следует учитывать динамическое взаимодействие сооружения с основанием без ограничения круга задач, т.е. во всех случаях.

Характеристики основания по СП 26.13330.2012 для приведения зависимостей к общему виду значения относительного демпфирования в долях от критического были преобразованы в относительное демпфирование и собраны в таблице:

Вид колебаний	Параметры жесткости k	Параметры демпфирования c
Вертикальные, Z	$k_z = C_z \cdot A$	$c_z = c_{cr} \cdot \xi_z =$ $c_{cr} \cdot 6 \cdot \sqrt{E/(C_z \cdot p)} =$ $(2 \cdot \sqrt{k_z \cdot m}) \cdot$ $(6 \cdot \sqrt{E/(C_z \cdot p)})$
Горизонтальные, X (Y)	$k_{xy} = C_{xy} \cdot A$	$c_{xy} = 0.6 \cdot c_z$
Вращательные в вертикальной плоскости	$k_{\varphi x/\varphi y} = C_{\varphi x/\varphi y} \cdot I_{\varphi x/\varphi y}$	$c_{\varphi x/\varphi y} = 0.5 \cdot c_z$
Крутящие в горизонтальной плоскости (вокруг Z)	$k_t = C_t \cdot I_t$	$c_t = 0.3 \cdot c_z$

Таблица 3. Параметры для расчета взаимодействия сооружения с основанием фундамента мелкого заложения по СП 26.13330.2012

– коэффициент упругого равномерного сжатия, kH/m^3 , где b_0 – коэффициент, принимаемый для песчаных грунтов равным 1, для супесей и суглинков – 1,2, для глин и крупнообломочных грунтов – 1,5; E – модуль деформации грунта под подошвой фундамента (в случае неоднородного основания значение E определяется как среднее в пределах сжимаемой толщи); $A_{10}=10 m^2$; A – площадь подошвы фундамента; $C_{\varphi x}/C_{\varphi y}=2 \cdot C_z$ – коэффициенты упругого неравномерного сжатия (вращения); $C_x/y=0.7 \cdot C_z$ – коэффициенты упругого равномерного сдвига; $C_t=C_z$ – коэффициент упругого неравномерного сдвига (кручения); $I_{\varphi x}/I_{\varphi y}$, I_t – соответственно моменты инерции площади подошвы фундамента относительно горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости колебаний, и вертикальной оси фундамента, проходящих через центр тяжести подошвы; – критический коэффициент вязкого демпфирования, при котором движение системы впервые начинает терять свой колебательный характер, позволяющий перейти от относительного демпфирования в долях от критического $\xi_z=c_z/c_{cr}$ по СП 26.13330 к эквивалентному демпфированию по аналогии с ASCE 4-98; p – среднее статическое давление под подошвой фундамента.



Динамическое взаимодействие сооружения с основанием

Параметры для расчета взаимодействия сооружения с основанием фундамента мелкого заложения по СП 26.13330.2012								
Вид колебаний	Параметры жесткости k		Эквивалентное демпфирование c			Демпфирование в долях от критического		
Вертикальные, Z	$k_z = C_z \cdot A$	8015,31	тм	C_z	1817,53	т/м ³	ξ_z	0,78
Горизонтальные, X (Y)	$k_{xy} = C_{xy} \cdot A$	5610,72	тм	$C_{x/y}$	1272,27	т/м ³	ξ_x	0,47
Вращательные в вертикальной плоскости	$k_{\psi, \varphi} = C_{\psi, \varphi} \cdot I_{\psi, \varphi}$	147,28	тм ⁴ /м ⁶	$C_{\psi/x/\psi/y}$	908,77	т/м ³	ξ_{φ}	0,39
Крутящие в горизонтальной плоскости (вокруг Z)	$k_t = C_t \cdot I_t$	88,37	тм ⁴ /м ⁶	C_t	545,26	т/м ³	ξ_{ψ}	0,23

ИГЭ-26. Суглинок тяжелый пылеватый тугопластичный, ненабухающий, с прослойки полутвердого и мягкопластичного. Грунт без видимых включений обломочного материала. Отмечается в основании водопроводных труб. Грунта грунта (ГЭСН 81-02-01-2017, прил. 1.1) – 35б.

Нормативные характеристики грунта приведены в таблице 11. Среднейный гранулометрический состав грунта представлен в таблице 12. Расчетные значения характеристик грунтов приведены в таблице 13.

Таблица 11 – Нормативные значения характеристик грунтов ИГЭ-26

Влажность природная, W	Число пластичности, Ip	Показатель текучести, I _L	Плотность, ρ т/м ³	Коэффициент пористости, e	Коэффициент водонасыщения, Sr
0,254	0,14	0,39	1,94	0,760	0,91

Таблица 12 – Среднейный гранулометрический состав ИГЭ-26

Размер фракции в мм, %							
>10	10-2	2-0,5	0,5-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005
-	-	0,3	0,5	1,1	5,8	40,3	38,1

Таблица 13 – Расчетные значения характеристик грунтов ИГЭ-26

Характеристика грунта	Доверительная вероятность			
	0,95		0,85	
Плотность грунта, т/м ³	ρт	1,93	ρп	1,93
Удельный вес грунта, кН/м ³	γт	18,91	γп	18,91
Удельное сцепление грунта, кПа	Cт	28	Cп	30
Угол внутреннего трения, град.	φт	17	φп	18
Модуль деформации, Мпа	E	5,9		

При промерзании грунты ИГЭ характеризуются как среднепучинистые.

Относительная деформация набухания без нагрузки $e_{sw} = 0,018$.

Расчетное сопротивление по СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» – 250 кПа.

