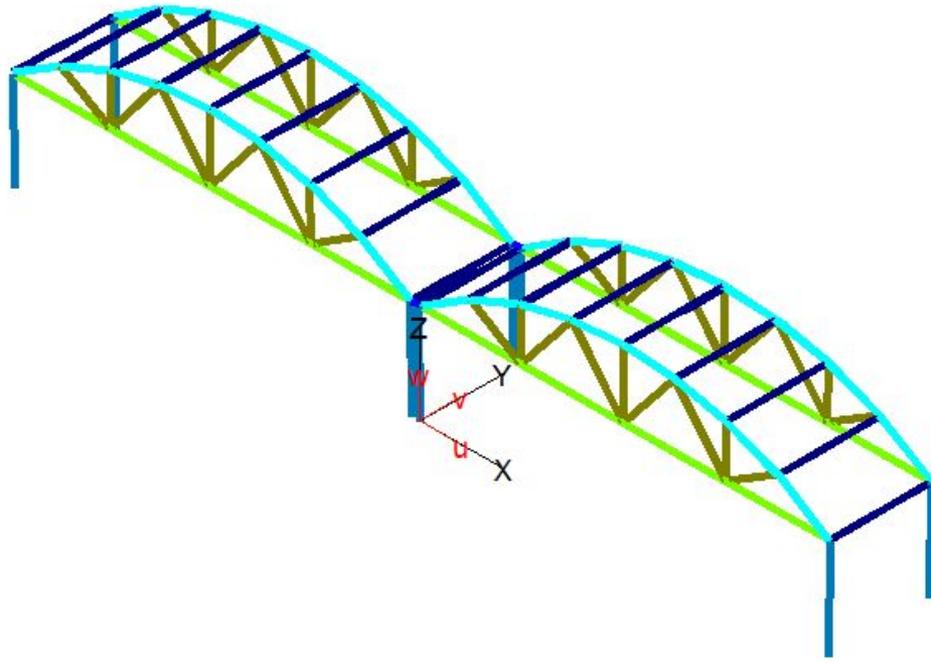


**Расчет на сейсмические  
воздействия по  
акселерограммам  
(во временной области) с  
учетом демпферов**

# Последовательность расчетного обоснования конструктивного решения с учетом динамических воздействий

1. Анализ собственных колебаний конструкции и установление наиболее опасных расчетных направлений и других параметров сейсмических воздействий.
2. Определение максимальных инерционных сил (квазистатических нагрузок) линейно-спектральным методом (в частотной области) для расчетных схем сейсмического воздействия. Сейсмические нагрузки соответствуют уровню ПЗ (проектное землетрясение).
3. Определение усилий в элементах конструкций при действии статических и квазистатических нагрузок.
4. Проектные расчеты (определение количества арматуры, размеров сечений, характеристик материалов) элементов конструкций с рассмотрением неблагоприятных сочетаний статических и квазистатических нагрузок.
5. Оценку и, при необходимости, корректировку принятых конструктивных решений на основе динамического расчета на сейсмические нагрузки, соответствующие уровню МРЗ (максимальное расчетное землетрясение). Расчеты по п. 5.2.б, следует применять для зданий и сооружений, перечисленных в табл. 3 пункт 1-2 СП 14.13330.2014.

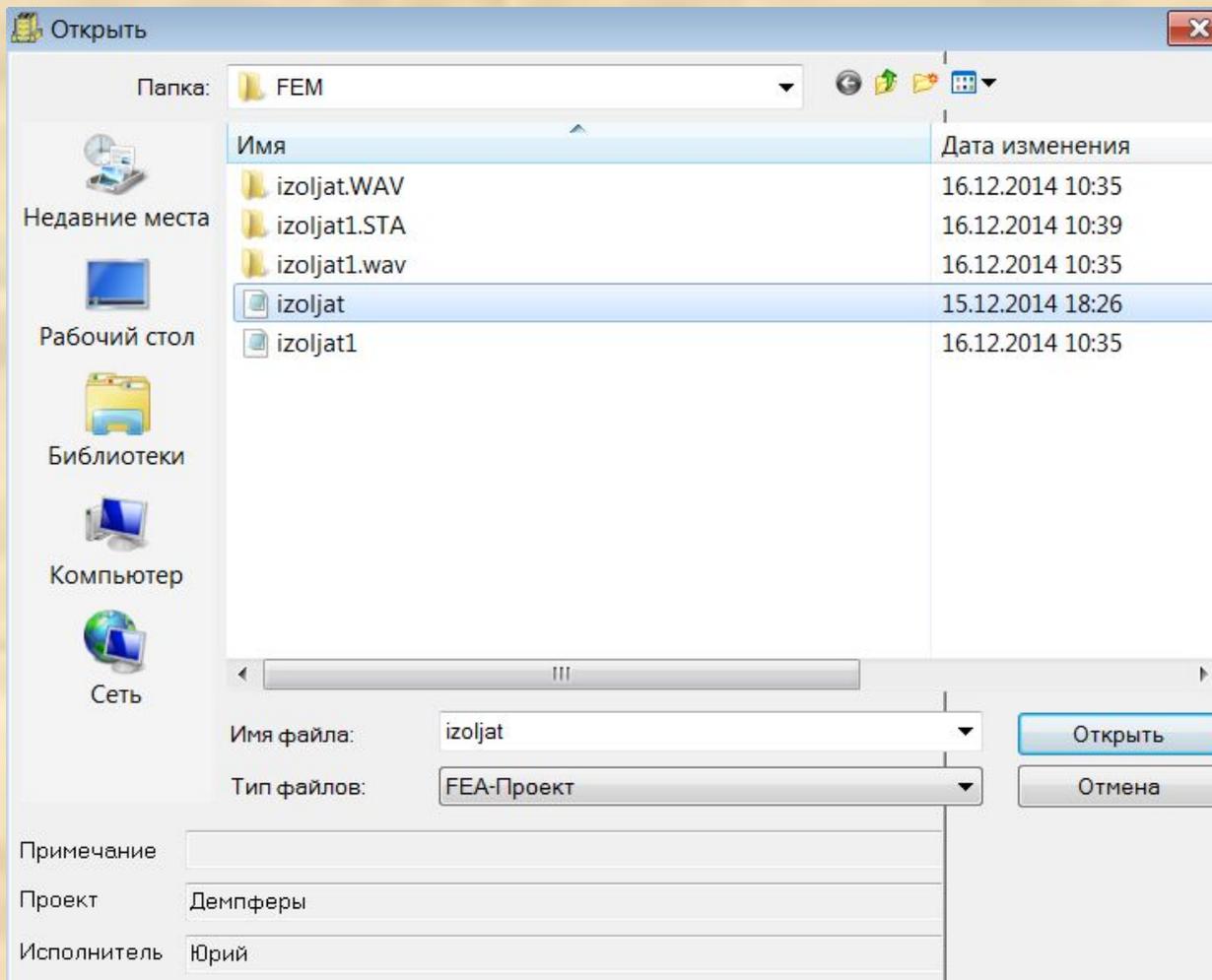
# Упражнение по расчету во временной области на сейсмическое воздействие



