

# **Моделирование нелинейных свойств конструкций**

# Линейные и нелинейные расчеты

## Линейный расчет



$$K V = F$$
$$K = \text{const}$$

## Нелинейный расчет



$$K(V) V = F$$
$$K \neq \text{const}$$

# Виды нелинейностей

**1. Геометрическая нелинейность** – нелинейная зависимость между деформациями и перемещениями.

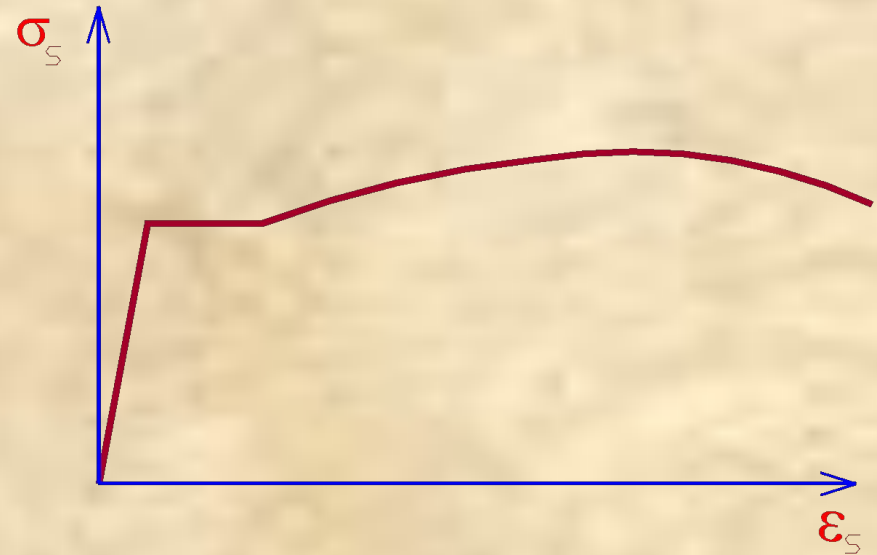
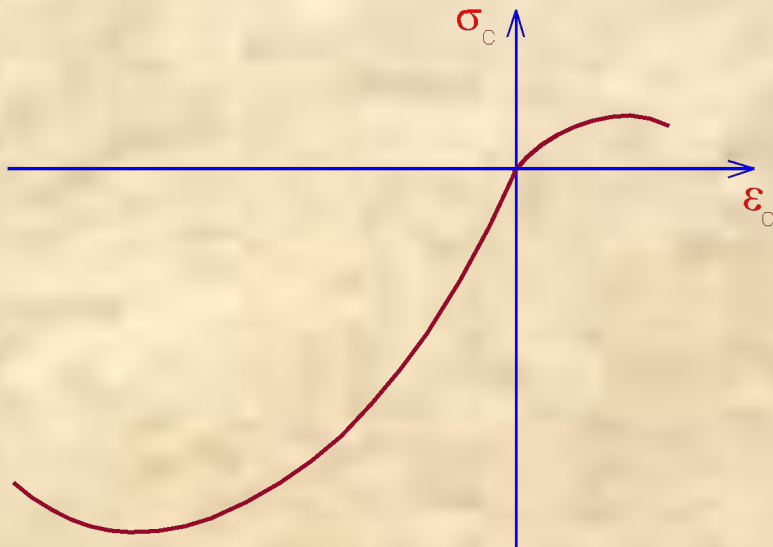
**2. Физическая нелинейность** – нелинейная зависимость между деформациями (перемещениями) и напряжениями (усилиями).

Выделяют две разновидности физической нелинейности:

**нелинейность работы материала**

бетон

мягкая сталь



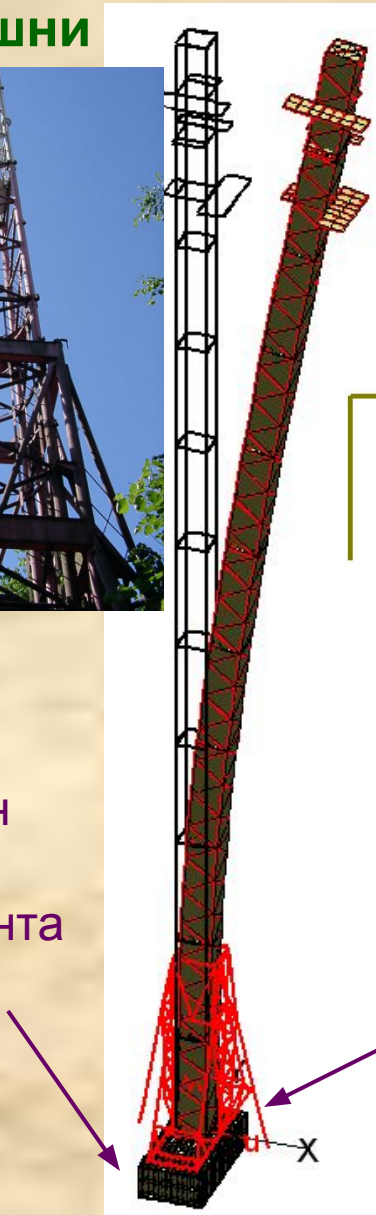
**конструктивная нелинейность** - односторонняя работа элементов, опор, узловых сопряжений, зазоры в связях и т.д.