[Элементы № 84-89] Связи конечной жесткости (элемент типа 51)

Типы жесткости Все

Направление с X, Y, Z, Ux, Uy, Uz

Имя типа жесткости: Экв. жест. фунда. 2.1x2.1

Имя типа жесткости: Экв. жест. фунда. 2.1x2.1

Параметр загрузки 0 (в долях от критического)

Использовать описание в качестве имени

Значить и выйти

Отмена Справка

Узловой демпфер (элемент типа 56)

Типы жесткости Направление с

Имя типа жесткости: Экв. демпфер фунда. 2.1x2.1

Имя типа жесткости: Экв. демпфер фунда. 2.1x2.1

Использовать описание в качестве имени

Задать элемент списком узлов

Список узлов

Значить и продолжить

Значить и выйти

OK Отмена Справка

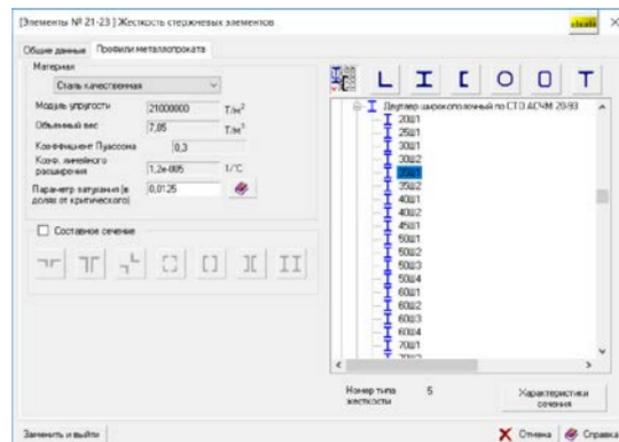
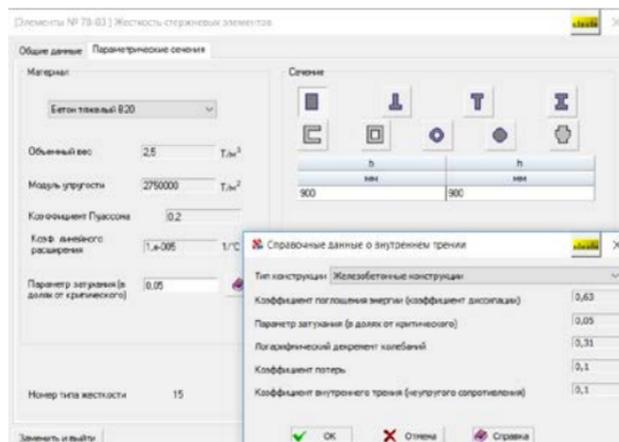
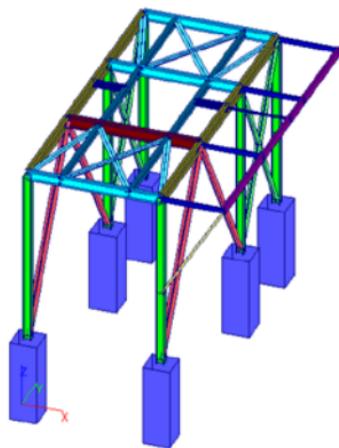


Нерзлеевский метод моделирования демпфирования

В новой «нерзлеевской» постановке задачи С.Ю. Фиалко предложил матрицу диссипации C представить в виде демпфирования по типу материала не зависимо от частот колебаний сооружения, что предельно упрощает применение методов прямой динамики к решению стандартных инженерных задач:

$$C = \sum_e \gamma_e P_e^T K_e P_e$$

где K_e – матрица жесткости конечного элемента e , P_e – матрица перестановок, γ_e – стандартный коэффициент неупругого сопротивления материала по нормативным данным и общепризнанным инженерно-научным справочным изданиям.





Пример задания прямого динамического нагружения

Параметры динамических воздействий

Общие данные | Прямое интегрирование уравнений движения

Вид воздействия

- Сейсмические воздействия
- Ветровые воздействия
- Прочие воздействия
- Прямое интегрирование

Нормальная нагрузка

Преобразовывать массы из расчетных в нормативные

Значения параметров взять из загрузки

Имя загрузки: Прямич. возд. грокота в стая. реж.

Преобразование статических нагрузок в массы

Номер и имя присвоенного статического нагружения | Коэф. пересчета

1	Собственный вес	0	+ Записать
Загрузка Коэф.			
3	Вес грокота инерционного	0,95	
4	Вес материала на грокоте	0,25	
8	Вес снега	0,25	

Удалить

Наименование

Прямое интегрирование уравнений движения

Определение собственных форм и частот выполнять методом

- Итерация подпространств
- Ланцоша
- Наискорейшего спуска

Анализ в заданном частотном диапазоне от 0 Гц до 0 Гц

Ограничение по максимальной частоте 0 Гц

Автоматическое определение количества форм исходя из % выбранных масс по направлениям

X 0 % | Y 0 % | Z 0 %

Использовать согласованную матрицу масс

OK | Отмена | Справка

Параметры динамических воздействий

Общие данные | Прямое интегрирование уравнений движения

Шаг интегрирования: 0,01 сек

Продолжительность процесса: 5 сек

Модальное демпфирование

- Определение по первым двум частотам
- Задание самостоятельно

α-ННН параметр: 0

Моменты времени для выдачи результатов

	От, сек	До, сек	С шагом, в сек
1-я частота	0		
2-я частота	0		
	1	5	0,01

Множитель при матрице масс: 0 сек⁻¹

Множитель при матрице жесткостей: 0 сек

Демпфирование материала (задается в жесткостях)

+ Добавить | X Удалить

	№ статического нагружения	Множитель	Запаздывание, сек	Сглаживание	Имя файла	Просмотр графика	Открыть файл
1	24 Амплитуда	1	0	Линейно	C:\DM\ЧАК\КАП\БЛ		
2	25 Амплитуда	1	0,02	Линейно	C:\DM\ЧАК\КАП\БЛ		