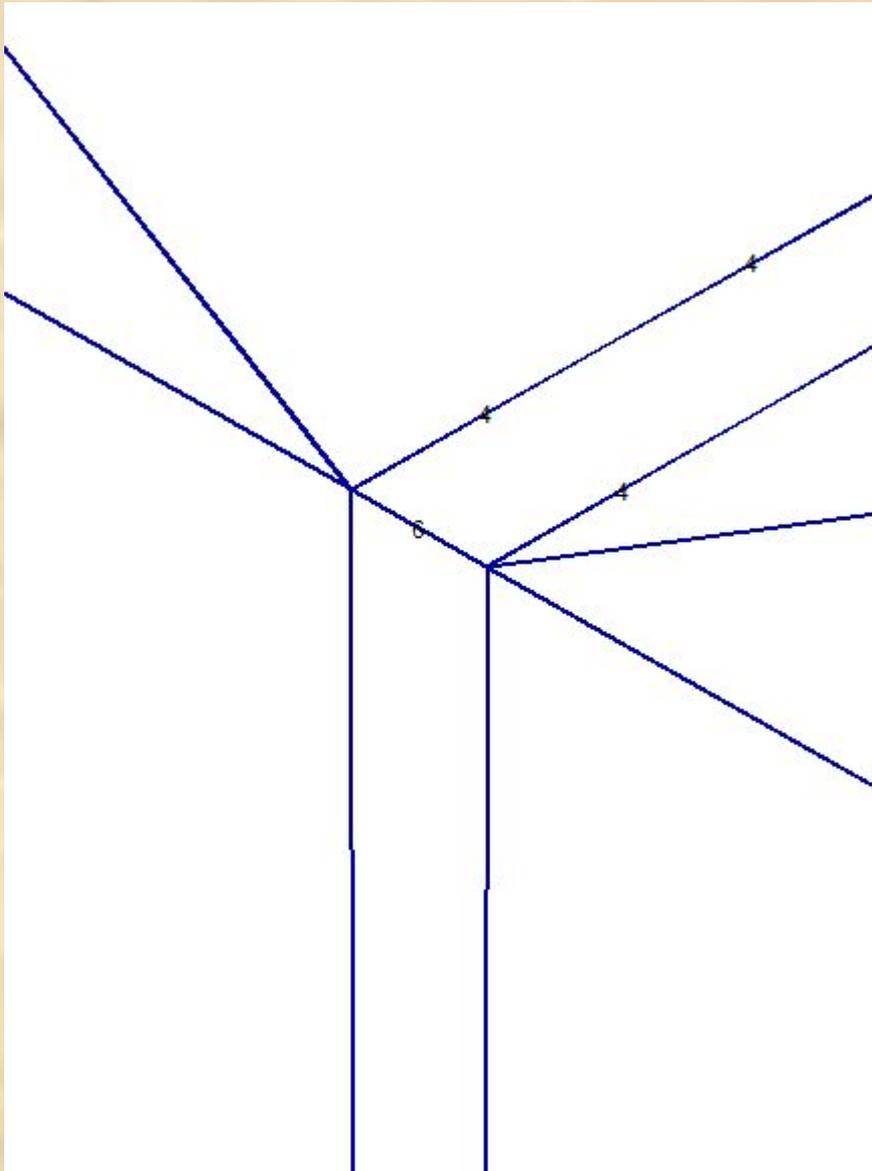
**Имеется** расчетная модель стального каркаса с основными расчетными нагрузками (izoljat.fea).

**Требуется** выполнить расчет модели каркаса во временной области на сейсмическое воздействие с использованием набора акселерограмм движения грунта при сейсмическом воздействии (п. 5 на предыдущем слайде) с учетом наличия в конструкции демпферов.

# Шаг 1. Загружаем расчетную модель **izoljat.fea**.



# В расчетной модели заданы демпферы для гашения сейсмических нагрузок



Имена материалов

3D - стержень Ребро Трос Слоистый

Номер мат. 6 Новый

A	1	G	0
As	0	Rho	0
At	0		
Ir	0		
Is	0		
It	0		
E	6600	...	Стандарт

Ссылка 2

Демпфер

Cr	1150
Cs	0
Ct	0

OK Отмена

## Демпферы типа 1.

Жесткость  $K=6600$  Н/мм

Максимальные перемещения -15 см

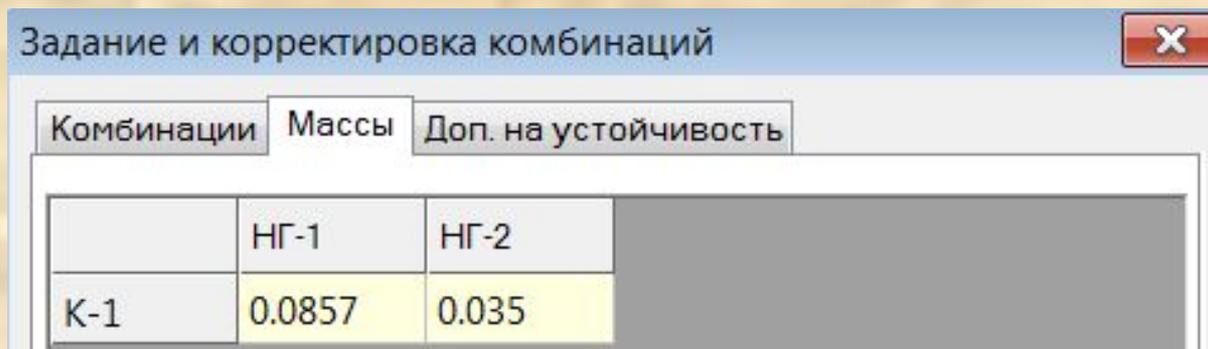
Максимальная нагрузка 100 тонн

Скорость 0,4 м/с

Жесткость  $C=1150$  Кн\*с/м

Демпфирование 15%

## Шаг 2. Задаем особую комбинацию нормативных масс.



Комбинации	НГ-1	НГ-2
K-1	0.0857	0.035

$\rho = 7.065 \text{ т/м}^3$     0.05/1.4

Согласно СП 20.13330.2011 п. 4.3. и СП 14.13330.2014 табл. 2 для задания нормативных масс используем коэффициенты для нагрузений, равные отношению  $K_c/K_n$  (к-тов сочетания для особого сейсмического нагружения и надежности по нагрузке).

# Шаг 3. Определяем формы и частоты собственных колебаний модели.

**Параметры расчёта**

Тип расчета

- Статический расчет
- Собственные колебания
  - Сейсмический режим Параметры ...
- Устойчивость
- Формирование матриц

Итерационный расчет

Учёт нелинейности ...

Точность: 1e-006

Количество собственных форм: 10

Диапазон искомым собств. значений: Более до Гц

Значение от: 0.00

КЭ-модель

Элементы

- Гибридный 1
  - Осреднение с весами
  - Согласованные нагрузки
  - Согласованные массы
  - Изменение геометрии для эксцентриситетов
- Гибридный 2
- Перемещений
- Модификация матриц жесткости для балок-стенок

Проект: \_\_\_\_\_

Примечание: Демпферы

Исполнитель: Юрий

OK Отменить Помощь

**Параметры сейсмического режима**

Требуемая сумма модальных масс [%] Минимальный порог [%]

Поступательное воздействие

X	90.00	1.00
Y	90.00	1.00
Z	75.00	1.00

Учёт вращательного воздействия

Вращательное воздействие

RX	60.00	1.00
RY	60.00	1.00
RZ	60.00	1.00

Уровень основания: 0.00 м

формирование остаточных псевдоформ

модифицированная теория

OK Отменить

**Выбор типа решателя**

- Разреженный
- Фронтальный

OK Отменить

**Настройки ?**

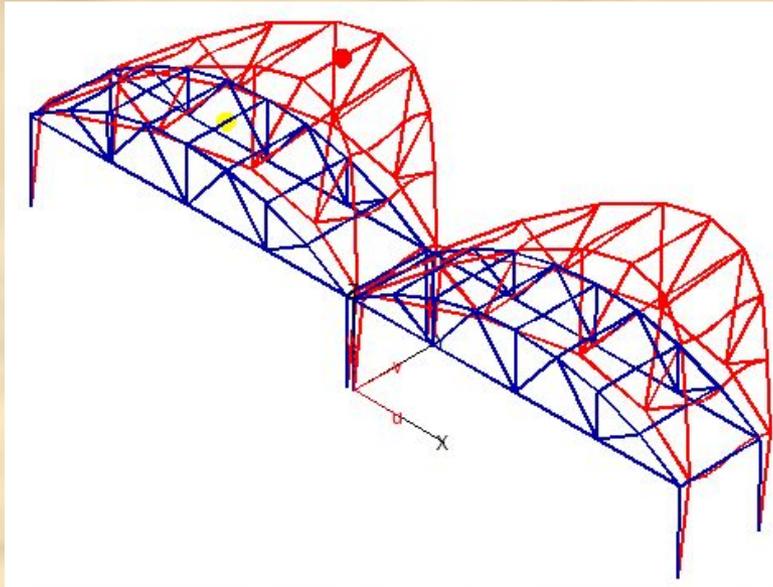
- Общие
- Тип решателя
- Нормы РФ
- Панели инструментов

В протоколе указываются те формы колебаний, которые будут учитываться в последующем расчете, а также остаточные псевдоформы, с указанием процента модальных масс.