# Учет геометрической и конструктивной нелинейности в задачах статики, динамики и устойчивости

## Башни

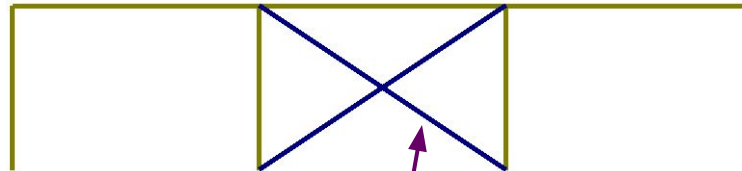


Возможен отрыв фундамента от земли

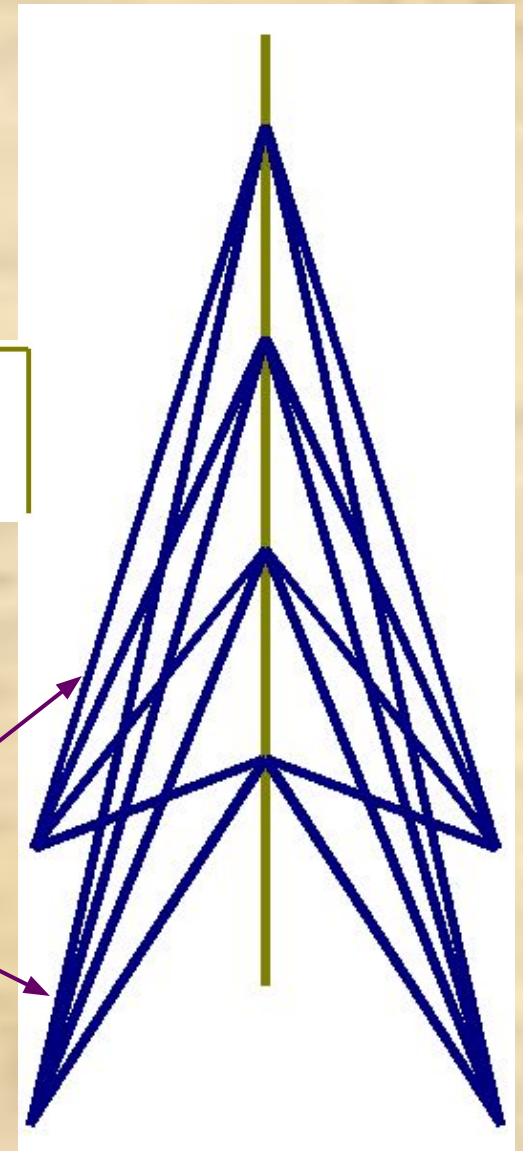


## Мачты на оттяжках

### Гибкие крестовые связи

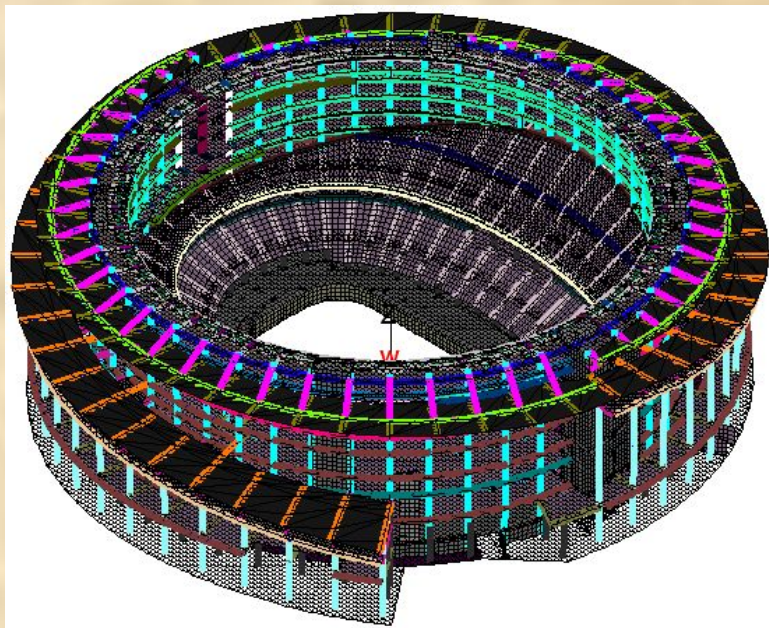


Гибкие элементы, не работающие на сжатие

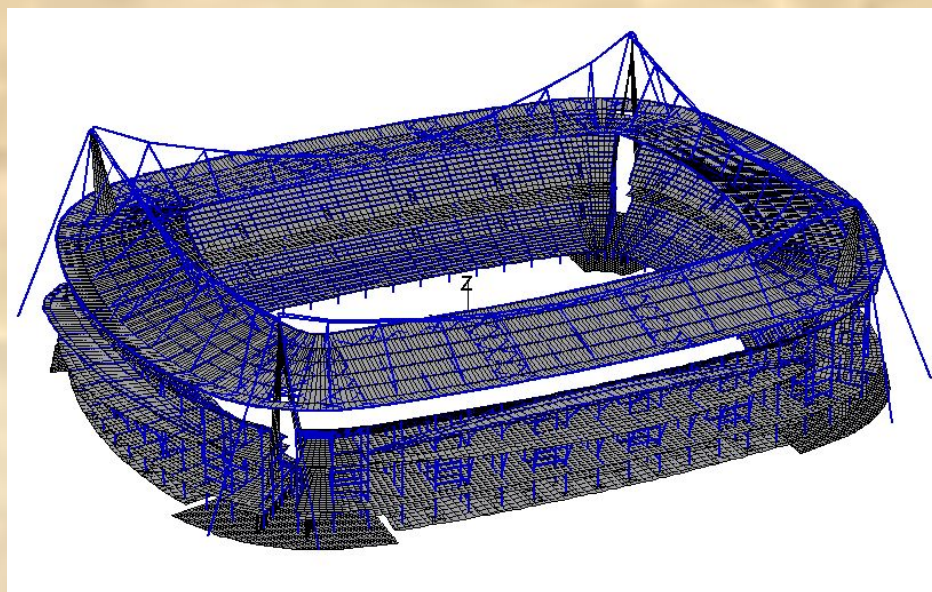


# Большепролетные сооружения, стадионы

Ледовый дворец на Ходынском поле, Москва



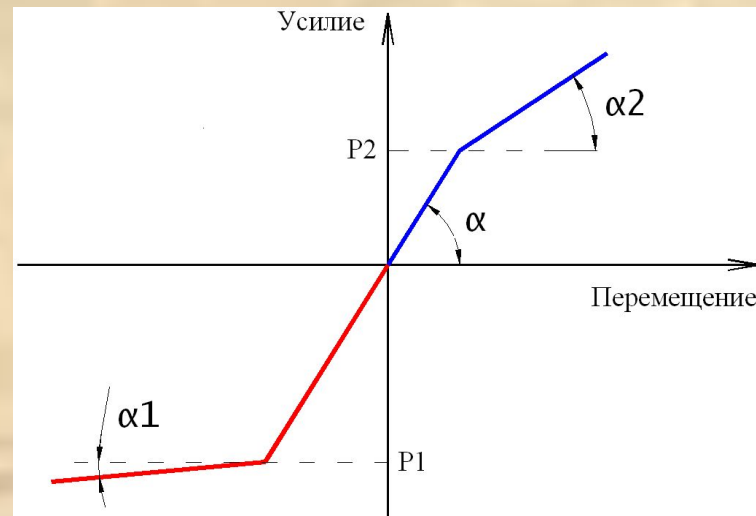
Стадион «Локомотив», Москва



Стадион «Зенит», С.-Петербург

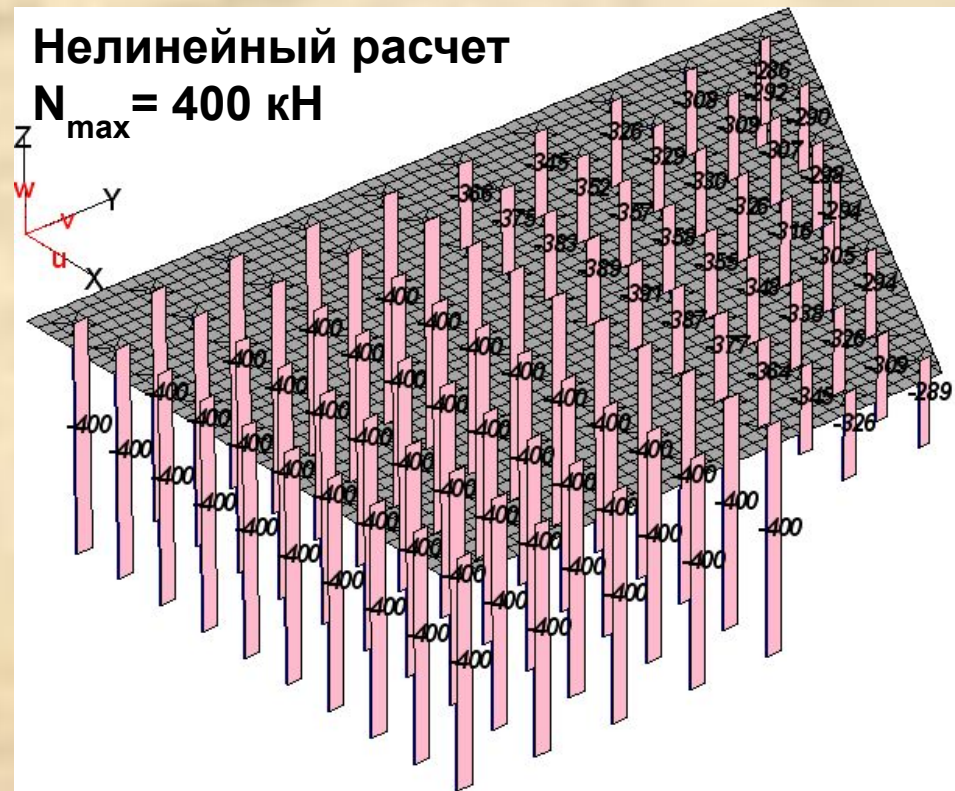


# Нелинейные шарниры

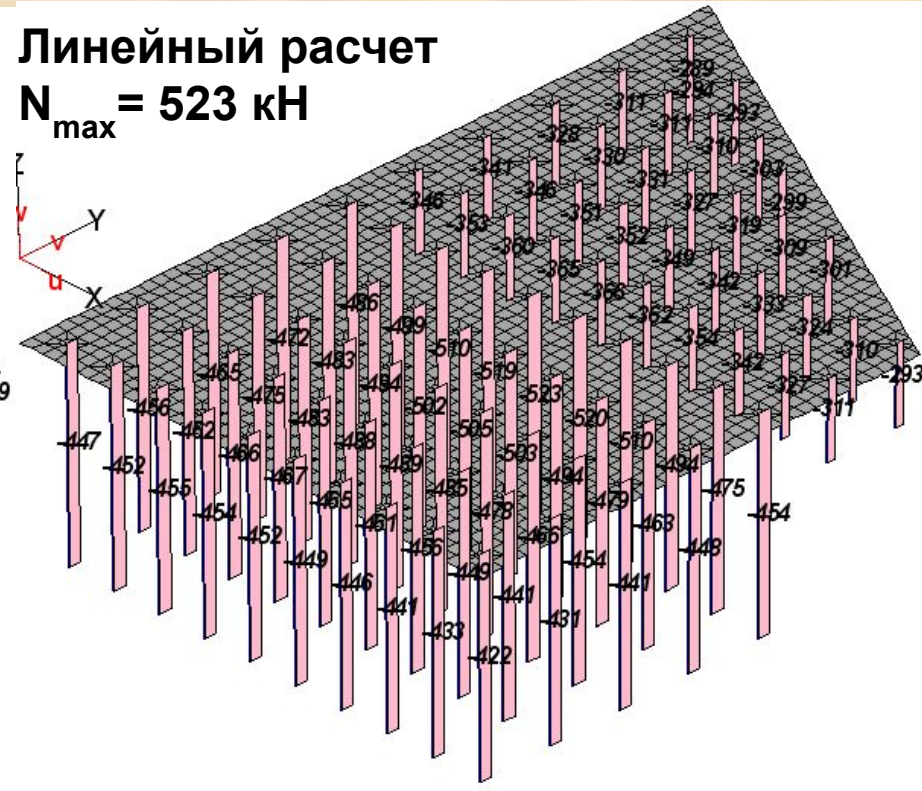


## Моделирование комбинированного свайно-плитного фундамента

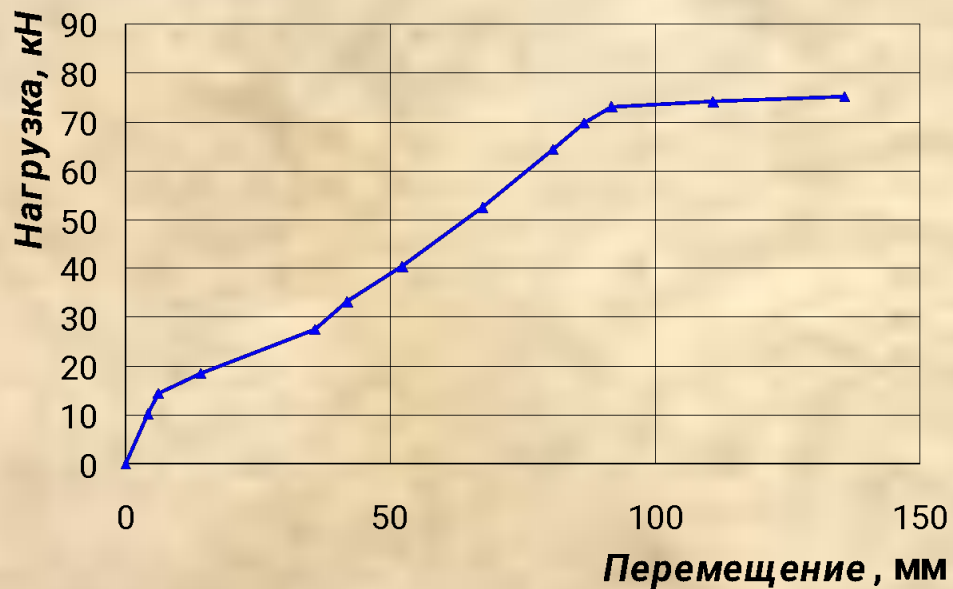
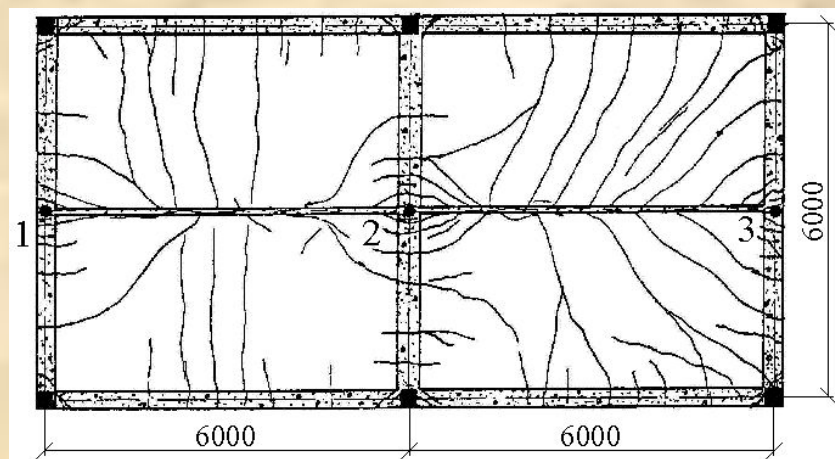
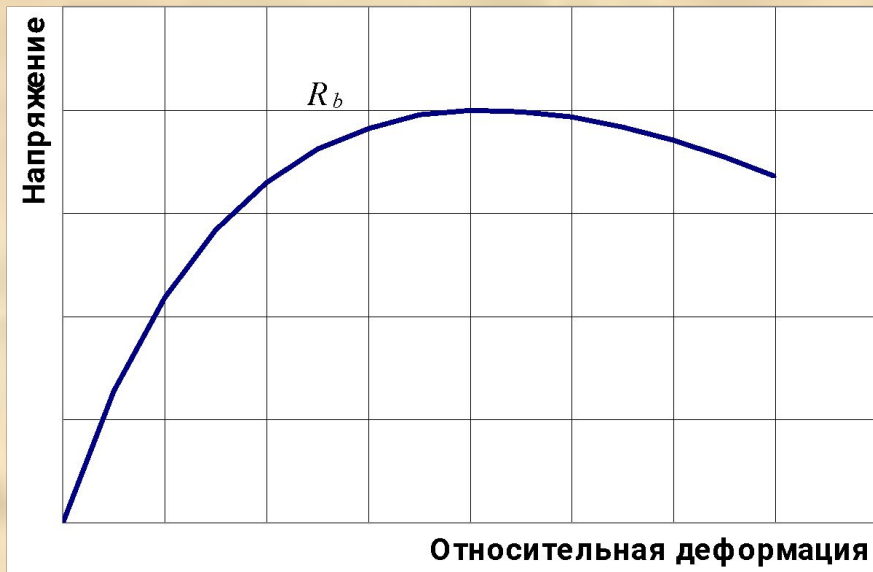
Нелинейный расчет  
 $N_{max} = 400$  кН