+ Добавить

Функция времени

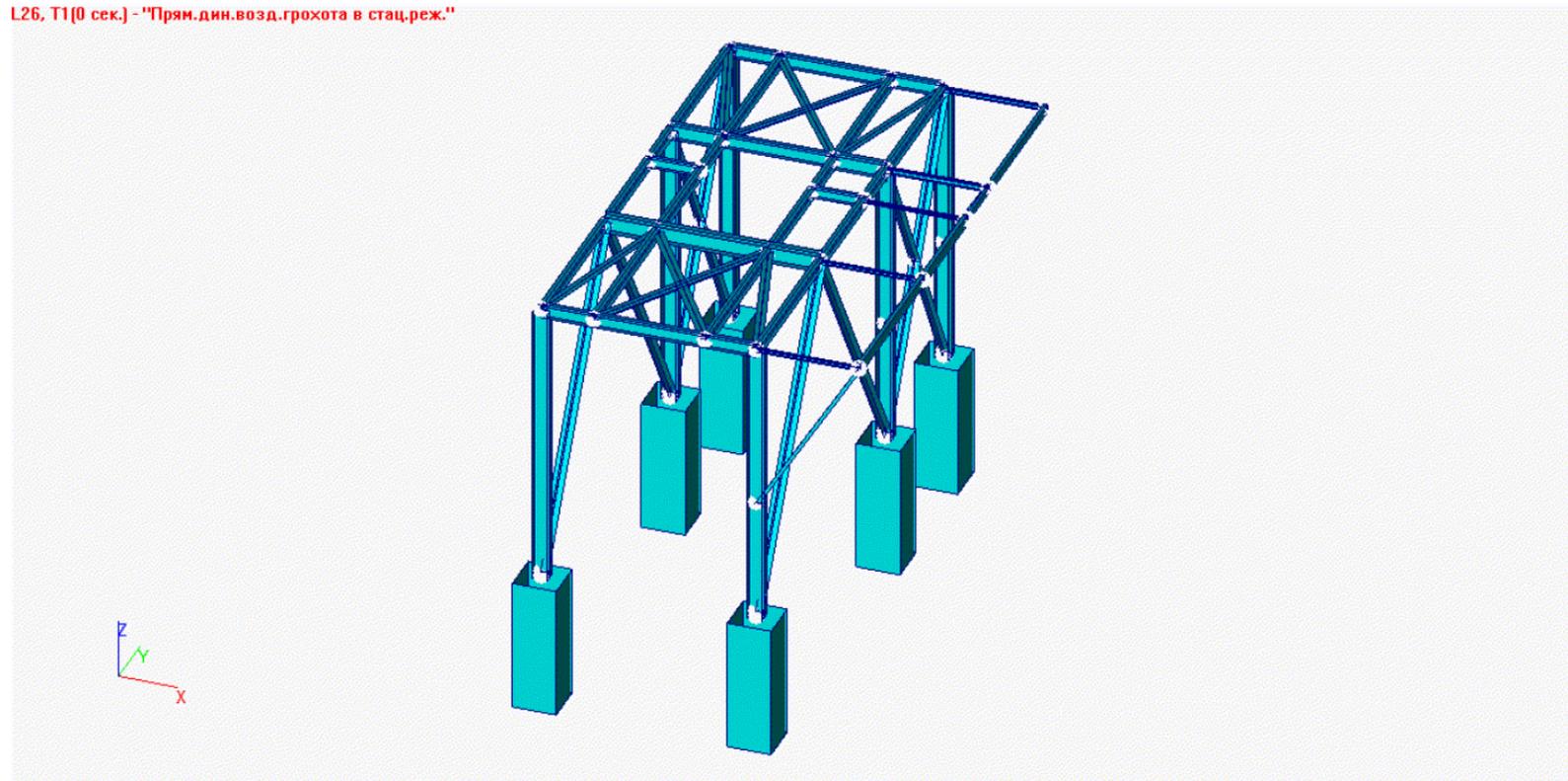
Окна | Масштабирование | Имя файла

Окна



Пример анализа результатов прямого динамического расчета

L26, T1(0 сек.) - "Прям.дин.возд.грохота в стац.реж."





Пример анализа результатов прямого динамического расчета

Информация об узле

Указание на схеме

Номер узла: 24

Координаты:

X: 1,06 м
Y: 10,5 м
Z: 5,73 м

L26, T2(0.01 сек.)

X: 1,85e-004 мм
Y: -0,01 мм
Z: 2,63e-004 мм
Суммарные: 0,01 мм

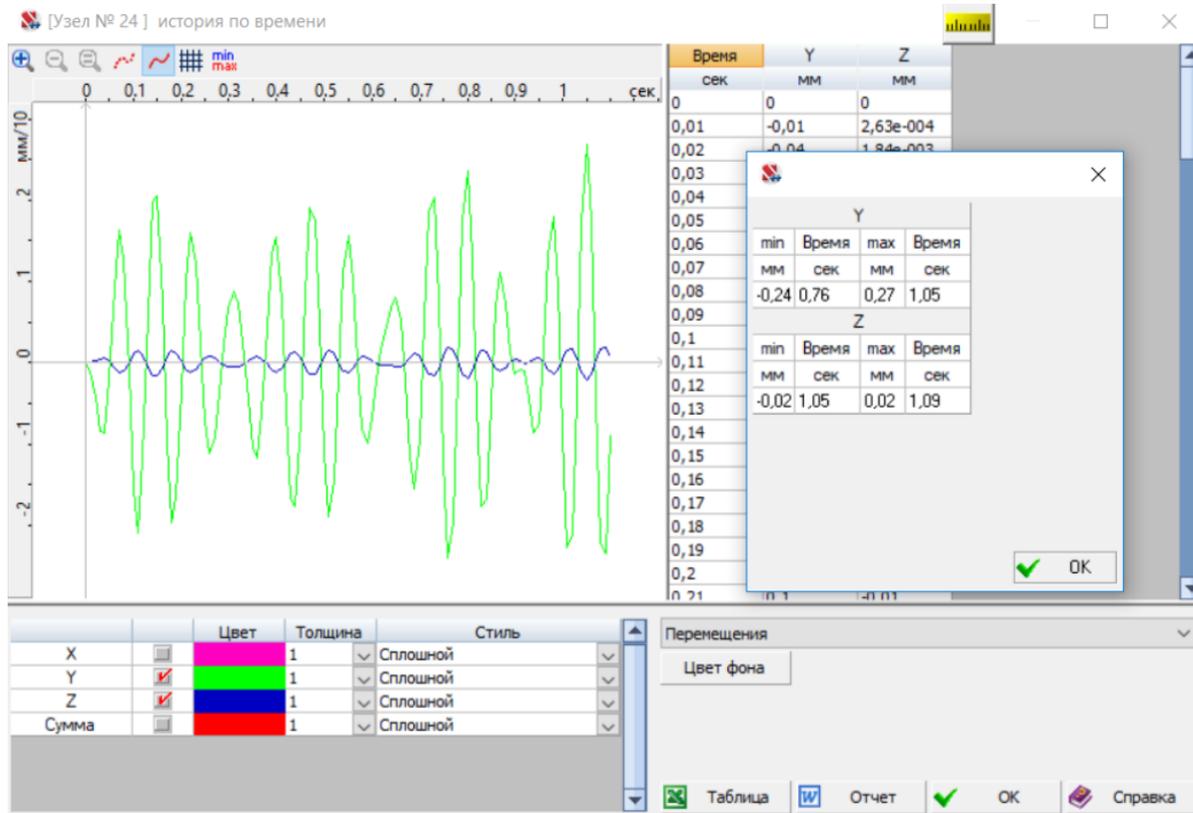
UX: 8,56e-005 гра.
UY: 9,69e-006 гра.
UZ: -1,52e-004 гра.