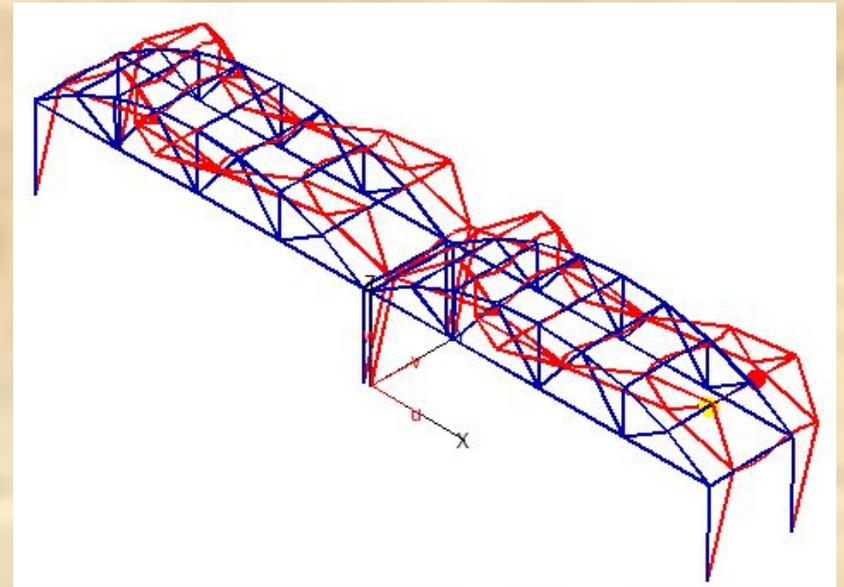
Форма	Собственное значение, Гц	Mx, %	My, %	Mz, %	Отобрано
1	0.350306	0.00	0.00	0.00	нет
2	0.350307	0.00	70.85	0.00	да
3	1.00193	0.00	0.00	0.00	нет
4	1.00408	0.00	0.00	0.00	нет
5	1.7164	0.00	0.00	0.00	нет
6	1.7164	0.00	14.98	0.00	да
7	1.75241	91.76	0.00	0.00	да
8	2.18439	0.00	0.00	0.06	нет
9	2.18441	0.00	0.00	0.00	нет
10	2.48118	0.00	0.00	0.00	нет
Сумма модальных масс, %					
	Кол-во собств. значений	Mx	My	Mz	
Найдено	10	91.76	85.83	0.06	
Отобрано	3	91.76	85.83	0.00	
Исключено	7	0.00	0.00	0.06	
Операция сдвига на 0 Гц.					
Кол-во собств. значений слева от 0 Гц : 0					
Форма	Собственное значение, Гц	Mx, %	My, %	Mz, %	Доп. учтено
***	4.53276	3.46	0.00	0.00	да
***	3.04733	0.00	9.62	0.00	да
***	4.38599	0.00	0.00	76.30	да
Сумма модальных масс, %					
	Кол-во собств. значений	Mx	My	Mz	
Найдено	10	91.76	85.83	0.06	
Отобрано	3	91.76	85.83	0.00	
Исключено	7	0.00	0.00	0.06	
Доп. учтено	3	3.46	9.62	76.30	
Всего учтено	6	95.22	95.45	76.30	

# Шаг 4. Выполняем анализ отобранных форм колебаний.

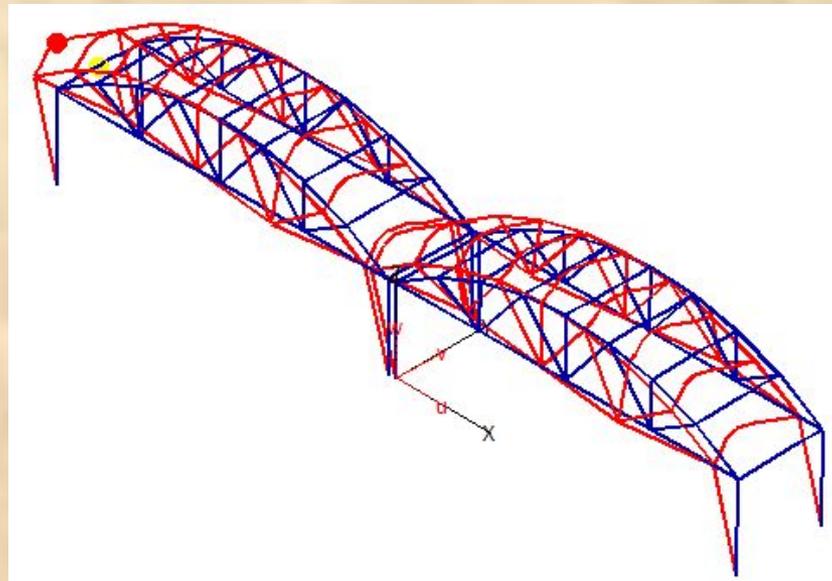
Форма 1



Форма 2

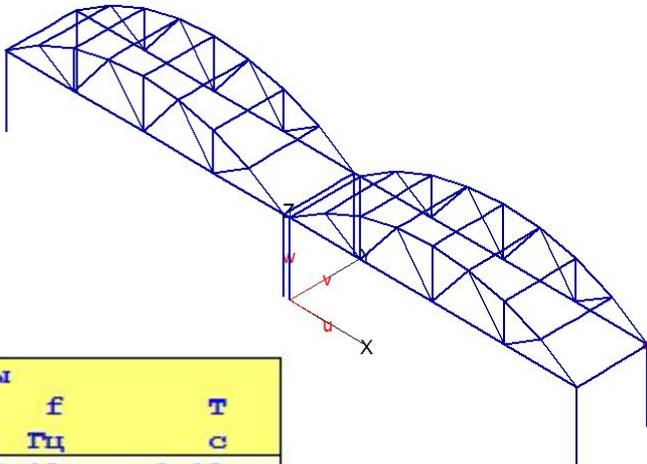


Форма 3



# Шаг 5. Выводим и оцениваем периоды и частоты отобранных собственных форм колебания здания.

Проекты Растр Вставка Полный Виды uvw-Задать Фрагмент Позиции Геометрия Нагрузки Редактировать Расчет Комбинации Результаты Настройки ?