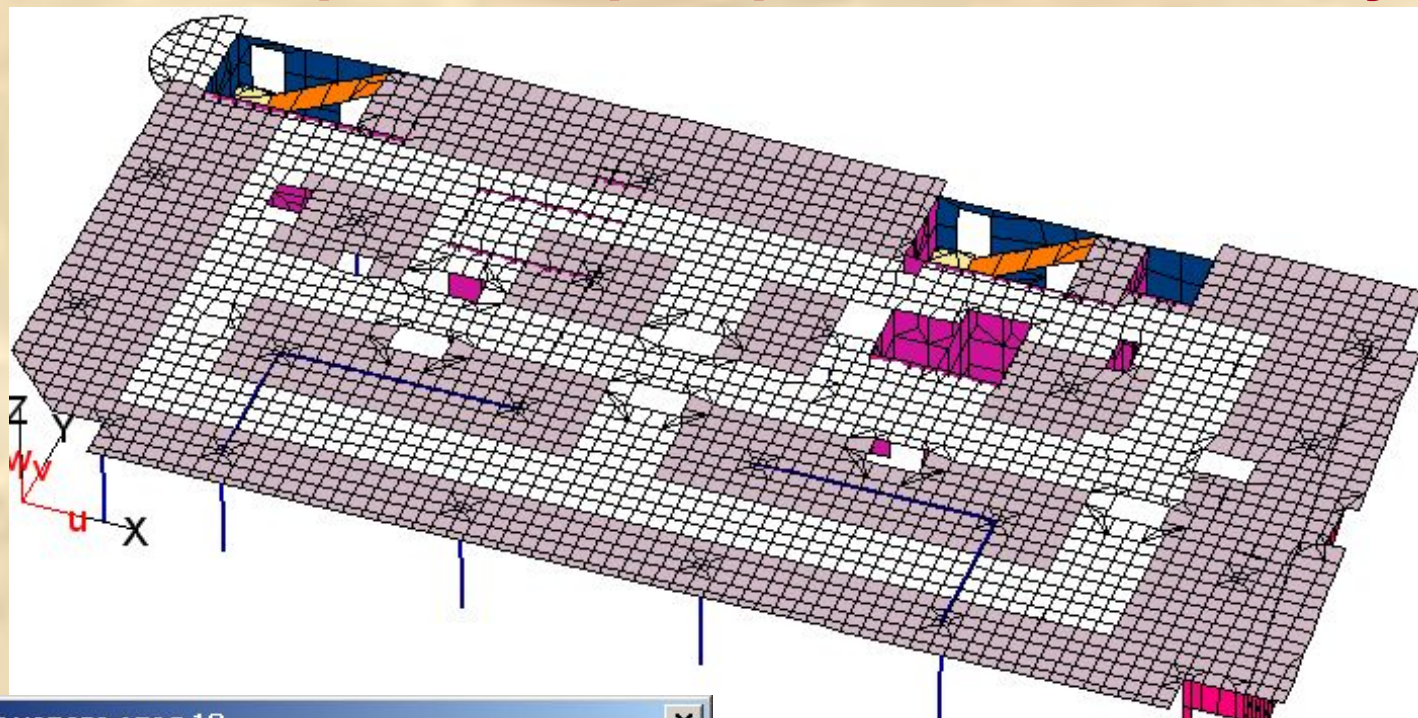
Линейный расчет  
 $N_{max} = 523$  кН



# Нелинейные материалы – бетон, сталь, железобетон



# Нелинейный расчет при чрезвычайных ситуациях



Материал нового слоя 18

Бетон

Номер мат. 15

H	0.015	Rbt	1550
E	3e+007	Rb	18500
Mue	0.2	eps_bt	0.00015
Rho	2.4	eps_b	0.0035

Материалов 28      Ссылка 39396

Материал слоя 3

Арматурный слой

Номер мат. 17

H	1e-008	G	0
E	2e+008	Rho	7.85
As.x	0.000905	Alpha	0
As.y	0.000905	Rs	390000

Материалов 3      Ссылка 4596

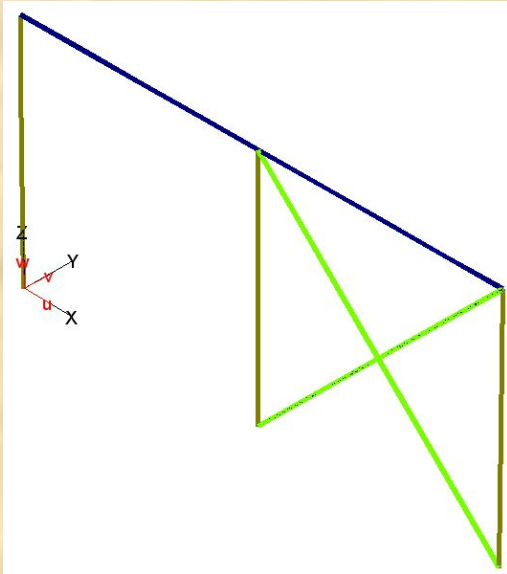


# Упражнение №1 по моделированию нелинейных свойств конструкций

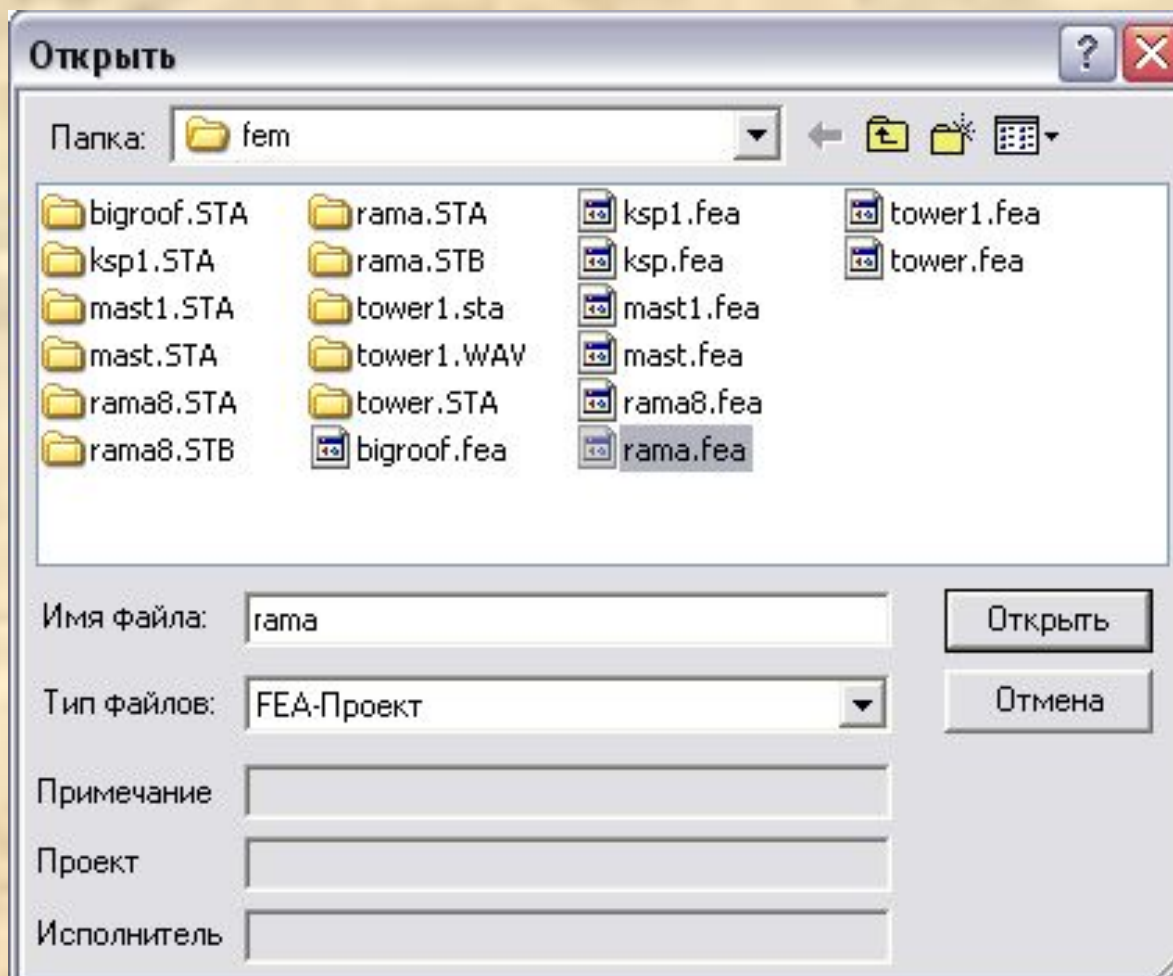
**Имеется** расчетная модель рамы с гибкими связями, не работающими на сжатие (rama.fea).

**Требуется:**

- 1) Произвести статический линейный расчет рамы;
- 2) Установить шарниры, в т.ч. односторонние, моделирующие работу связей только на растяжение;
- 3) Произвести статический нелинейный расчет рамы;
- 4) Сравнить результаты расчета (усилия в элементах рамы).



Шаг 1. Загружаем расчетную модель рамы со связями `rama.fea`.



## Шаг 2. Производим статический линейный расчет рамы.

Параметры расчета

Тип расчета

- Статический расчет
- Собственные колебания
- Устойчивость
- Формирование матриц

Итерационный расчет

Точность

Количество собственных форм

Диапазон искомых собств. значений

Значение от  до

Диагностика

- Проверка точности решения
- Проверка ортогональности

Вывод результатов

- Графический интерфейс
- Реакции
- Усилия в оболочках
- Напряжения в объемных элементах