Управление
Имя: <>

Принадлежность группам
Объединения перенесений:

Связи
Нагрузки
РСП
Нагрузки от фрагмента
Весы масс
Ускорения

Изменения во времени





Пример анализа результатов прямого динамического расчета

Группы узлов

Имя группы: Все узлы

Операции с группой: + Добавить группу

1 Опоры грохота
2 Все узлы

Группы элементов

Имя группы: Все элементы

Операции с группой: + Добавить группу

1 Все элементы

Редактирование списка

1-95

Настройка параметров среды

Расчетная схема | **Результаты** | Управление анимацией

Штриковать эпюры усилий

Шаг штриковки эпюр усилий: 1 1.5 2

Выдавать значения напряжений в узлах пластин и объемных элементов

Критерий пологости оболочки: 0,95

Сохранять реакции в узлах от форм динамических нагружений

Нагрузки от фрагмента схемы

Расчет по нагружениям Расчет по комбинациям нагружений

Список элементов: 1-95

Группы элементов: Все элементы, Колонны до отм.+7,81, Колонна до отм.+4,28С, Ригель рамы

Список узлов: 1-48

Группы узлов: Опоры грохота, Все узлы

Номер участка: 1

Угол поворота: 0 град

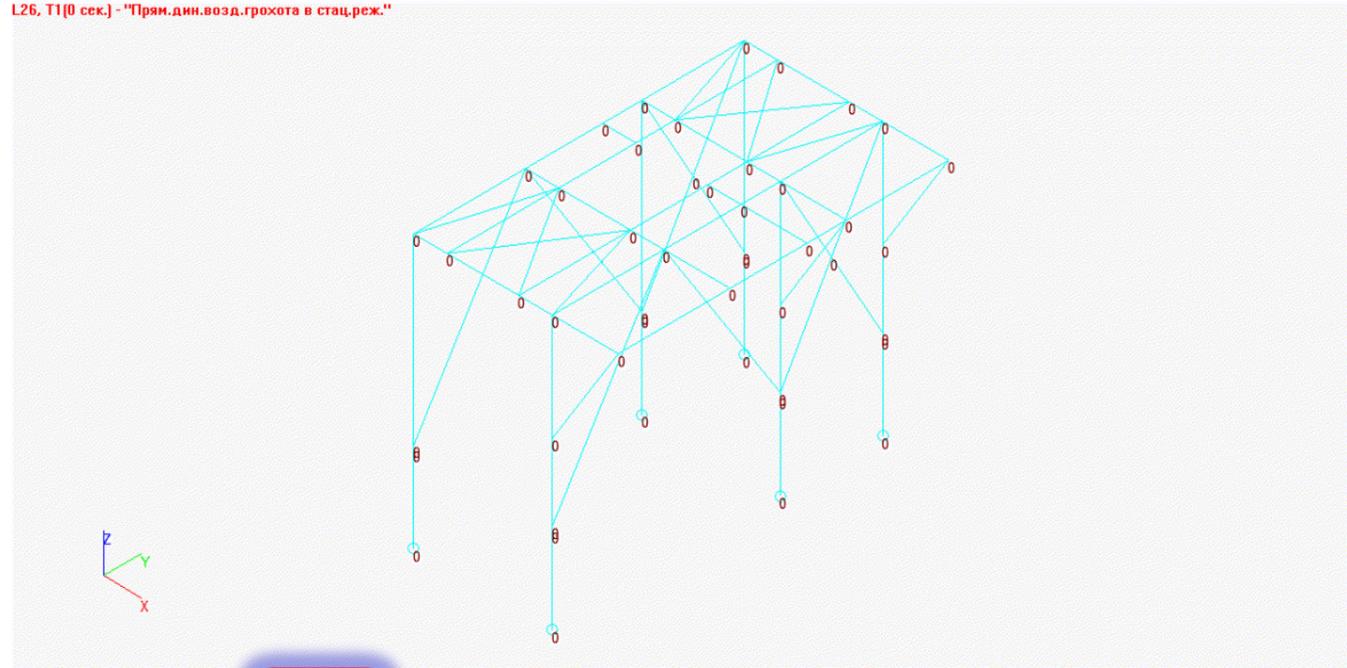
+ Новый участок
Записать участок
Удалить участок

ОК Отмена Справка Удалить данные



Пример анализа результатов прямого динамического расчета

L26, T1(0 сек.) - "Прям.дин.возд.грохота в стац.реж."



Software interface toolbar and status bar. The toolbar includes icons for various analysis and display functions. A red box highlights the icon representing a dynamic analysis or time step selection. The status bar shows the current analysis parameters: **Управление**, **Перемещения...**, **Эпюры усилий**, **Поля напряжений**, **Постпроцессоры**, **Группы**, **Железобетон**, **Сталь**. The selected analysis parameters are: **Узлы (T)**, **L26, T2(0.01 сек.)**, and **Все узлы**.



Пример анализа результатов прямого динамического расчета

SCAD++ (64-бит) - [Присоединяемая подсхема]

Файл Настройки Вид Операции Окно Сервис Справка

Управление Схема Расчеты Узлы и Элементы Загрузки Группы

Узлы

№	Имя
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	

4 Грохот с ... Присоединя...

Сборка схемы

Правила сборки

- Удалить совпадающие элементы
- Удалить совпадающие узлы
- Отсутствие связей между совпадающими узлами
- "Шарнирное" соединение в узлах

Объединять перемещения по:

X Y Z Ux Uy Uz

Точность сборки: 0,01

Объединять одинаковые жесткости с разными именами

Включить нагрузки подсхемы в схему

Записать нагрузки

Игнорировать нагрузки подсхемы

Привязка к точке с заданными координатами

X: 0 Y: 0 Z: 0

Ось вращения: X Угол поворота: 0

Сборка выполняется установкой схемы в заданную точку и поворотом вокруг одной из осей общей системы координат, перемещенной в точку сборки

Стыковка по трем узлам

- 1 - Привязка к двум узлам
- 2 - Совпадение трех узлов

Сборка выполняется совмещением узлов стыковки: 1 - совмещаются красный и зеленый, а желтый узел определяет плоскость сборки; 2 - совмещаются три узла

Привязка к двум узлам

Угол поворота: 0

Сборка выполняется совмещением двух узлов и разворотом схемы вокруг линии, проходящей через эти узлы, на угол α (в градусах)

Привязка к одному узлу

Ось вращения: X Угол поворота: 0

Сборка выполняется совмещением узлов стыковки и разворотом схемы вокруг одной из осей общей системы координат, перемещенной в узел сборки.