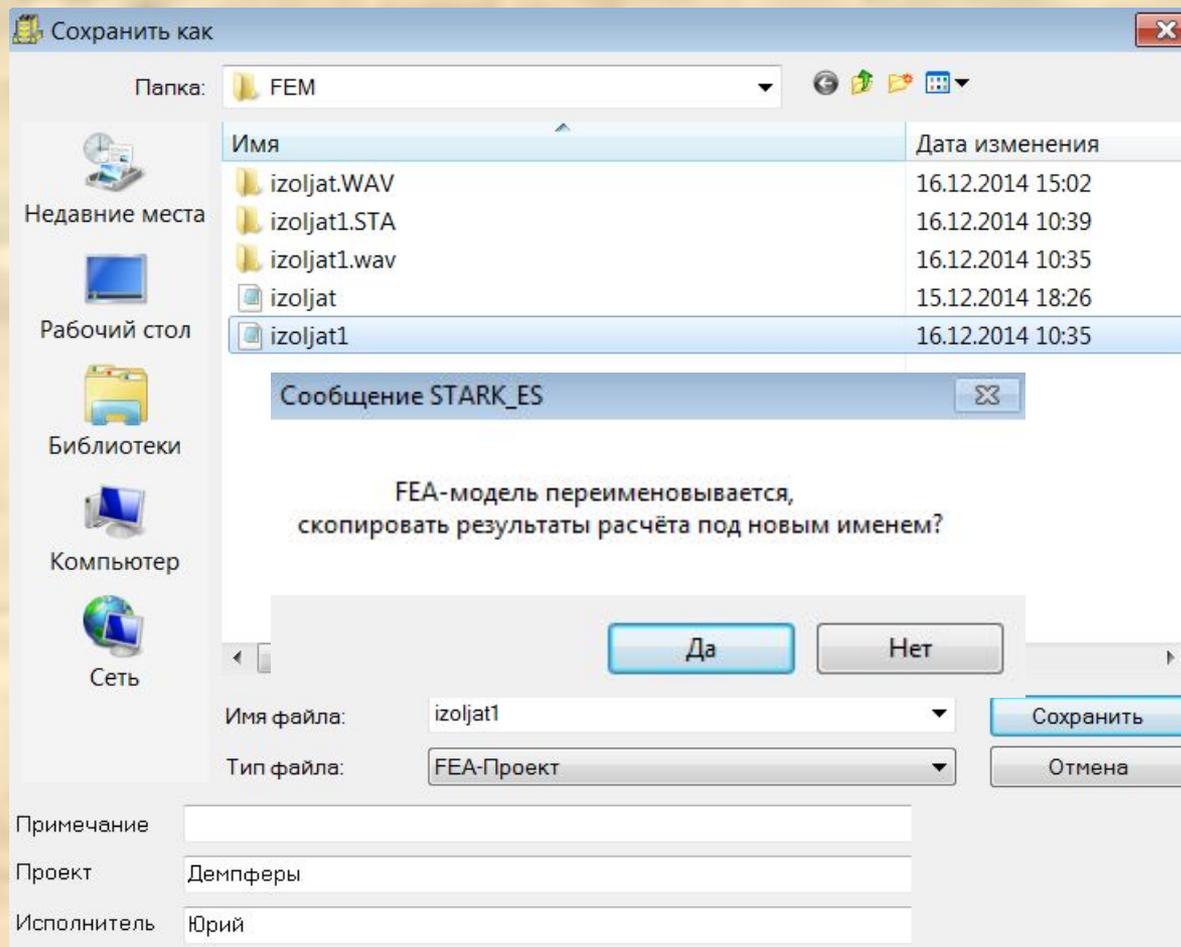


Собственные частоты			
Форма	$\omega$ рад/с	$f$ Гц	$T$ с
1	2.20	0.35	2.85
2	10.78	1.72	0.58
3	11.01	1.75	0.57
4	28.48	4.53	0.22
5	19.15	3.05	0.33
6	27.56	4.39	0.23

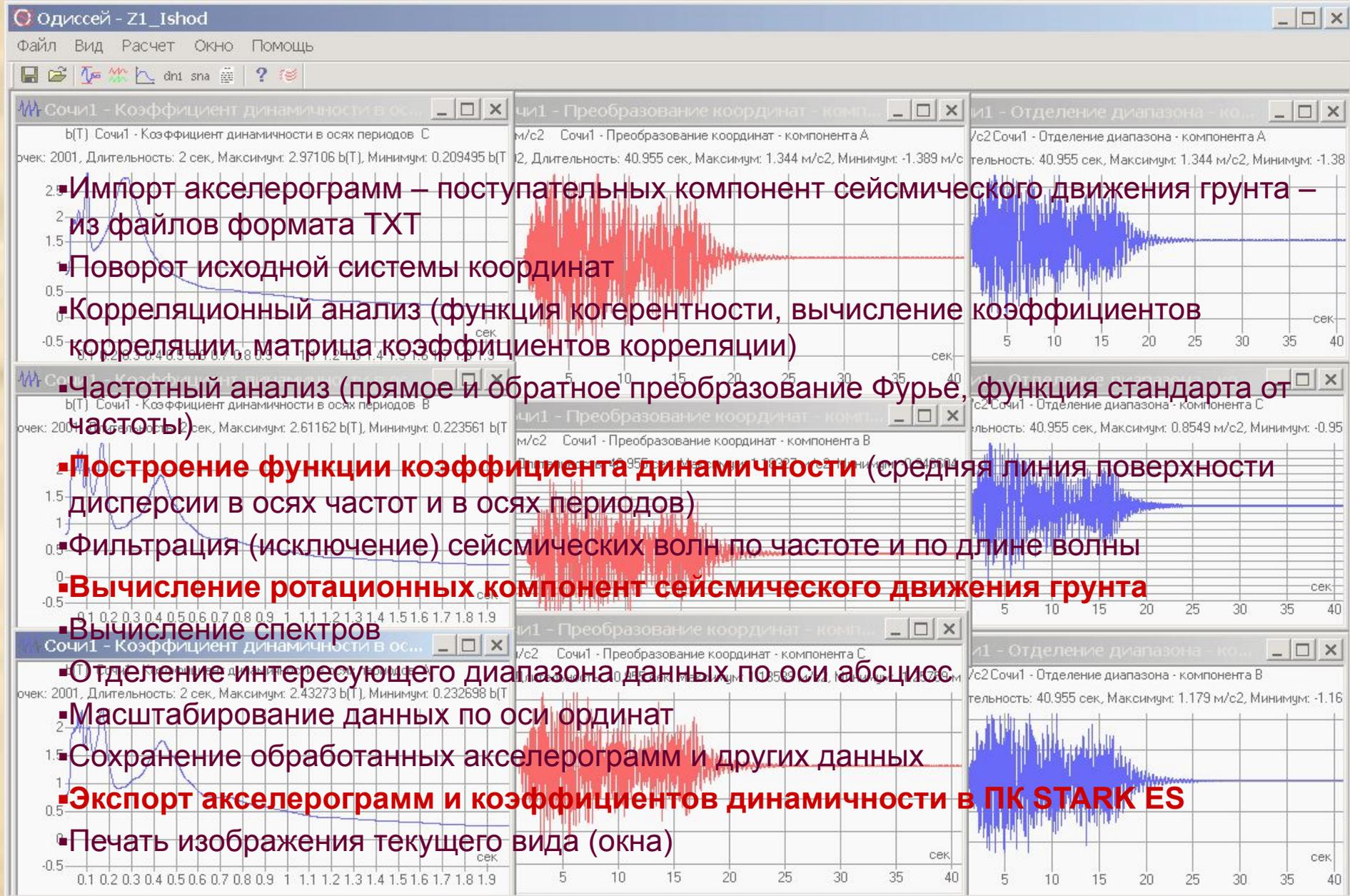
Отметьте узлы, которые нужно включить в группу

Zoom  
Refr  
Word  
XY YZ XZ 3D  
Einz Auto Box Krz  
Назад  
Таблицы  
Графика  
Тип результатов  
Отметить  
Отменить  
Вывести  
<X-Y-Z-Координаты>

## Шаг 6. Сохраняем расчетную модель под новым именем **izoljat1.fea**.



# Программа «Одиссей 1.0»



## Шаг 7. Открываем «Одиссей» и импортируем исходные акселерограммы поступательного движения грунта.

**Импорт**

Имя  
Имя проекта: Сочи 1

Место землетрясения: Сочи

Время  
 Указать время землетрясения  
23:26:37 22.09.2009

Путь к файлам акселерограмм

Акселерограмма N-S: C:\Eurosoft\Odyssey\Data\сочи 1\Сочи1 - A.txt ...  
Кол-во точек: 8192 Шаг по времени: 0.00500 сек. Длительность: 40.96000 сек.

Акселерограмма E-W: C:\Eurosoft\Odyssey\Data\сочи 1\Сочи1 - B.txt ...  
Кол-во точек: 8192 Шаг по времени: 0.00500 сек. Длительность: 40.96000 сек.