КЭ-модель

Элементы

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

- Осреднение с весами
- Согласованные нагрузки
- Согласованные массы

Проект

Примечание

Исполнитель \$\$\$\$

OK Отменить Помощь

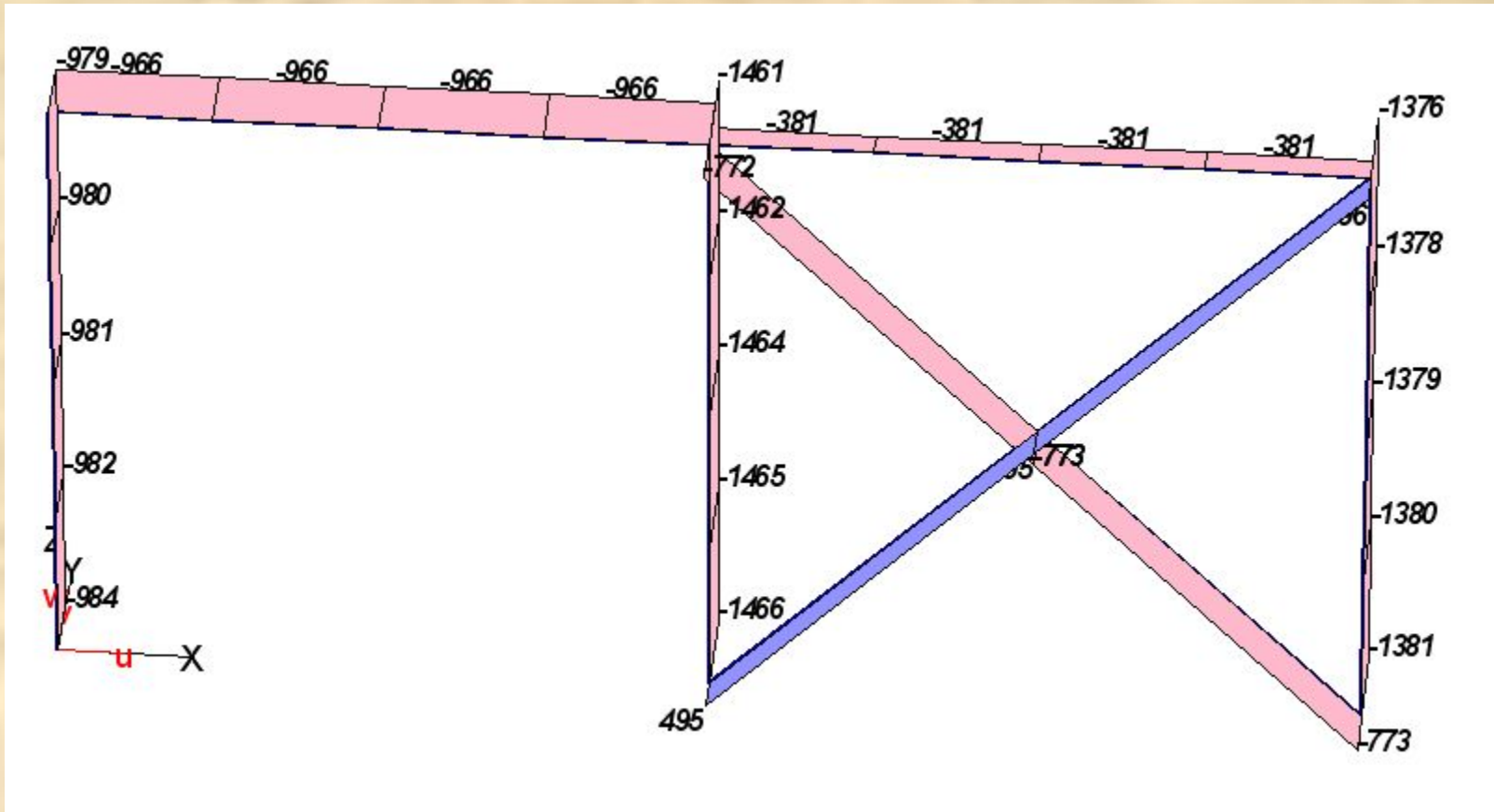
Выбор типа решателя

- Профильный
- Разреженный
- Фронтальный

OK

Отменить

Шаг 3. Оцениваем усилия в элементах рамы (связи работают и на сжатие, и на растяжение).



# Шаг 4. Устанавливаем шарниры на элементы рамы.

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

- Геометрия
- Позиции
- Тела и поверхности
- Эксцентриситеты
- Материалы
- Массы
- Шарниры**
  - Шарниры
  - Элементные:
    - установить**
    - удалить
    - контроль
  - Узловые:
    - установить
    - удалить
  - Разрезные:
    - установить
    - объединить
    - удалить
    - удалить все
  - стандарты
- МСК стержней
- МСК пластин
- KNFL
- Связи
- Упругое основание
- Нагрузки
- Преднапряжение
- Подконструкции

Zoom

Refr

Print

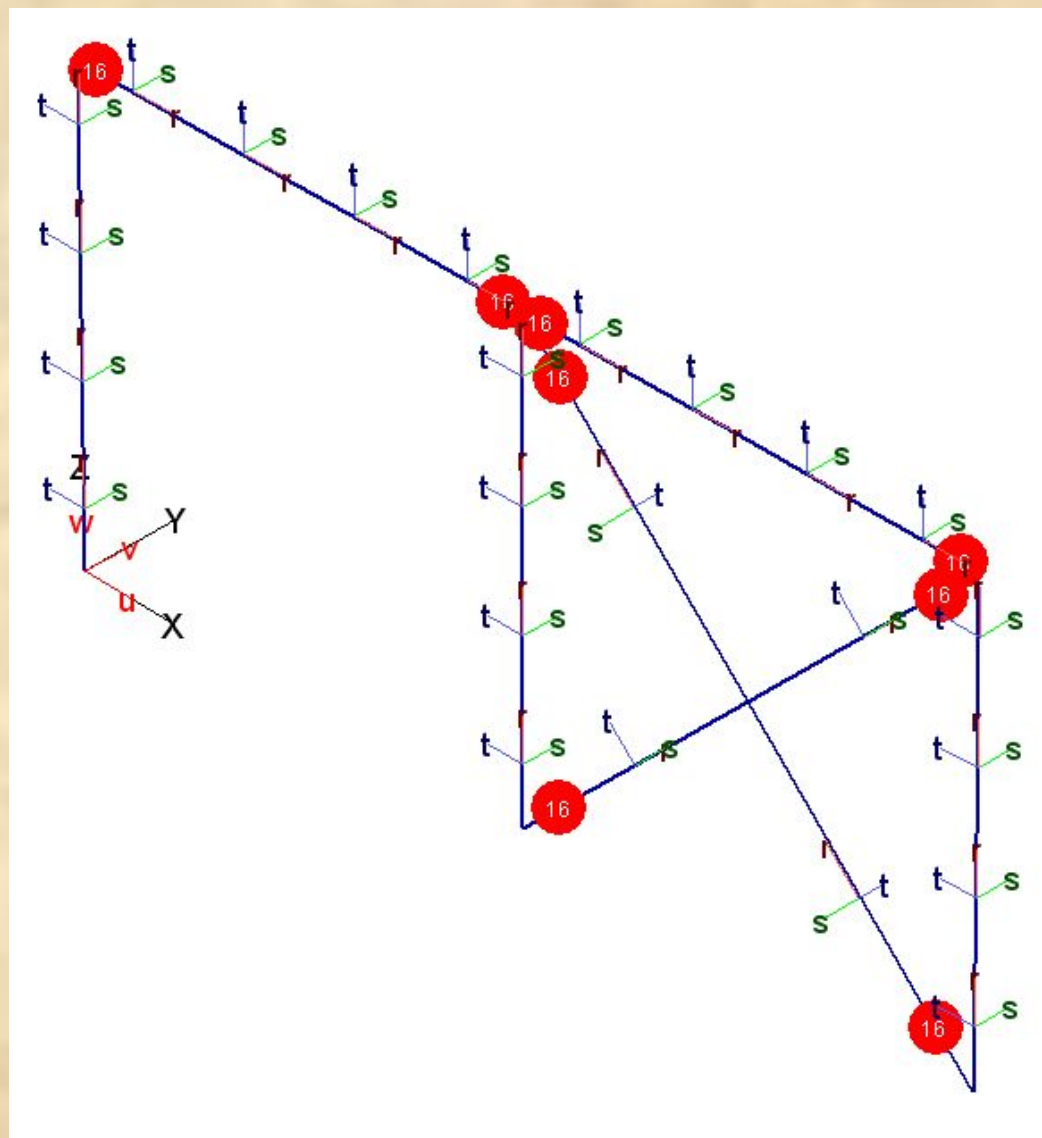
XY YZ XZ 3D

Проекты  
Растр  
Вставка  
Полный  
Виды  
uvw-Задать  
Фрагмент  
Редактировать  
Расчет  
Комбинации  
Результаты  
Настройки  
Выход

Max N=496.139 кН (элемент 22), Min N=-1466.16 кН (элемент 5)

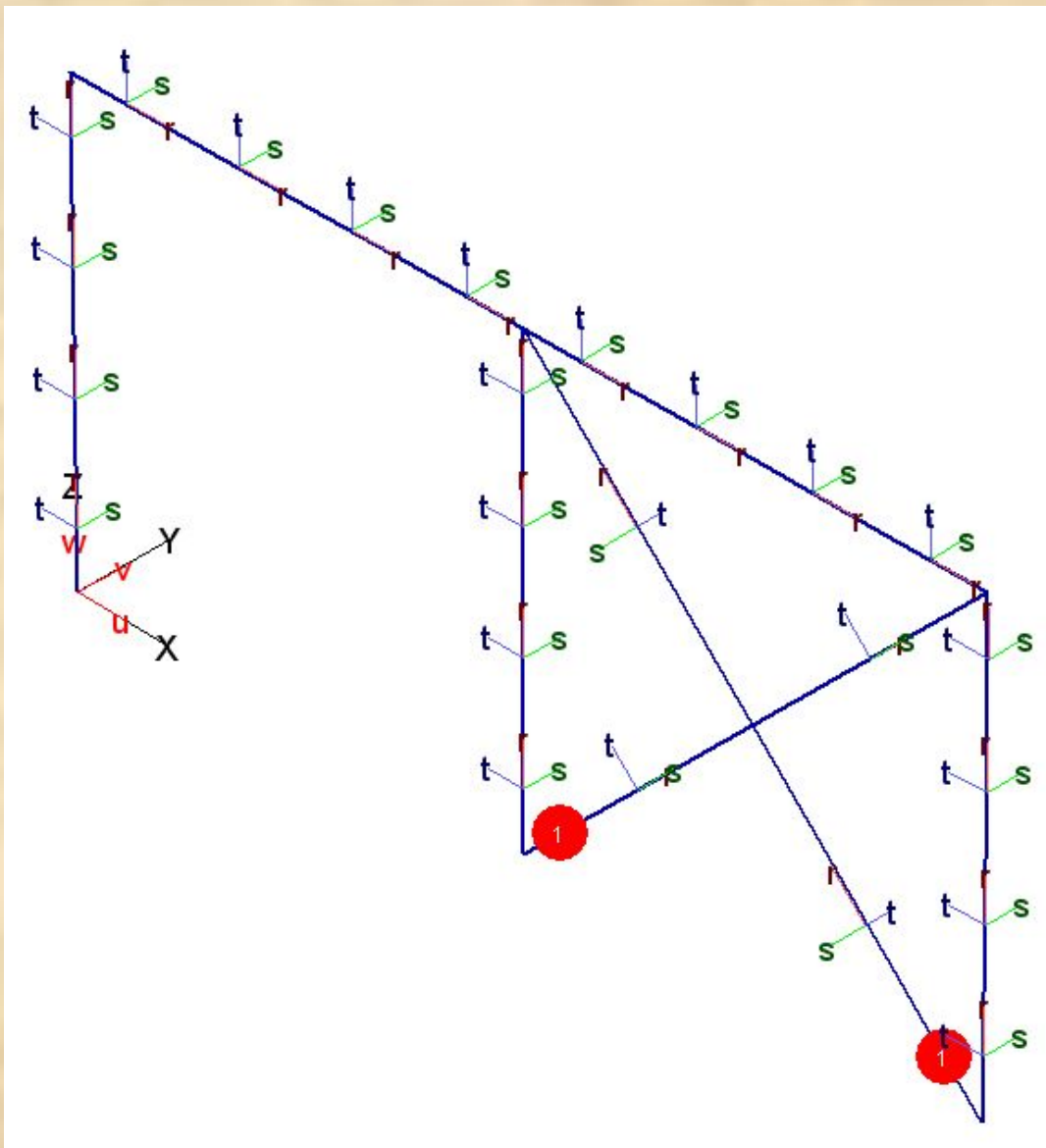
<X-Y-Z-Координаты>

Задаем двухсторонние шарниры в местной системе координат от поворота вокруг оси  $s$ .