Множественная сборка

Учитывать ранее отмеченные узлы

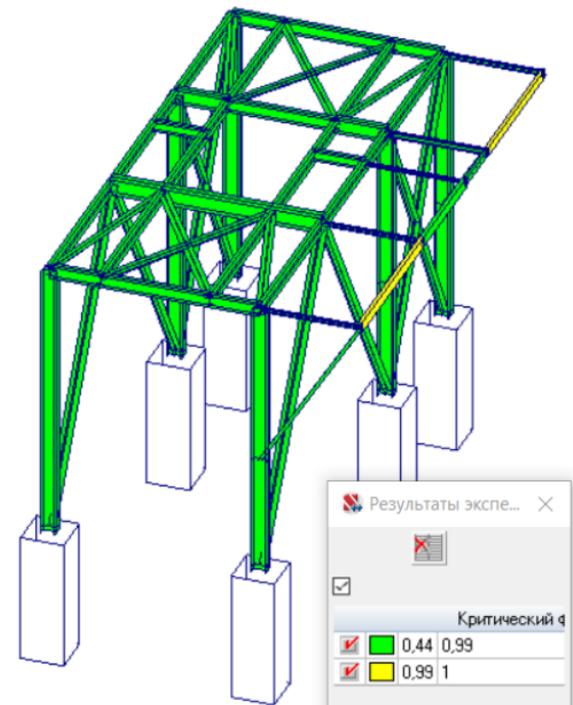
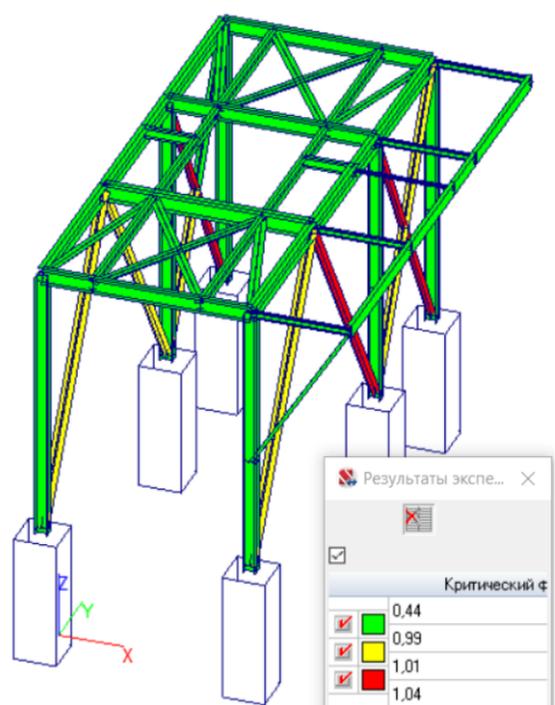
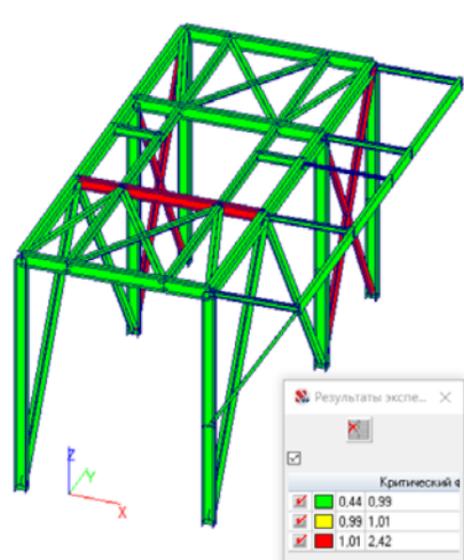
Все размеры задаются в м

Все углы задаются в град

OK Отмена Справка

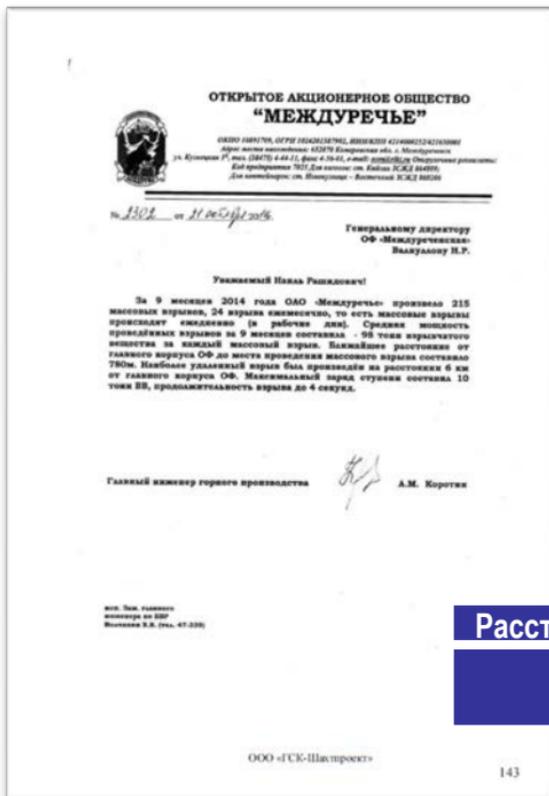


Пример анализа результатов прямого динамического расчета





Пример анализа результатов прямого динамического расчета



В районе площадки расположения здания главного корпуса цеха №1 ОАО «ОФ «Междуреченская» в пределах 0,78 км расположены участки промышленных взрывов угольного разреза ОАО «Междуречье».