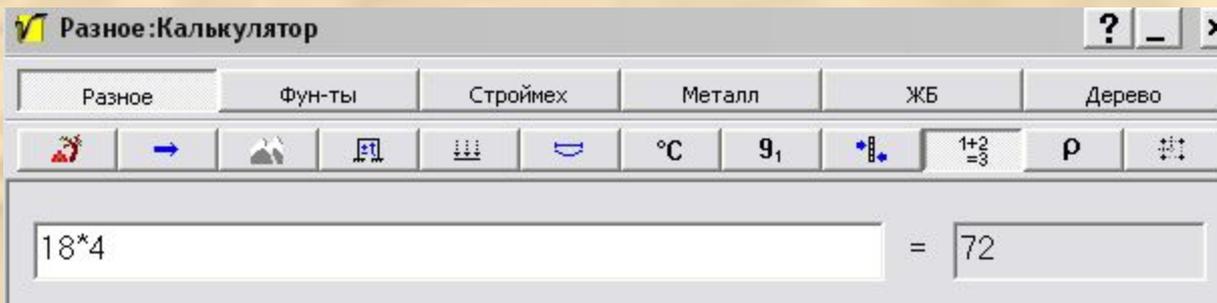
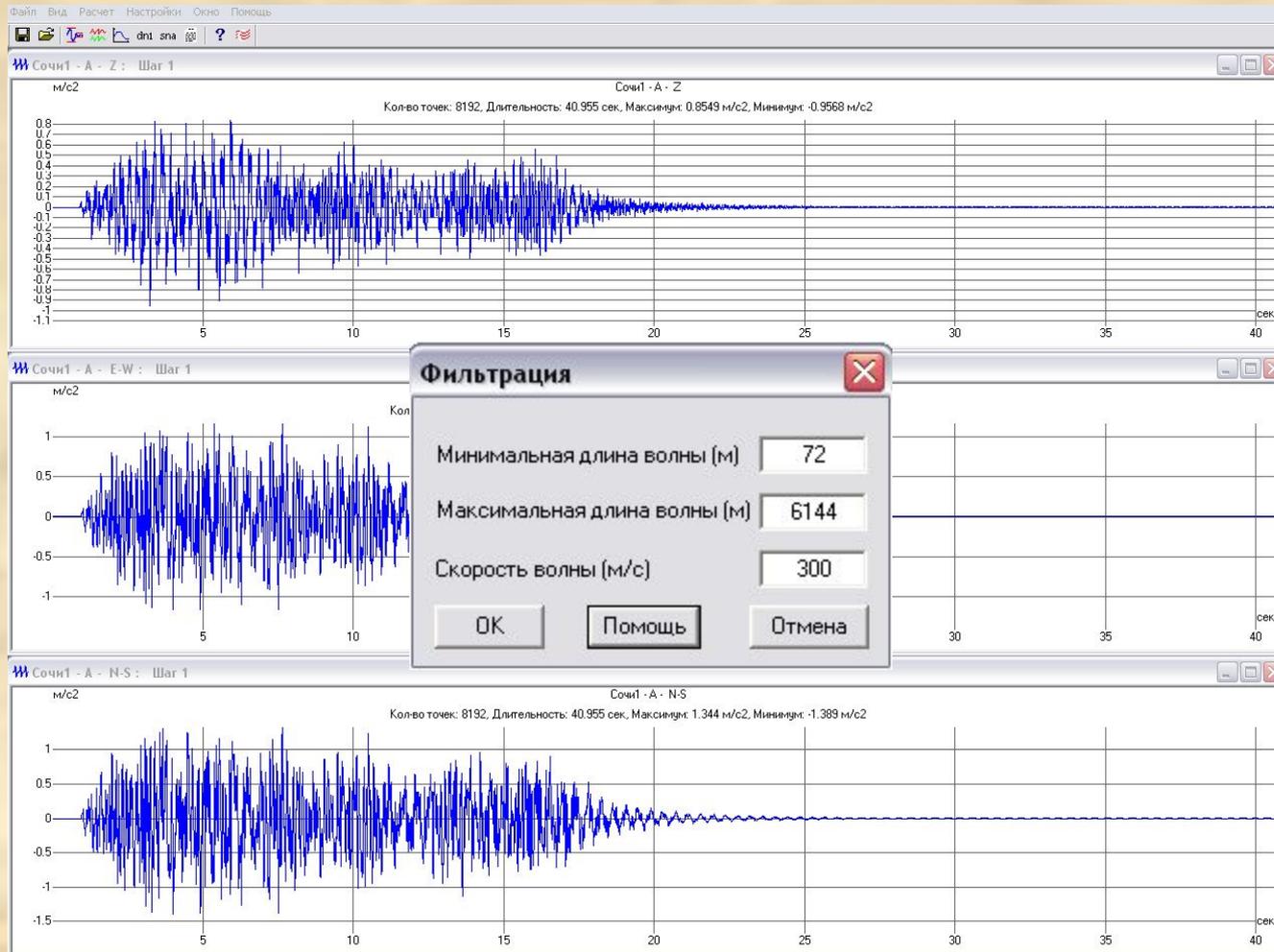
Акселерограмма Z: C:\Eurosoft\Odyssey\Data\сочи 1\Сочи1 - C.txt ...  
Кол-во точек: 8192 Шаг по времени: 0.00500 сек. Длительность: 40.96000 сек.

Значение шага по времени в файле данных  
 Указать шаг по времени самостоятельно

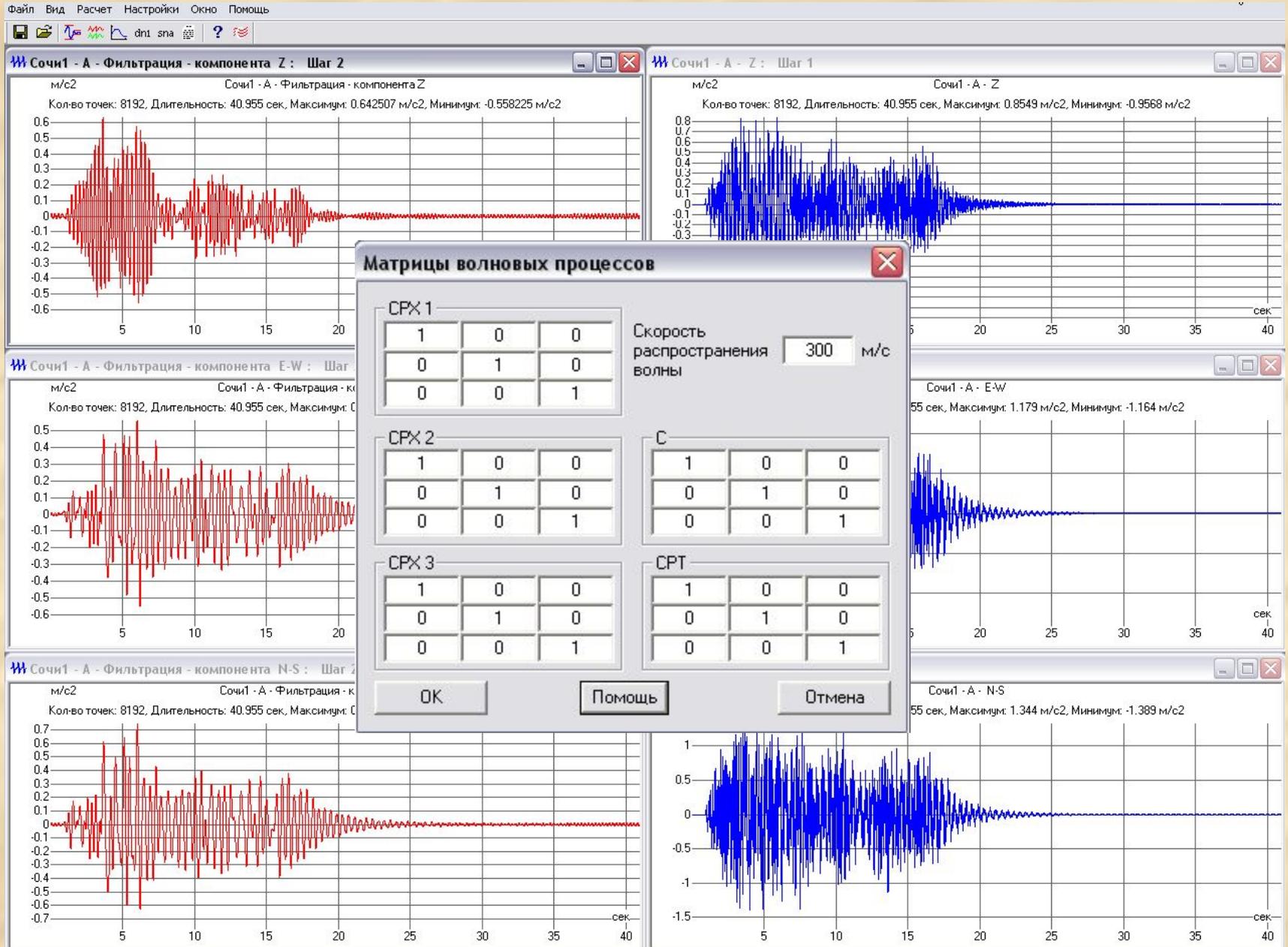
Размерность данных  
 Метры  
 Сантиметры

Импорт Помощь Отмена

# Шаг 8. Производим фильтрацию длин волн.



# Шаг 9. Вычисляем ротационные компоненты.



# Шаг 10. Подготавливаем данные для экспорта в ПК STARK ES.

Файл Вид Расчет Настройки Окно Помощь

dn1 sna

Сочи1 - А - Ротационная компонента Z : Шаг 3  
рад/с2 Сочи1 - А - Ротационная компонента Z  
192, Длительность: 40.955 сек, Максимум: 0.584867 рад/с2, Минимум: -0.661298