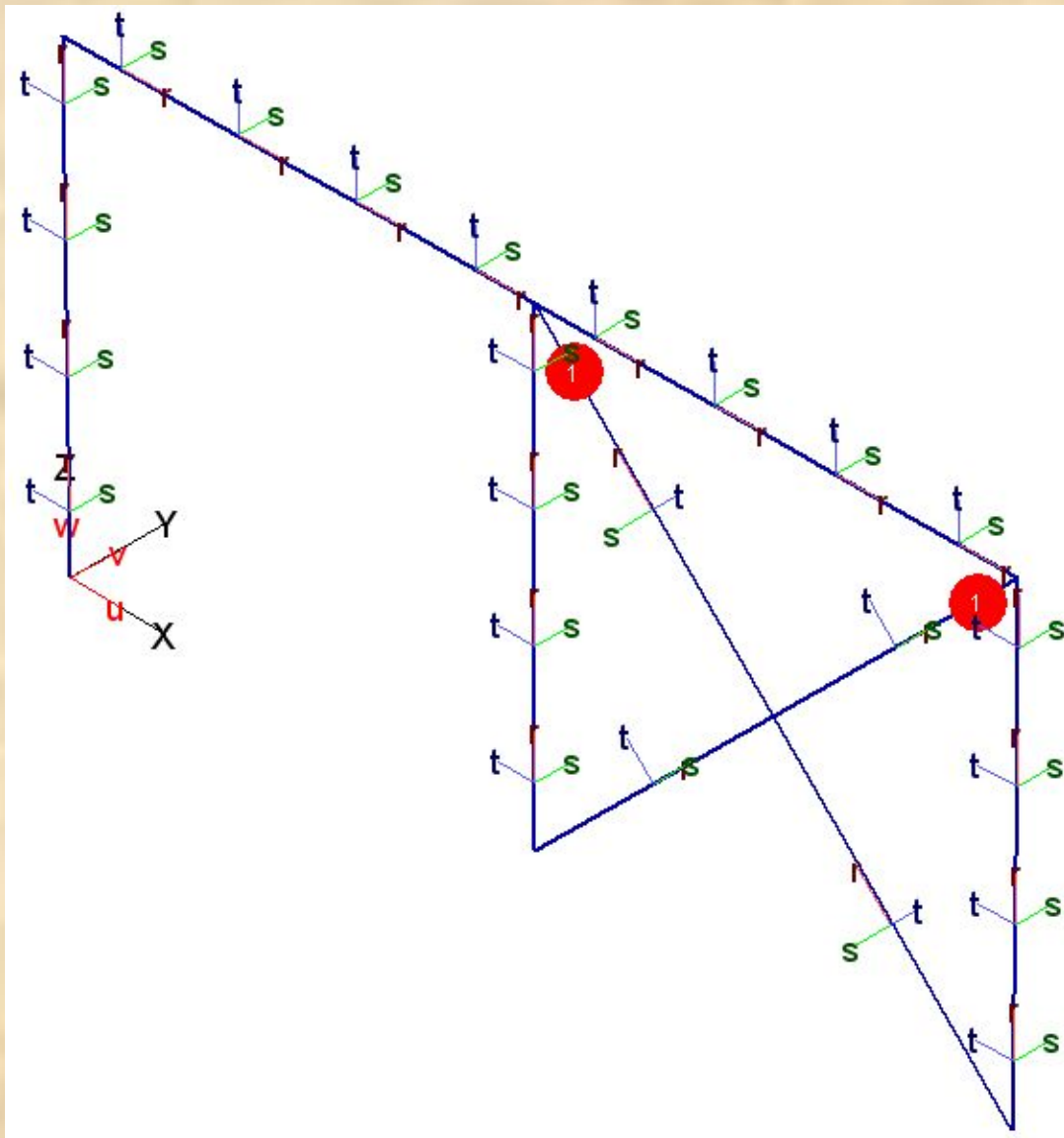
X/r	Y/s	Z/t	Rx/r	Ry/s	Rz/t
ЛСК		ГСК		МСК	
Стержни			Пластины		
0	+1	-1	+2	-2	

Задаем односторонние шарниры в местной системе координат от перемещения вдоль оси  $r$  (+1).



X/r	Y/s	Z/t	Rx/r	Ry/s	Rz/t
ЛСК	ГСК	МСК			
Стержни		Пластины			
0	+1	-1	+2	-2	

Задаем односторонние шарниры в местной системе координат от перемещения вдоль оси  $r$  (-1).



X/r	Y/s	Z/t	Rx/r	Ry/s	Rz/t
ЛСК		ГСК		МСК	
Стержни			Пластины		
0	+1	-1	+2	-2	



## Шаг 5. Производим статический расчет рамы со связями (конструктивная нелинейность).

**Выбор типа расчета**

Вид расчета

- Статический расчет
- Устойчивость
- Собственные колебания
- Спектральный сдвиг
- "Деформированные" колебания
- "Нелинейная" устойчивость
- "Нелинейный" спектральный сдвиг

Итерационный расчет

- Теория II порядка
- Трос
- Односторонние опоры
- Односторонние шарниры
- Превышение итераций
- Прерывание итераций

Точность: 0.0001

Итерации: 100

Точность: 0.0001

Количество собственных форм: 6

Точность: 0.0001

Задание стандартов ...

Вывод результатов

- Усилия
- Реакции
- Невязки

Примечание

Проект

Исполнитель: юра

OK Отменить Помощь

**Выбор типа решателя**

- Профильный
- Разреженный
- Фронтальный

OK

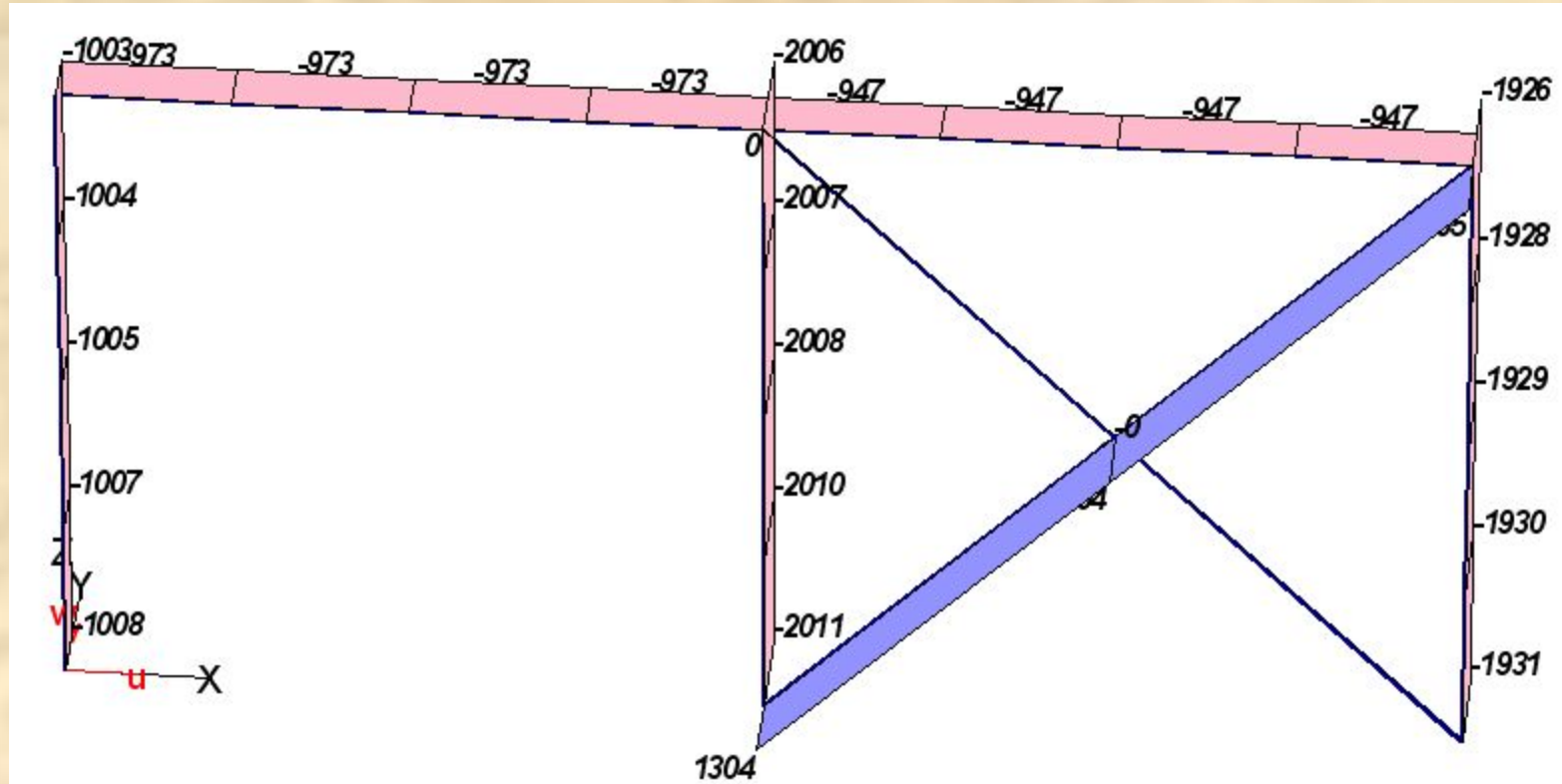
Отменить

**Задание и корректировка комбинаций**

Комбинации | Массы | Доп. на устойчивость

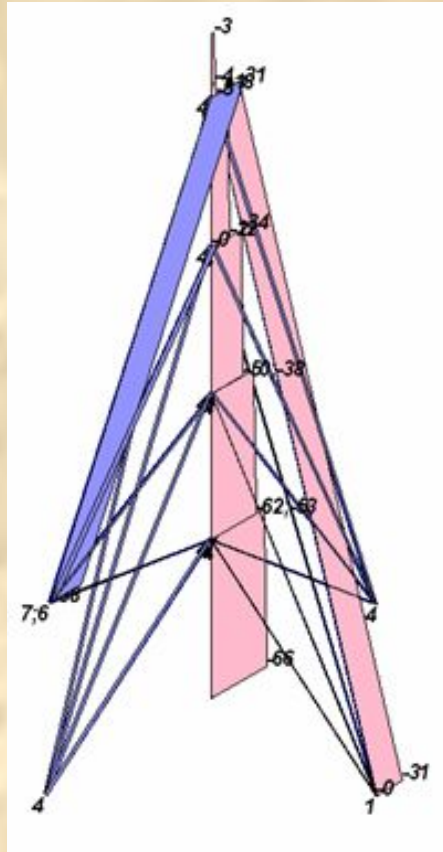
	НГ-1	НГ-2
К-1	1	1

Шаг 6. Оцениваем усилия в элементах рамы (связи работают только на растяжение).