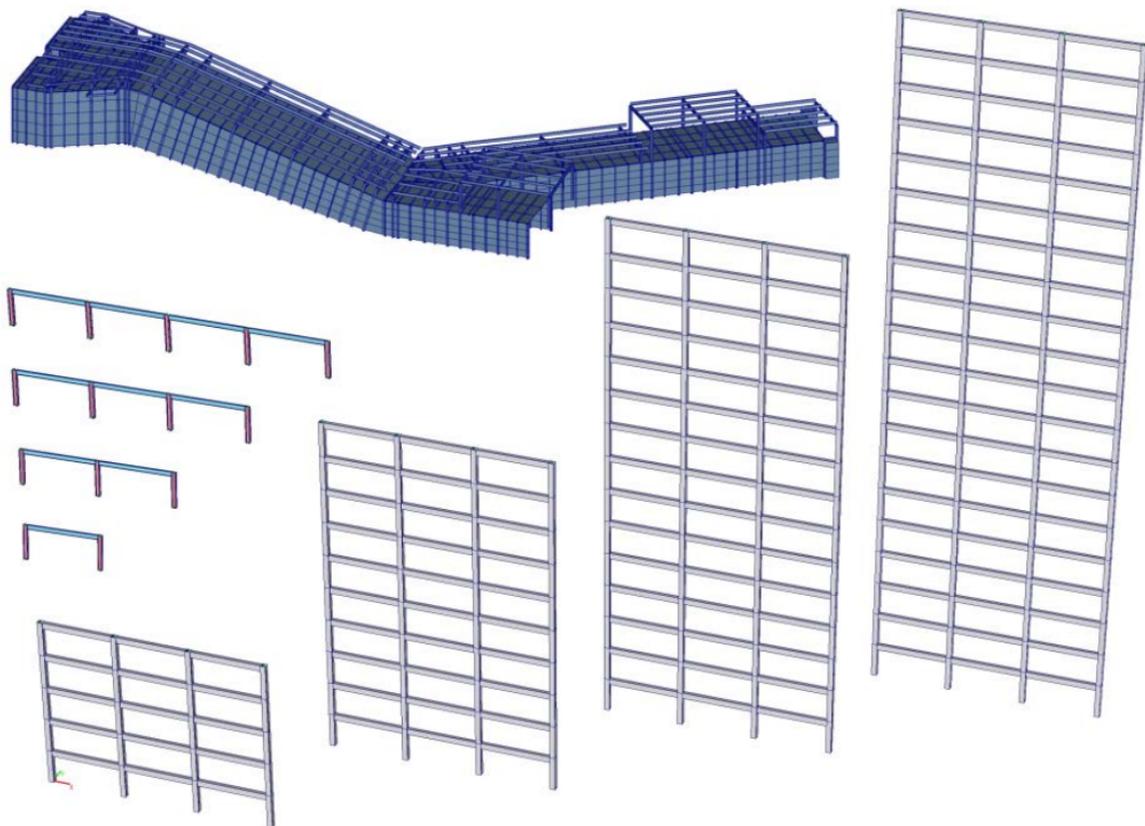
По данным количество взрывов в среднем за месяц в 2014 г. составляет 24 раза. Объем суточного взрывания составляет 98 т.

Поскольку производятся промышленные взрывы на горных участках разреза, территориально примыкающих к площадке здания, необходимо оценить их воздействие на его конструкции.

Расстояние R, м	Масса заряда q, т	Смещение S _p , см	Землетрясение, балл
780	98	0,18	Землетрясение сильное (6-7 баллов)



Пример анализа результатов прямого динамического расчета

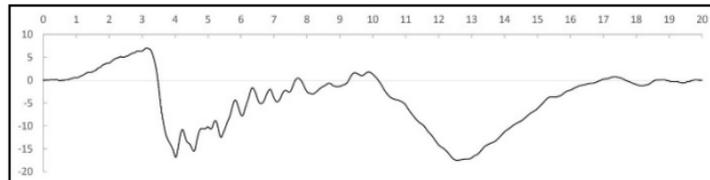
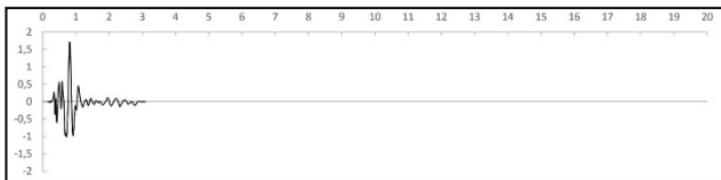




Пример анализа результатов прямого динамического расчета

Балл	Название землетрясения	Среднее смещение грунта от взрывного воздействия S_p , см	Среднее смещение грунта по СП 14.13330 S_c , см
1	Незаметное	-	-
2	Очень слабое	-	-
3	Слабое	-	-
4	Умеренное	<0,05	-
5	Довольно сильное	0,05 – 0,1	-
6	Сильное	0,11 – 0,2	2
7	Очень сильное	0,21 – 0,4	4
8	Разрушительное	0,41 – 0,8	8
9	Опустошительное	0,81 – 1,6	16
10	Уничтожающее	1,61 – 3,2	32
11	Катастрофа	> 3,2	-
12	Сильная катастрофа	-	-

$$S_R = 3400 \frac{q^{3/4}}{R^2}$$





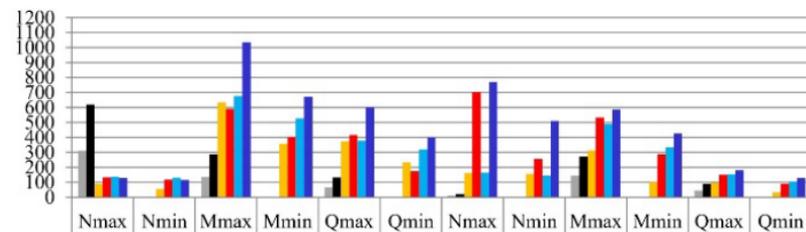
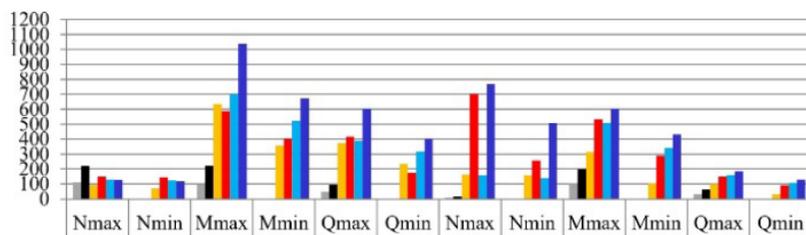
Пример анализа результатов прямого динамического расчета