Сочи1 - А - Фильтрация - компонента Z : Шаг 2  
м/с2 Сочи1 - А - Фильтрация - компонента Z  
8192, Длительность: 40.955 сек, Максимум: 0.642507 м/с2, Минимум: -0.558225

Сочи1 - А - Z : Шаг 1  
м/с2 Сочи1 - А - Z  
8192, Длительность: 40.955 сек, Максимум: 0.8549 м/с2, Минимум: -0.9568 м/с2

Сохранить как

Папка: сочи 1

- Недавние документы
- Рабочий стол
- Мои документы
- Мой компьютер
- Сетевое окружение

Имя файла: Сочи1

Тип файла: Файлы Старка (\*.dn1)

Сохранить Отмена

Е-W  
м/с2 Сочи1 - А - Z : Шаг 1  
1.179 м/с2, Минимум: -1.164 м/с2

Н-S  
м/с2 Сочи1 - А - Z : Шаг 1  
1.344 м/с2, Минимум: -1.389 м/с2

# Шаг 11. Выполняем расчет реакции во временной области.

Выбор типа расчета

Сейсмические воздействия

- Нагрузки по СНиП II-7-81\* ( плоская модель )
- Нагрузки по КМК 2.01.03-96

Нагрузки для заданных спектров ответа

- Поступательное воздействие
- Вращательное воздействие
- Дифференциальная модель

Опасное направление воздействия

Оценка вклада форм колебаний

- При поступательном воздействии
- При вращательном воздействии

Реакция во временной области

Пулсации ветра

Нагрузки по СП 20.13330.2011

- Расчёт по п.11.1.8, а, б ( $f_2 > f_L$ )
- Динамический расчёт по п.11.1.8, в ( $f_2 < f_L$ )

По рекомендациям ЦНИИСК, 2000 г.

- Предельная частота
- Перемещения и усилия

Расчетные сочетания усилий

- В сечениях стержней
- Реакций опор

СП 20.13330.2011

по комбинациям нагружений

Железобетонные конструкции

- Стержневые элементы
- Ребра плит

Пластины

- Основная арматура
- Расчет арматуры
- Ширина раскрытия трещин
- Продавливание

Конструктивные элементы

СП 63.13330.2012

Локальный расчет

Экспорт в ПРУСК

Металлические конструкции по СП 16.13330.2011

- Изгибаемые элементы
- Прокатные колонны и элементы ферм
- Сквозные колонны
- Сварные колонны
- Конструктивные элементы

Устойчивость

- Расчетные длины стержней
- Энергетический анализ роли элементов

OK Отменить Помощь

# Открываем отфильтрованные акселерограммы

Динамическое воздействие

Задать данные по воздействию ...

Учитывать компоненты  u  v  w  
 Ru  Rv  Rw

Направления

Заданные

Поступление Амплитуда Угол с осью Угол с осью

u''(t)

Показать

Демпферы

Форма	
1	
2	
3	
4	2.5
5	2.5
6	2.5

Учет демпферов

Реакция  
Отменить  
Помощь

Данные по воздействию

Файл

\\lkPrj\Допк\прс\Старк\Сейсмика\Демпферы\output\Сочи 1s.dn1

Чтение dn1-файла    Импорт из USGS DDS7    Запись

Открыть файл определения воздействия

Папка: output

Имя	Дата изменения
Сочи 1s.dn1	28.09.2009 23:15

Имя файла: Сочи 1s    Открыть    ОК

Тип файлов: Файлы определения воздействия (\*.dn1)    Отмена    Отменить

min=-1.389, t=4.000    Помощь

Показать компоненты  u  v  w  
 Ru  Rv  Rw

# Задаем данные по воздействию

### Данные по воздействию

Файл  
M:\prj\ДонКурcSTARК\Демпферы\output\Сочи 1s.dn1

Чтение dn1-файла    Импорт из USGS DDS7    Запись

Задание по точкам

Время воздействия: 40.955 с    Заполнить

Количество точек: 8192

T [с]	u''	v''	w''	Ru''	Rv''	Rw''
0	-0.000...	0.0004...	-0.000...	3.7863...	0.0001...	0.0002...
0.005	-0.000...	0.0004...	-0.000...	-5.497...	2.5846...	0.0004...
0.01	-0.000...	0.0004...	-0.000...	-5.825...	0.0001...	0.0002...
0.015	-0.000...	0.0004...	-0.000...	-9.003...	9.6815...	0.0004...
0.02	-0.000...	0.00043	-0.000...	-2.997...	6.8125...	0.0002...
0.025	-0.000...	0.0004...	-0.000...	-8.104...	7.6713...	0.0004...
0.03	-0.000...	0.0004...	-0.000...	-6.455...	0.0001...	0.0002...

u'', v'', w'' - [м/с<sup>2</sup>],  
Ru'', Rv'', Rw'' - [рад/с<sup>2</sup>]

Добавить    Удалить

u''(t)    max=1.344, t=7.635

min=-1.389, t=4.000

OK    Отменить    Помощь

Показать компоненты:     u     v     w  
 Ru     Rv     Rw

### Ориентация воздействия

#### Поступательное воздействие

Амплитуда: 1.00

Направление сейсм. воздействия

Задать углами  
 Задать направляющими векторами

Угол между осью O<sub>u</sub> и осью OX: 165.00 град.  
 и плоскостью XOY: 0.00 град.

Ориентация векторов

	x	y	z
u	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
v	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
w	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

#### Вращательное воздействие

Амплитуда: 1.00

Направление сейсм. воздействия

Задать углами  
 Задать направляющими векторами

Угол между осью O<sub>u</sub> и осью OX: 165.00 град.  
 и плоскостью XOY: 0.00 град.

Ориентация векторов

	x	y	z
u	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
v	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
w	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