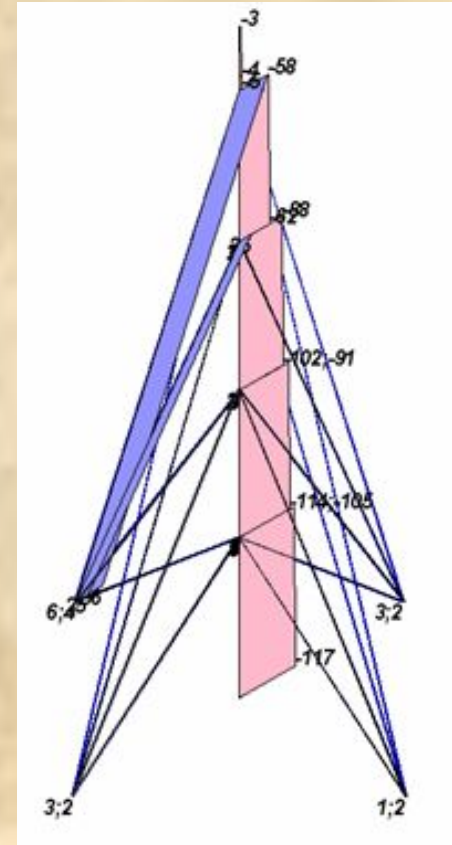
# Расчет мачты на оттяжках

## Линейный расчет



Оттяжки работают как на растяжение, так и на сжатие, что неверно

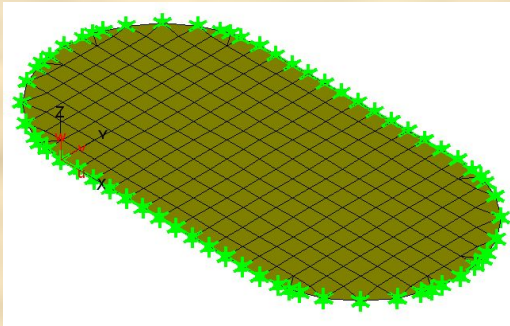
## Нелинейный расчет



Оттяжки работают только на растяжение

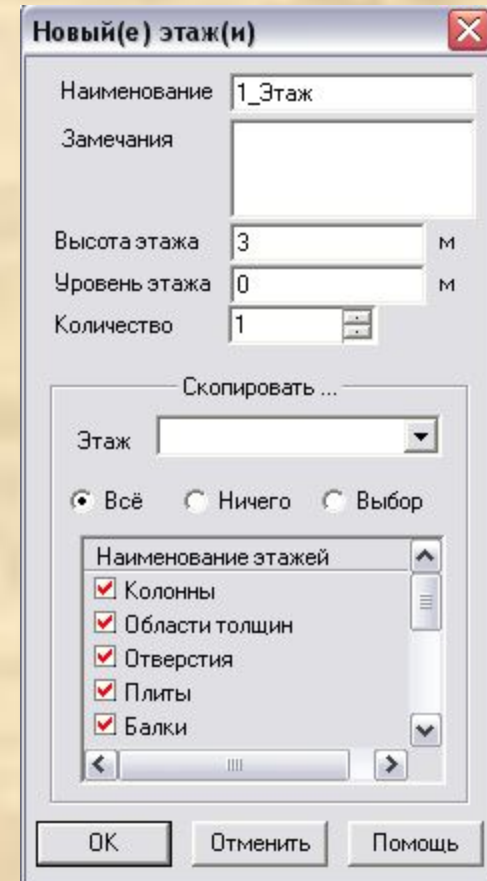
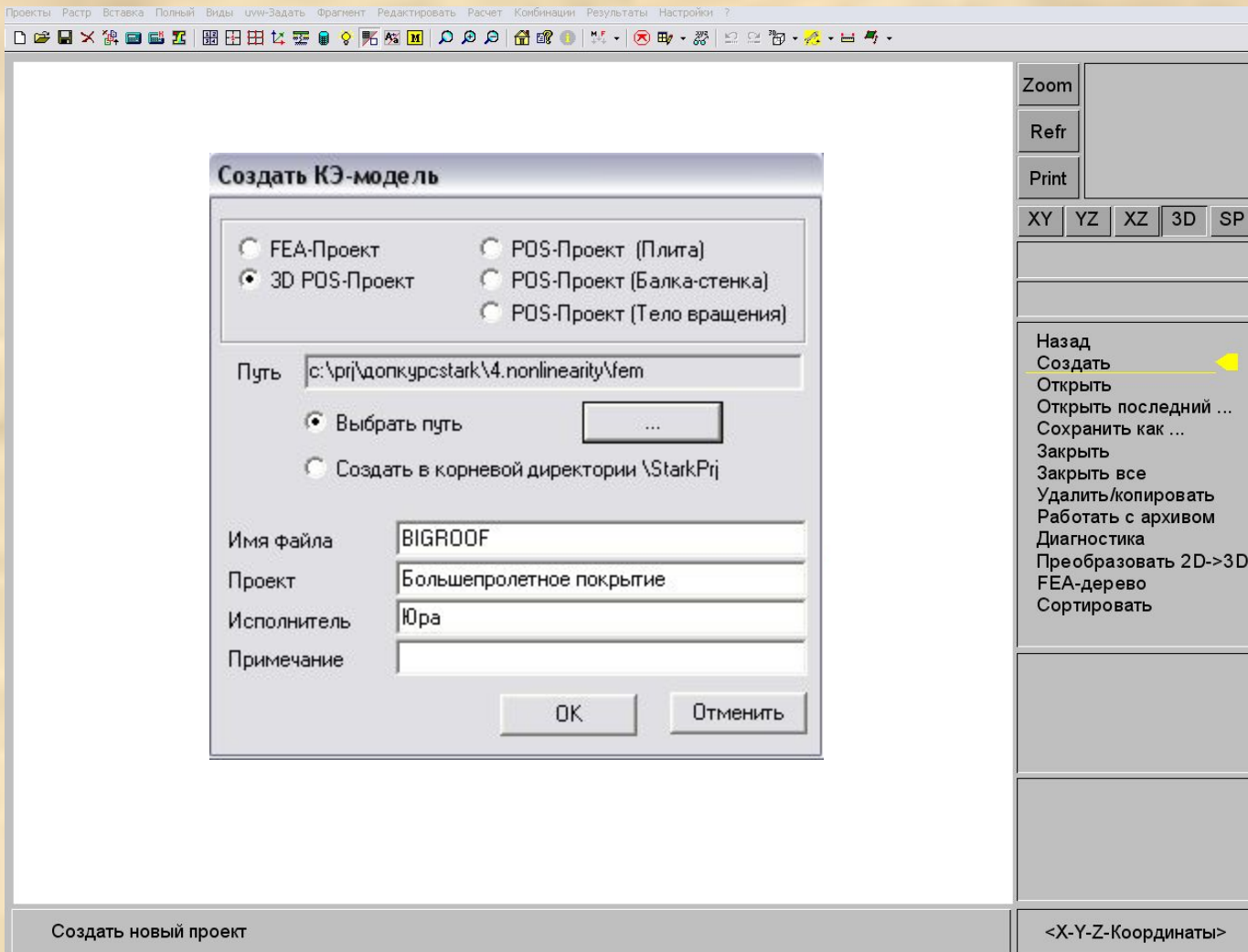
## Упражнение №2 по моделированию нелинейных свойств конструкций

### Требуется:



- 1) Построить расчетную модель большепролетного покрытия;
- 2) Произвести статический линейный расчет покрытия;
- 3) Произвести статический нелинейный расчет покрытия;
- 4) Сравнить результаты линейного и нелинейного расчета (перемещения и пр.).

# Шаг 1. Создаем новый позиционный проект.



## Шаг 2. Описываем геометрию покрытия через установку и объединение плит (24x12 м).

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

Zoom  
Refr  
Print

PPO PLI PP

A R F K X W M S

Einz Box Circ Ras

Назад  
Плита/стена/рампа  
-установить  
-удалить  
-сместить  
-делить  
-объединить  
-отобразить  
-копировать  
-передать свойства  
-направление  
-изменить свойства

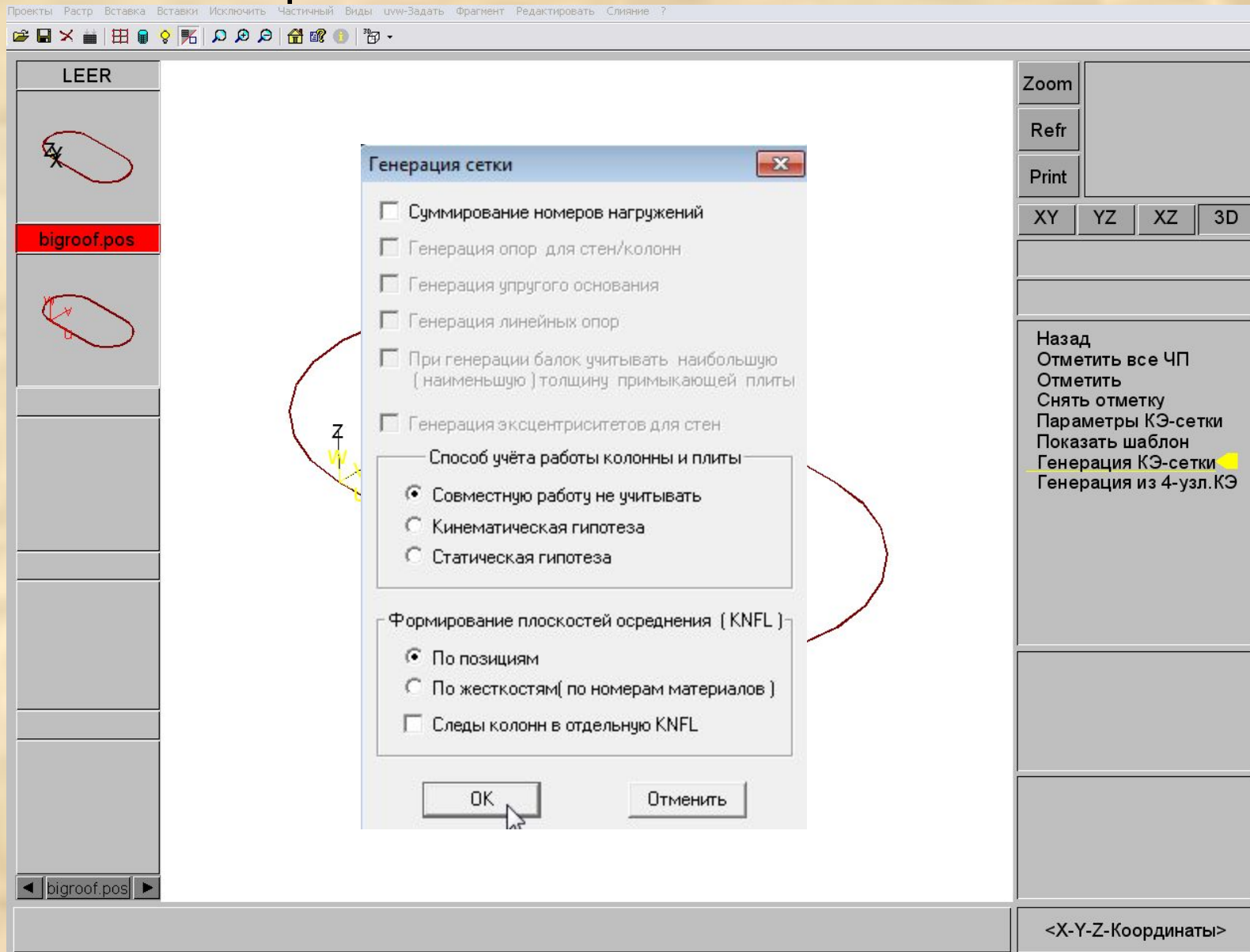
D-2  
Характеристики  
Видимые этажи  
3 м вниз

Плита Стена Рампа

<X-Y-Z-Координаты>

Установка плит/балок-стенок/рамп из позиций

# Шаг 3. Производим генерацию конечно-элементной сетки через полный проект.



# Шаг 4. Редактируем материал и толщину оболочки.

The screenshot shows a software interface with a menu bar at the top containing: Проекты, Растр, Вставка, Толщина, Виды, uvw-Задать, Фрагмент, Редактировать, Расчет, Комбинации, Результаты, Настройки, ?. Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main workspace is mostly empty, with a small grid pattern visible on the left side.