$$t_d = R_d / V_p$$

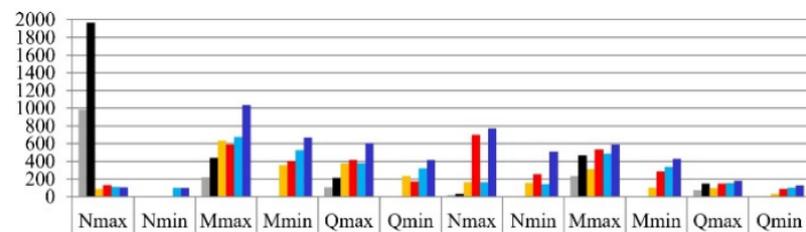
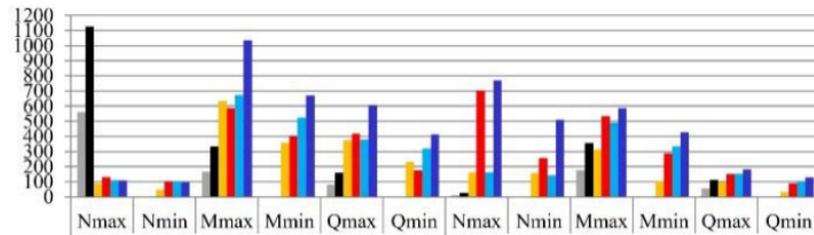
№	Наименование загрузки	Тип загрузки	Вид нагрузки	Козф-фициент γ_n	Доля длительности
1	Постоянное на ригели	Постоянные нагрузки	Другие	1,1	1
2	Синхронное смещение опор		Неактивное нагружение		
3	Смещение 1 опоры		Неактивное нагружение		
4	Смещение 2 опоры		Неактивное нагружение		
5	Смещение 3 опоры		Неактивное нагружение		
6	Смещение 4 опоры		Неактивное нагружение		
7	Сейсмика 6 баллов	Особая нагрузка	Сейсмические воздействия	1	0
8	Сейсмика 7 баллов	Особая нагрузка	Сейсмические воздействия	1	0
9	Синхронный импульс	Особая нагрузка	Взрывные воздействия	1	0
10	Асинхронный импульс	Особая нагрузка	Взрывные воздействия	1	0
11	Синхронная сейсмограмма	Особая нагрузка	Взрывные воздействия	1	0
12	Асинхронная сейсмограмма	Особая нагрузка	Взрывные воздействия	1	0



Пример анализа результатов прямого динамического расчета



- Спектральный метод 6 баллов
- Синхронный импульс
- Синхронная сейсмограмма



Колонны

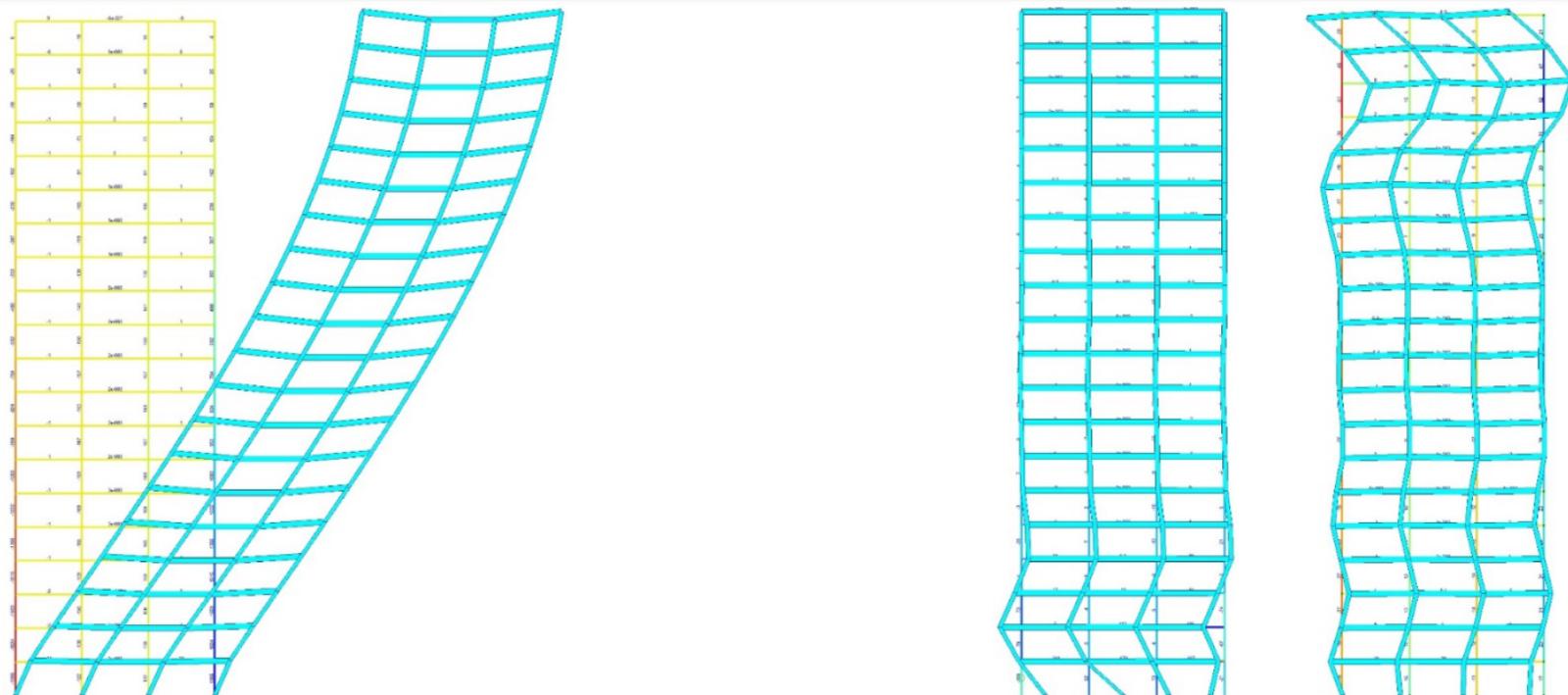
Ригели

- Спектральный метод 7 баллов
- Асинхронный импульс
- Асинхронная сейсмограмма

Внутренние усилия от взрыва в колонне и ригеле многоэтажных железобетонных рам высотой пять (а), десять (б), пятнадцать (в) и двадцать (г) этажей