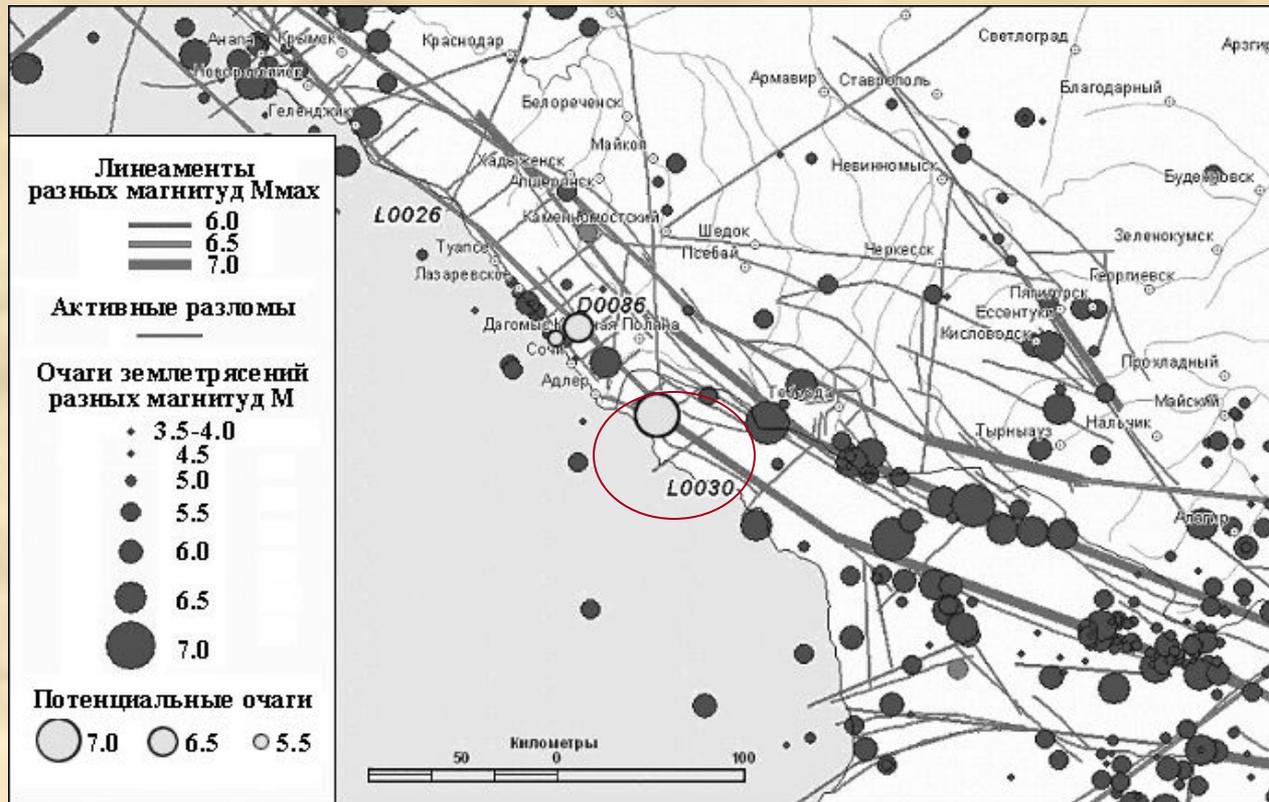
Центр вращения

x	y
-0.25	3.00

Задать z: 0.00    Рассчитать

OK    Отменить    Помощь

# Используем информацию о микросейсморайонировании



Эпицентры землетрясений разных магнитуд, показанные условными кружками, и сейсмогенерирующие структуры на территории западной части Большого Кавказа. Возле линеаментов и домена, представляющих наибольшую опасность для г. Сочи, указан их код (номер) в соответствии с базой данных ОСР-97.

Светлыми кружками показаны потенциальные очаги землетрясений (ПОЗ) с магнитудами  $M=7.0$ ,  $6.5$  и  $5.5$  (по В.И. Уломову).

# Получаем реакцию во временной области по шести компонентам (перемещения и усилия)

Динамическое воздействие

Задать данные по воздействию ...

Учитывать компоненты  u  v  w  
 Ru  Rv  Rw

Направления

Заданные параметры:

Поступательное воздействие  
Амплитуда = 1.00  
Угол с осью OX = 165.00  
Угол с плоскостью XOY = 0.00

Задать ...



Показать компоненты  u  v  w  
 Ru  Rv  Rw

Демпфирование

Форма	%
1	2.5
2	2.5
3	2.5
4	2.5
5	2.5
6	2.5

Количество учитываемых форм: 6

Интервал интегрирования: 41

Шаг выдачи (с): 0.005

Учет демпферов

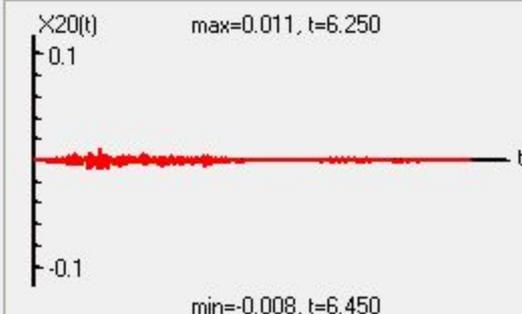
Реакция  
Отменить  
Помощь

Динамическая реакция (перемещения)

Номер узла: 20

Узлы  Мод. коэф.

Показать  Перемещение  X  Y  Z  
 Скорость  Ускорение



Воздействие  
Усилия

Таблица...  
ОК  
Помощь

Динамическая реакция (усилия)

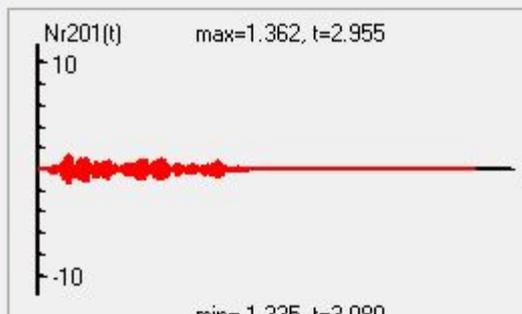
Номер элемента: 201

Тип элемента: 3D-стержень

Номер узла:

Координата сечения (м): 0.00

Показать  Nr  Qs  Qt  Mr  
 Ms  Mt

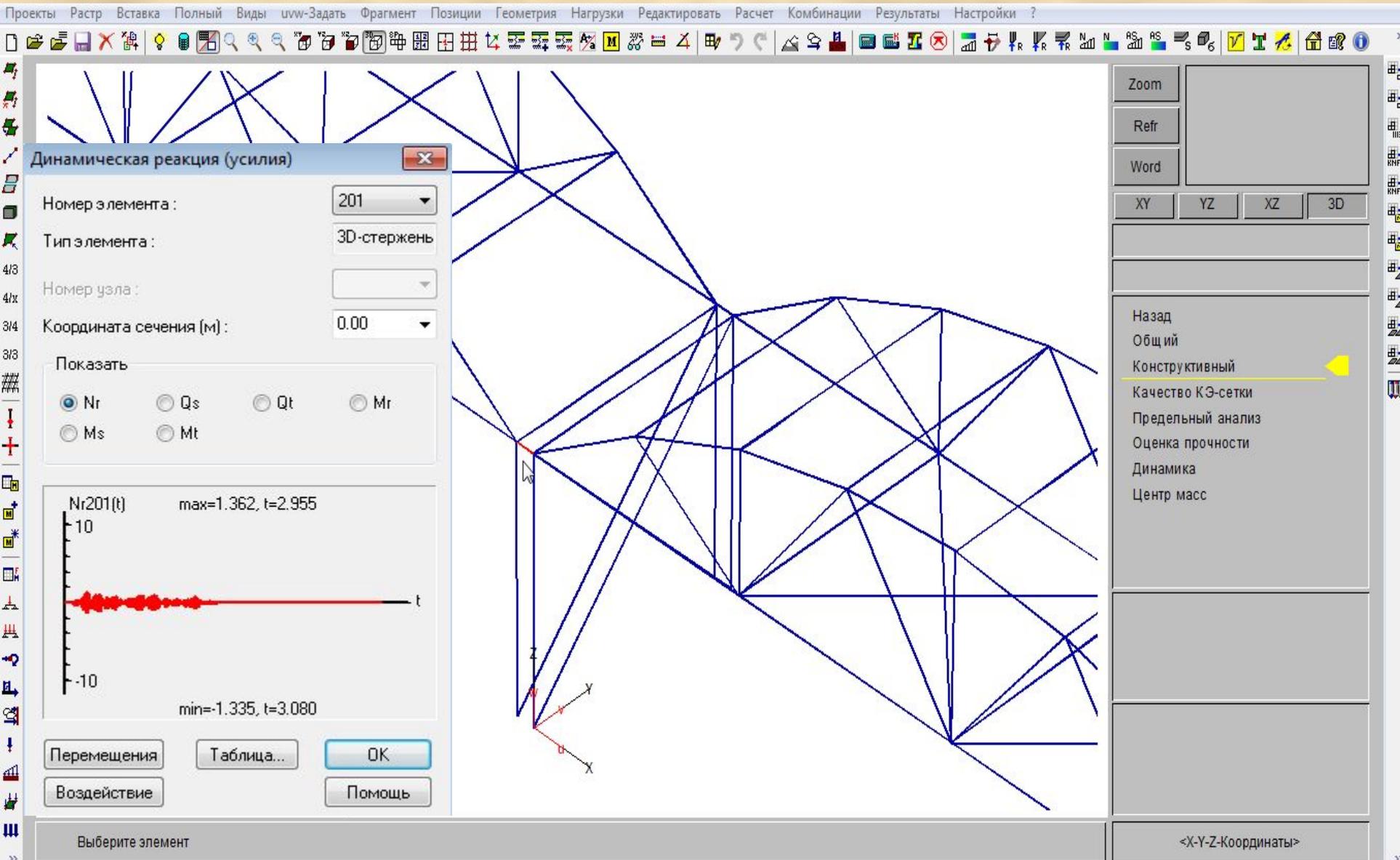


Перемещения  
Воздействие

Таблица...  
ОК  
Помощь

# Шаг 12. Проверяем усилия в демпферах

Проекты Растр Вставка Полный Виды uvw-Задать Фрагмент Позиции Геометрия Нагрузки Редактировать Расчет Комбинации Результаты Настройки ?