In the center, a dialog box titled "Имена материалов" is open. It has tabs for "Бетон", "Арматурный слой", and "Слоистый". Under "Бетон", there are sub-tabs for "Изотропный" and "Ортотропный(пластины)". The "Изотропный" tab is active. The dialog contains the following fields and buttons:

- Номер мат.: 1 (dropdown), with a "Новый" button.
- H: 0.005, with a "Снижение" button.
- E: 2.06e+008, with a "Стандарт" button.
- Mue: 0.3, with a "Материалов" label.
- Rho: 8.24, with a "Ссылка" label and the value 272.

At the bottom of the dialog are "OK" and "Отмена" buttons.

On the right side of the interface, there is a sidebar with the following elements:

- Buttons: Zoom, Refr, Print.
- View options: XY, YZ, XZ, 3D.
- A list of actions:
  - Назад
  - Материалы
    - установить
    - удалить
    - редактировать (highlighted with a yellow arrow)
    - сечения ЖБК
    - произвольн. сечения
    - сортамент профилей
    - стандарты

At the bottom of the sidebar, there is a label: <X-Y-Z-Координаты>



# Шаг 5. Загружаем покрытие равномерно-распределенной нагрузкой (нагружения 2 и 3).

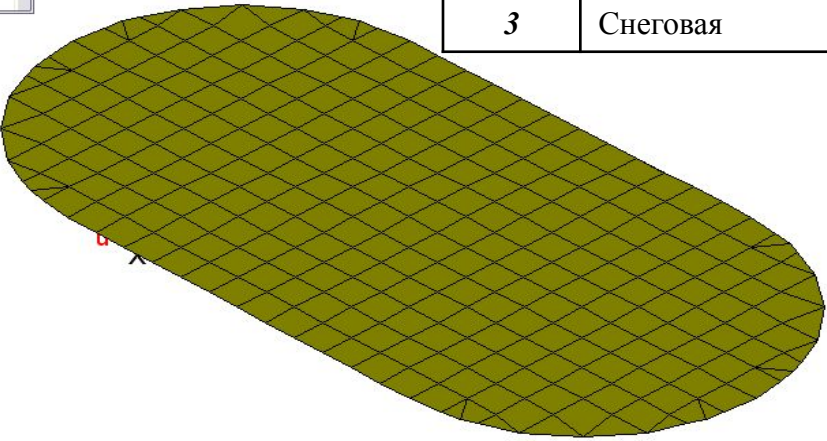
Проекты Растр Вставка **Полы** Виды **цвм-Задать** фрагмент Редактировать Расчет Комбинации Результаты Настройки ?

Zoom Refr Print XY YZ XZ 3D

Назад Равном. распредел.:  
-установить  
-удалить  
-показать

№ нагрузж	Вид нагрузки	Расчетные значения нагрузок
1	Собственный вес конструкций	82.4 кН/м <sup>3</sup>
2	Вес кровли	0.5 кН/м <sup>2</sup>
3	Снеговая	1.8 кН/м <sup>2</sup>

Нагружение = 2  
Qz/t = -0.500

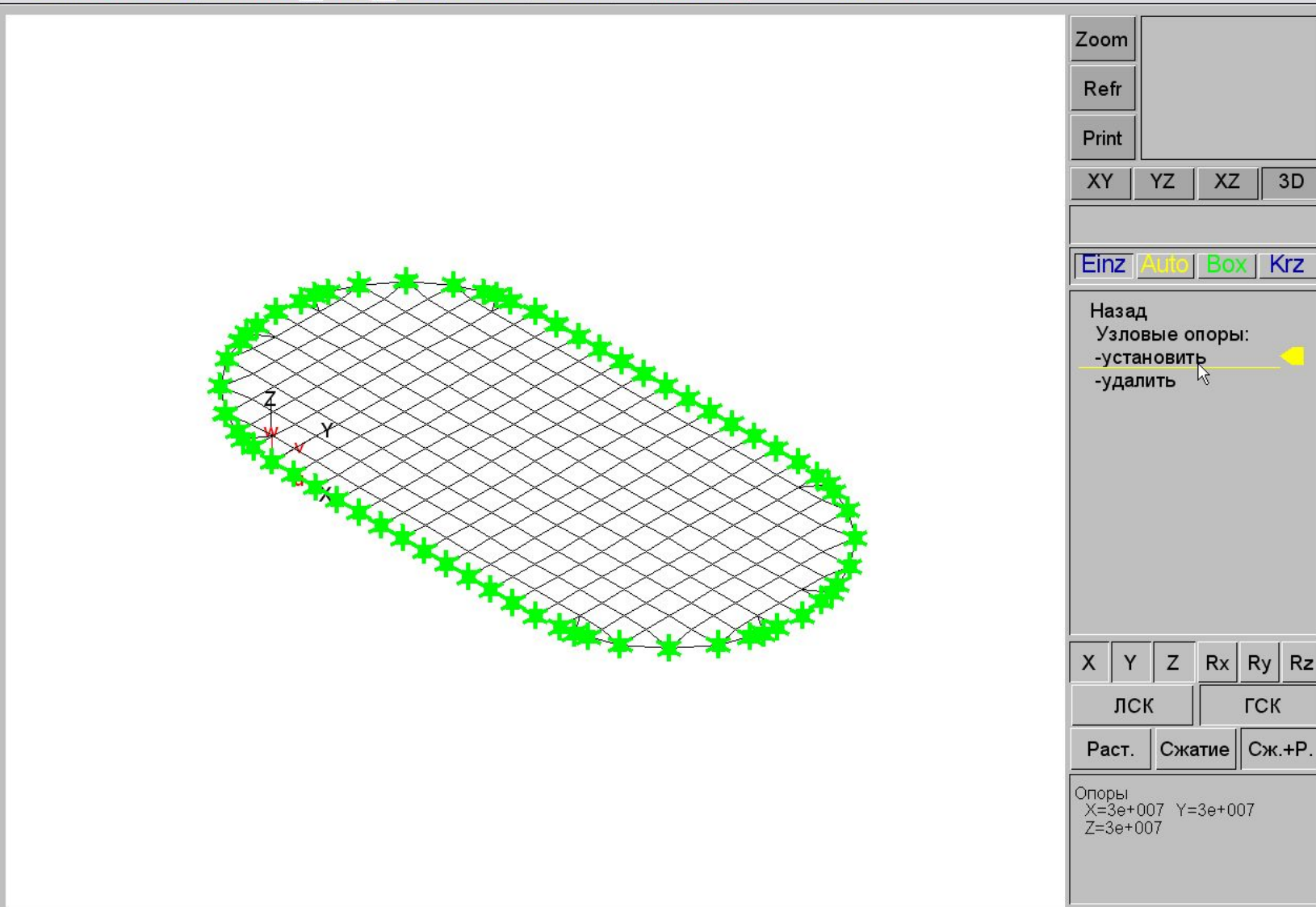


Qx/r Qy/s Qz/t  
МСК ГСК Проекц.  
◀ Нагружение 2 ▶

<X-Y-Z-Координаты>

# Шаг 6. Устанавливаем опоры по контуру оболочки (X, Y, Z).

Проекты Растр Вставка Полный Виды ичв-Задать Фрагмент Редактировать Расчет Комбинации Результаты Настройки ?



Zoom  
Refr  
Print  
XY YZ XZ 3D  
Einz Auto Box Krz  
Назад  
Узловые опоры:  
-установить  
-удалить  
X Y Z Rx Ry Rz  
ЛСК ГСК  
Раст. Сжатие Сж.+Р.  
Опоры  
X=3e+007 Y=3e+007  
Z=3e+007  
<X-Y-Z-Координаты>

Установка узловых опор

# Шаг 7. Производим статический линейный расчет покрытия.

Параметры расчета

Тип расчета

- Статический расчет
- Собственные колебания
- Устойчивость
- Формирование матриц

Итерационный расчет

Точность

Количество собственных форм

Диапазон искомых собств. значений  до

Значение от  до

Диагностика

- Проверка точности решения
- Проверка ортогональности

Вывод результатов

- Графический интерфейс
- Реакции
- Усилия в оболочках
- Напряжения в объемных элементах