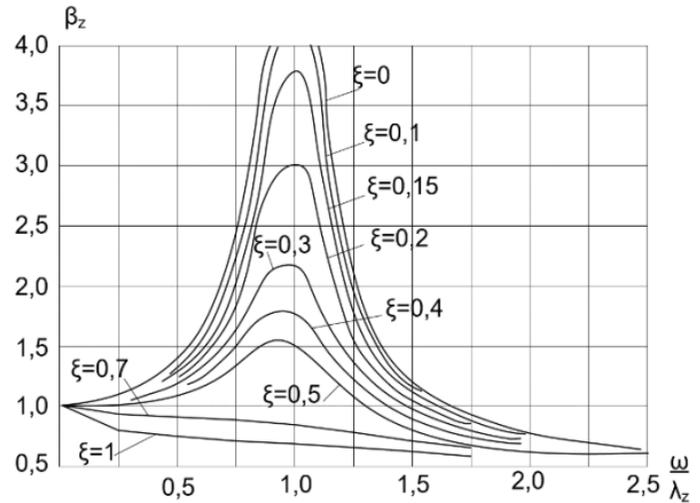
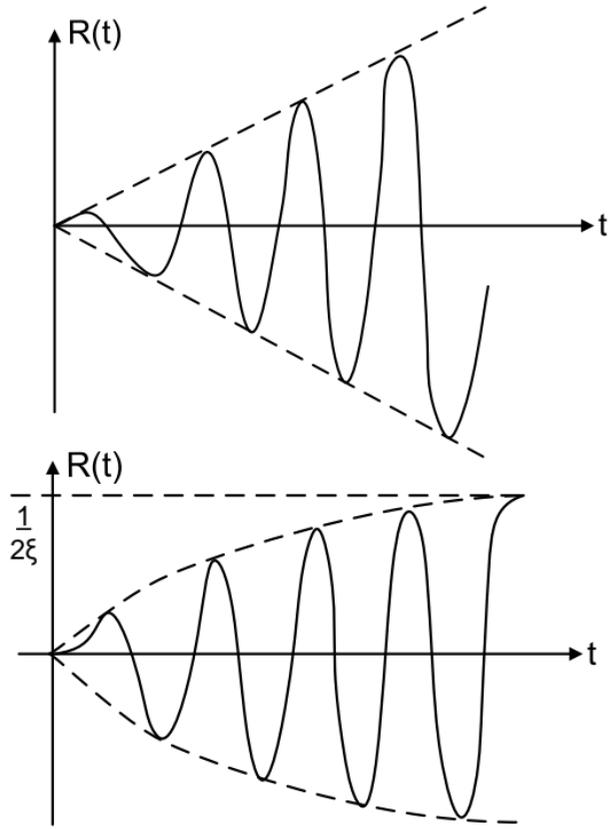
Пример анализа результатов прямого динамического расчета



Деформации и продольные усилия в двадцатипятиэтажной железобетонной раме при выполнении расчета спектральным методом по эквивалентному землетрясению (а), прямым динамическим методом в момент времени 0,85 с достижения максимального усилия N (б), прямым динамическим методом в момент времени 1,95 с достижения максимального перемещения 4,06 мм по X (в).



Зависимость предельного резонанса от демпфирования





Пример анализа результатов прямого динамического расчета. Выводы для примера моделирования взрывных воздействий

1. Спектральный метод не применим к моделированию взрывных воздействий в связи с тем, что включение в колебательное движение всех динамических масс сооружения от коротких импульсных воздействий попросту невозможно даже при совпадении с собственной частотой сооружения, в следствии чего среднеквадратичное усреднение воздействий по нескольким формам в спектральной теории приводит к многократному завышению деформаций и продольных усилий в крайних колоннах. При этом за счет поступательного характера деформаций исключаются из анализа изгибающие моменты в колоннах и ригелях каркаса.
2. В связи со сложностью физики процесса распространения взрывных волн и отсутствием простого точного аналитического решения данной задачи по мнению авторов для надежного проектного обоснования конструкций прямой динамический метод решения задачи с интегрированием уравнений движения во времени является единственной альтернативой.
3. Изгибающие моменты и поперечные усилия в колоннах и ригелях имеют слабую зависимость от типа надфундаментной конструкции, поскольку возникают не от инерционных масс относительно неподвижного основания как в спектральной теории, а, напротив, за счет мгновенного смещения основания под сооружением со свойственной ему инерцией.
4. Актуальность асинхронного возбуждения опор для учета дополнительных изгибающих моментов и продольных усилий в условиях естественного сжатия продемонстрирована как для одноэтажных, так и для многоэтажных рам.



Пример анализа результатов прямого динамического расчета. Выводы для примера моделирования взрывных воздействий

5. С увеличением количества пролетов в сравнительно легких одноэтажных стальных рамах дополнительные усилия от асинхронного возбуждения опор снижаются в связи с уменьшением вероятности совпадения моментов с сонаправленным колебательным движением узлов нижнего яруса рамы, при котором возможно энергетическое суммирование эффекта динамического воздействия.
6. Дополнительным отличием сейсмограмм землетрясений от взрывов является то, что на записях взрывных воздействий как правило отсутствует вступление сдвиговых сейсмических S-волн в связи с тем, что физика объемного взрыва связана с резким изменением давления в массиве взрываемой породы, а не со сдвигом.
7. Авторами рассматривается возможность для аналитического описания диаграммы эквивалентной сейсмограммы в виде периодических импульсов с изменением амплитуды по гармоническому закону в зависимости от стандартных статистических параметров величины амплитуды, длительности воздействия и периодов отдельных импульсов. Выполнение консервативности данного подхода может быть обеспечено за счет моделирования вариативности параметров эквивалентного воздействия с использованием взаимоисключаемых вариантов загрузки в режиме расчетных сочетаний усилий.

Моделирование в SCAD 21.1.9.3 неоднородных демпфирующих свойств материалов в конструкциях, фундаментах и грунтовом основании

Михайлов Виктор Сергеевич / mvs@scadsoft.ru

Руководитель центра научно-технической поддержки «SCAD SOFT Новосибирск»

Коновалова Светлана Владимировна / Swetlan.ka@mail.ru

Ведущий инженер ООО «Сибирский Институт Горного Дела», г. Кемерово

Научный руководитель:

к.т.н. **Нуждин Леонид Викторович**, профессор НГАСУ, ПНИПУ



**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**