**Динамическая реакция (усилия)**

Номер элемента : 201  
Тип элемента : 3D-стержень  
Номер узла :  
Координата сечения (м) : 0.00

Показать  
 Nr  Qs  Qt  Mr  
 Ms  Mt

Nr201(t) max=1.362, t=2.955  
min=-1.335, t=3.080

Перемещения Таблица... OK  
Воздействие Помощь

Выберите элемент

Zoom Refr Word  
XY YZ XZ 3D  
Назад  
Общий  
Конструктивный  
Качество КЭ-сетки  
Предельный анализ  
Оценка прочности  
Динамика  
Центр масс  
<X-Y-Z-Координаты>

# Шаг 13. Производим статический расчет здания.

Параметры расчёта

Тип расчета

- Статический расчет
- Собственные колебания
  - Сейсмический режим Параметры ...
- Устойчивость
- Формирование матриц

Итерационный расчет

Учёт нелинейности ... Нет

Точность

Количество собственных форм

Диапазон искомым Более

собств. значений

Значение от  до

КЭ-модель

Элементы

- Гибридный 1
- Гибридный 2
- Перемещений
- Модификация матриц жесткости для балок-стенок

- Осреднение с весами
- Согласованные нагрузки
- Согласованные массы
- Изменение геометрии для эксцентриситетов

Проект

Примечание

Исполнитель

OK Отменить Помощь

Настройки ?

- Общие
- Тип решателя**
- Нормы РФ
- Панели инструментов

Выбор типа решателя

- Разреженный OK
- Фронтальный Отменить

# Шаг 14. Определяем область прочности исследуемых элементов.

ProfilMaker - [ProfilMaker1]

Документ Редактор Показать Расчет Настройки Окна Помощь

Марка I 40K1

Координаты

394.0

0.0 398.0

0.0

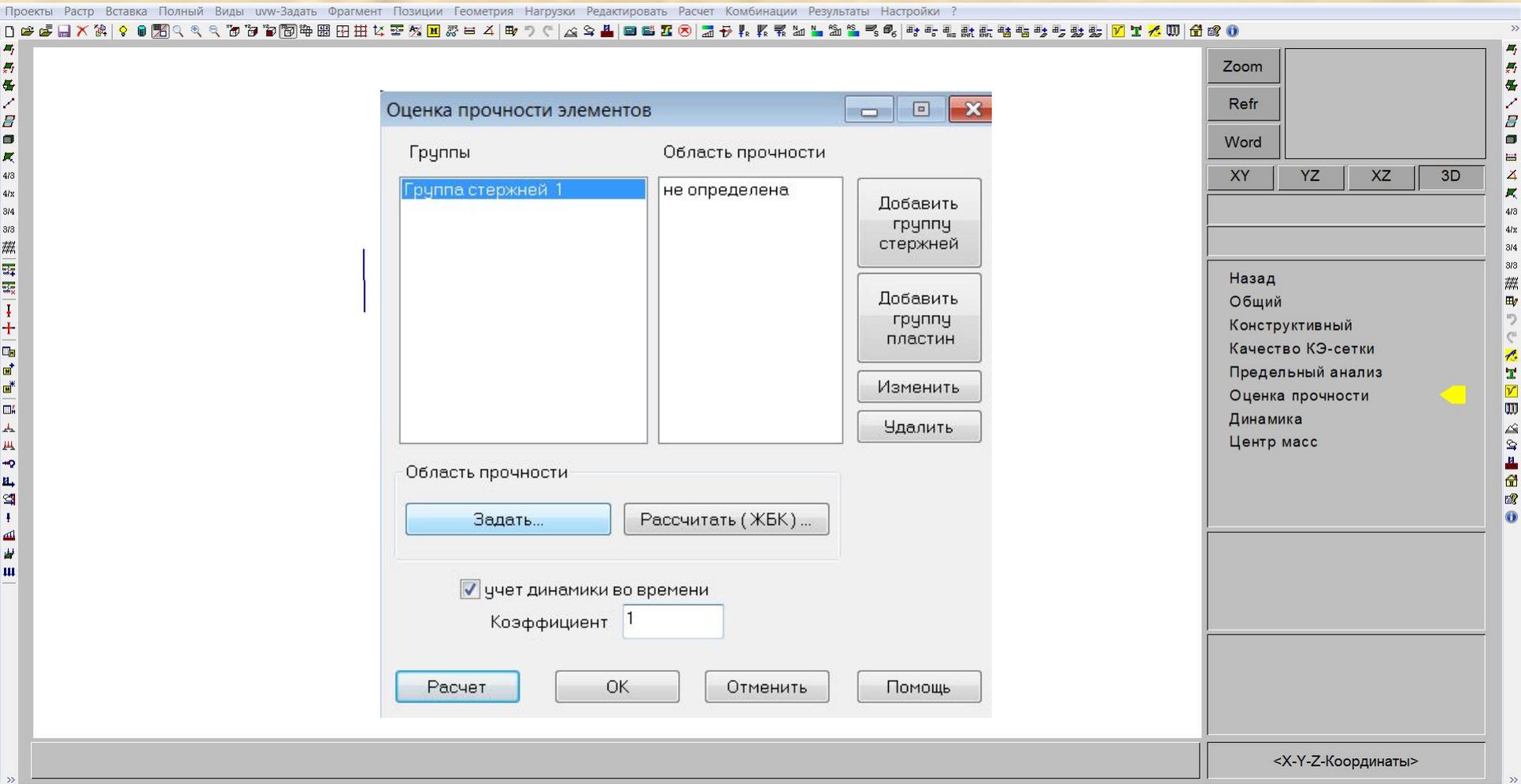
Параметры профиля

Прочие		Описание	
Геометрия		Жесткости	
Пара...	Знач...	Разм...	
A	186.8	cm2	
Iy	5615...	cm4	
Iz	1892...	cm4	
Wy	2850.0	cm3	
Wz	950.9	cm3	
It	228.4	cm4	
Cm	6606...	cm6	
Sy	1559.0	cm3	
Az	126.2	cm2	

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1.$$

$$\frac{M}{W_{n,min} R_y \gamma_c} \leq 1;$$

# Шаг 14. Выделяем колонны каркаса и производим оценку прочности с учетом реакции во временной области.



## Задаем область прочности колонн

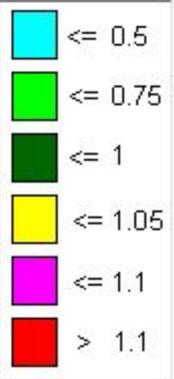
Задание области прочности ✕

Предельные усилия

	$N_{ult}$	$M_{s, ult}$	$M_{t, ult}$
+	3866.80	196.80	590.00
-	3866.80	196.80	590.00

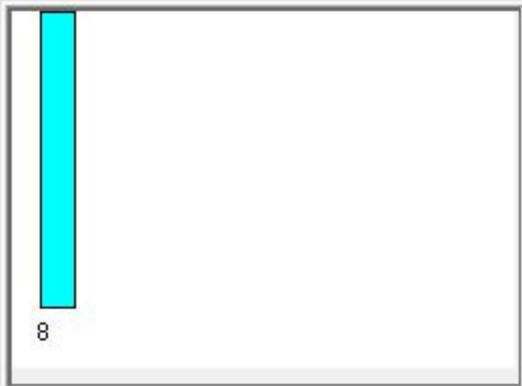
# Оцениваем прочность колонн каркаса

Оценка прочности элементов. Статистика



Legend for strength coefficient evaluation:

- Light blue:  $\leq 0.5$
- Green:  $\leq 0.75$
- Dark green:  $\leq 1$
- Yellow:  $\leq 1.05$
- Magenta:  $\leq 1.1$
- Red:  $> 1.1$



Bar chart showing a single cyan bar with value 8.

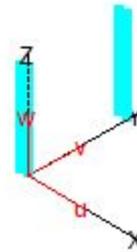
Номер комбинации: 1

Номер элемента: 2

Максимальное значение коэффициента прочности:

в комбинации	по всем комбинациям
0.4132	0.4132

Ввод...



Задание и корректировка комбинаций

Комбинации	Массы	Доп. на устойчивость
	НГ-1	НГ-2
К-1	0.9	0.5

Результаты расчета

Изображение результатов:

- цветное (6 цветов)
- цветное (2 цвета)
- числовое

Элементы для показа:

- Все
- С недостаточной прочностью

Номер комбинации: 1

Расчет завершен

Статистика по элементам

Прочность колонн обеспечена

Аналогичным способом расчет выполняется для всех наборов акселерограмм (согласно п. 6.9. СНиП РК 2.03-30-2006, не менее пяти)