КЭ-модель

Элементы

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

- Осреднение с весами
- Согласованные нагрузки
- Согласованные массы

Проект

Примечание

Исполнитель ssss

OK Отменить Помощь

Выбор типа решателя

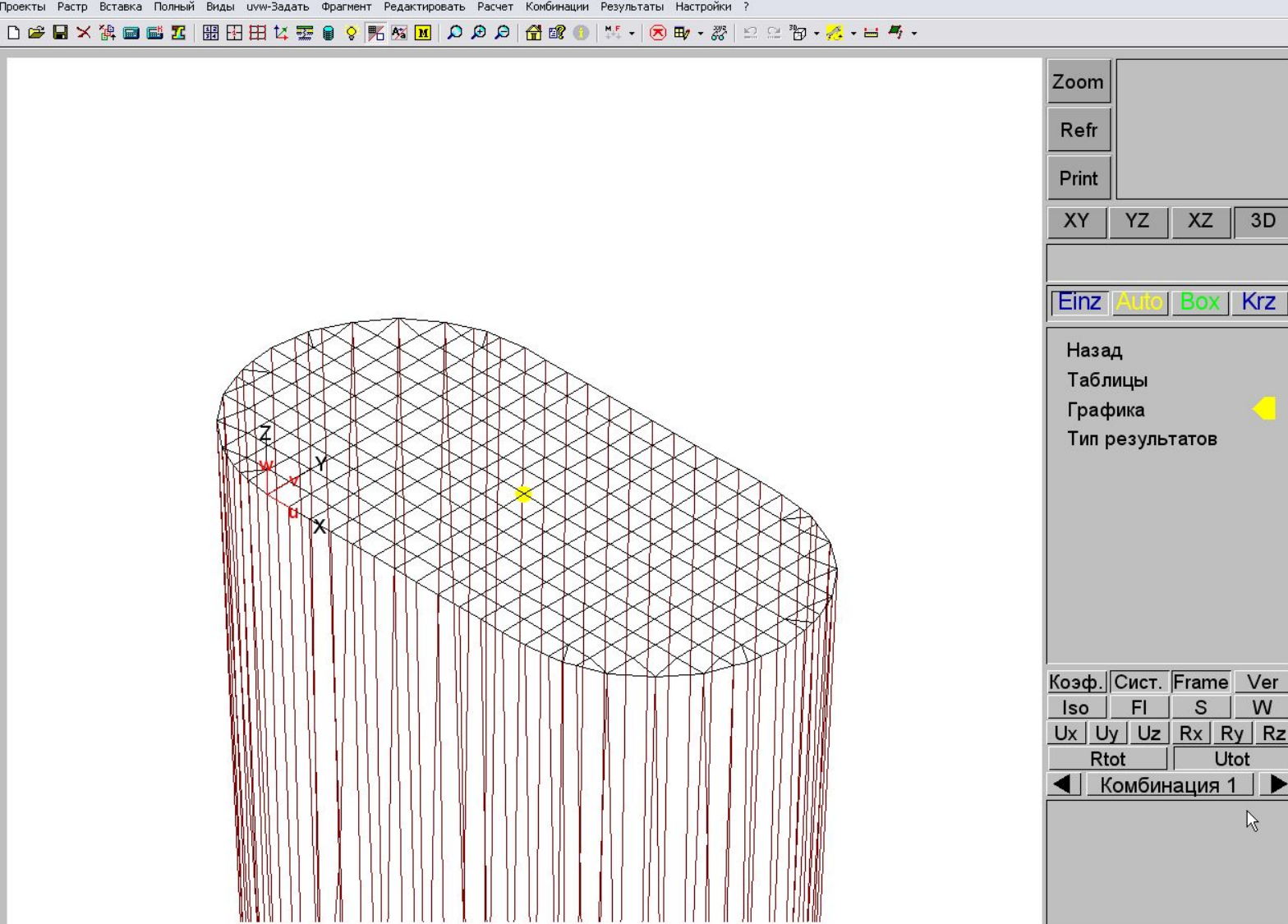
- Профильный
- Разреженный
- Фронтальный

OK

Отменить

# Шаг 8. Оцениваем перемещение и усилия в элементах оболочки.

Проекты Растр Вставка Полный Виды иви-Задать Фрагмент Редактировать Расчет Комбинации Результаты Настройки ?



Zoom  
Refr  
Print  
XY YZ XZ 3D  
Einz Auto Box Krz  
Назад  
Таблицы  
Графика  
Тип результатов  
Коеф. Сист. Frame Ver  
Iso FI S W  
Ux Uy Uz Rx Ry Rz  
Rtot Utot  
Комбинация 1  
Мах перемещение = 249594 мм в узле 147  
<X-Y-Z-Координаты>

# Шаг 9. Производим статический нелинейный расчет гибкого большепролетного покрытия (геометрическая нелинейность).

### Выбор типа расчета

Вид расчета

- Статический расчет
- Устойчивость
- Собственные колебания
- Спектральный сдвиг
- "Деформированные" колебания
- "Нелинейная" устойчивость
- "Нелинейный" спектральный сдвиг

Итерационный расчет

- Теория II порядка
- Трос
- Односторонние опоры
- Односторонние шарниры
- Превышение итераций
- Прерывание итераций

Точность:

Однопоточный расчет

Оптимизация

Закрепление узлов

Задание стандартов ...

Вывод результатов

- Усилия
- Реакции
- Невязки

Итерации:

Точность:

Количество собственных форм:

Примечание: \_\_\_\_\_

Проект:

Исполнитель:

OK Отменить Помощь

### Стандарты для элементов

Элементы

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

- Осреднение с весами
- Согласованные нагрузки
- Согласованные массы
- Нелинейные итерации
- Проверка по Штурму
- Инерция вращения
- Разреженный решатель
- Учёт изменения геометрии для эксцентриситетов
- Учёт конечных вращений для пластин
- Последовательное чтение / запись
- Нелинейный материал
- Расчет энергии

Число шагов нагрузки:

Оценка погрешностей

- Критерий 1
- Критерий 2
- Критерий 3
- Все критерии
- Без оценки

OK Отменить Помощь

### Задание и корректировка комбинаций

Комбинации | Массы | Доп. на устойчивость

	НГ-1	НГ-2	НГ-3
К-1	1	1	1

### Выбор типа решателя

- Профильный
- Разреженный
- Фронтальный

OK

Отменить

# Шаг 10. Оцениваем перемещения и усилия в элементах оболочки.

Проекты Растр Вставка Полный Виды **uvw-Задать** Фрагмент Редактировать Расчет Комбинации Результаты Настройки ?

Zoom Refr Print XY YZ XZ 3D

Einz Auto Box Krz

Назад  
Таблицы  
Графика  
Тип результатов

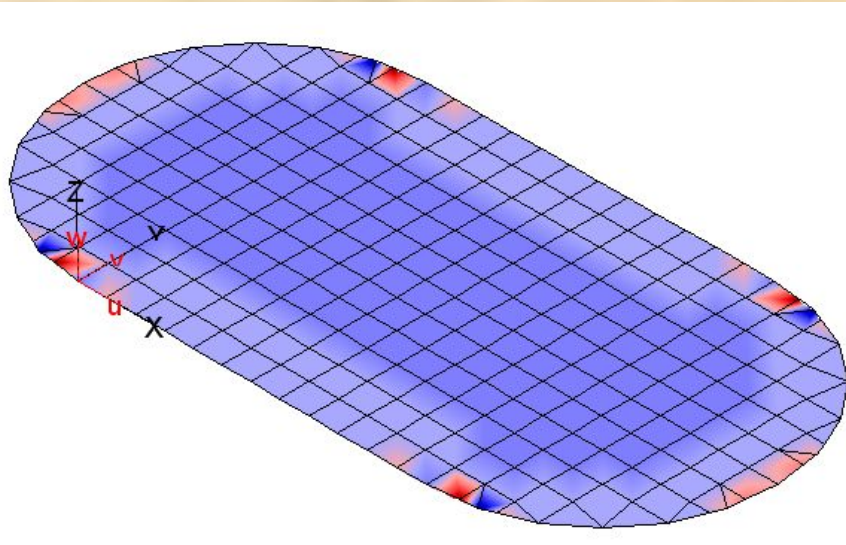
Козф. Сист. Frame Ver  
Iso FI S W  
Ux Uy Uz Rx Ry Rz  
Rtot Utot  
Комбинация 1

Max перемещение = 131.084 мм в узле 147

<X-Y-Z-Координаты>

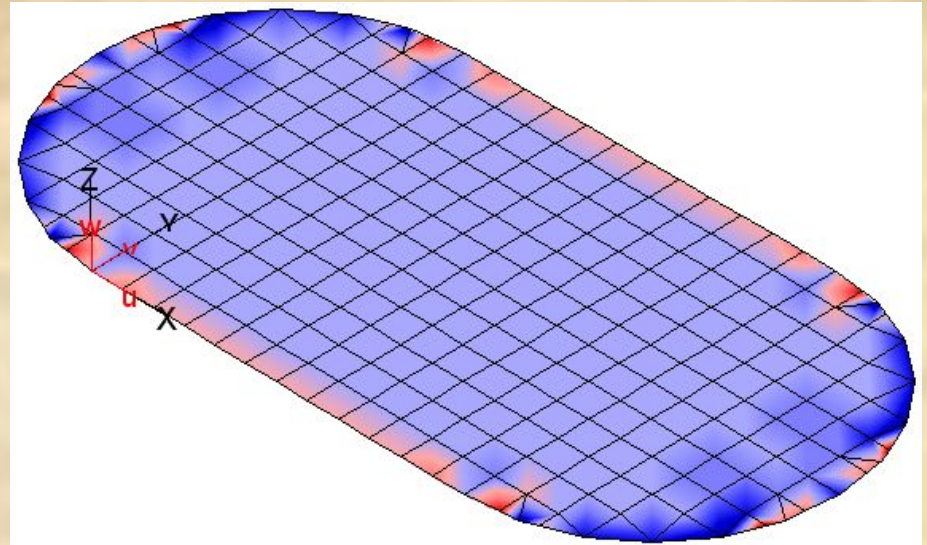
# Шаг 11. Сопоставляем результаты линейного и нелинейного расчета.

Линейный расчет

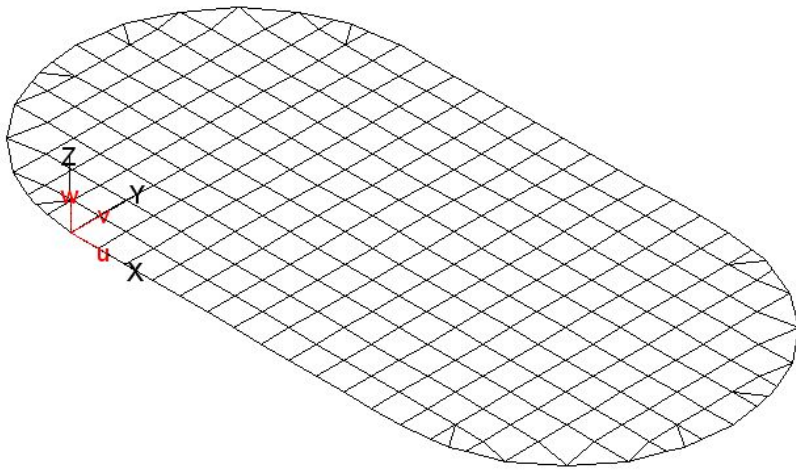


Min  $M_r = -20.6182$  кНм/м, Max  $M_r = 65.3456$  кНм/м

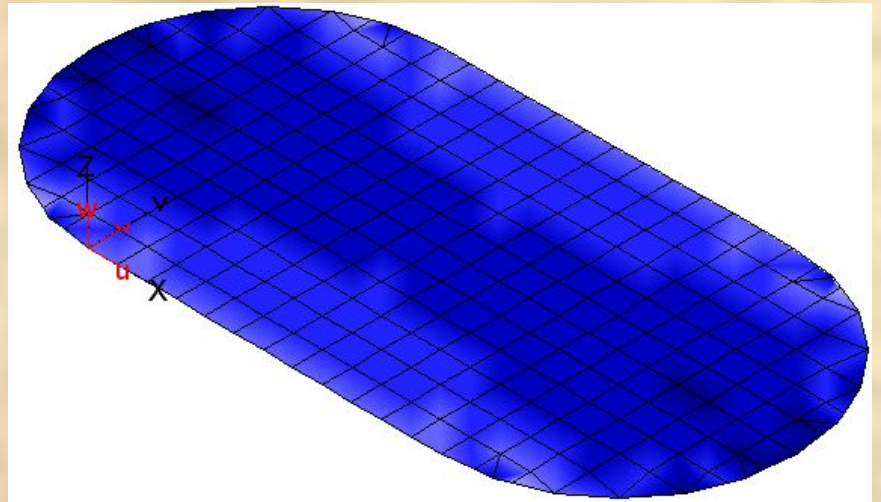
Нелинейный расчет



Min  $M_r = -0.0739975$  кНм/м, Max  $M_r = 0.08277$  кНм/м



Min  $S_r = 0$  кН/м<sup>2</sup>, Max  $S_r = 0$  кН/м<sup>2</sup>

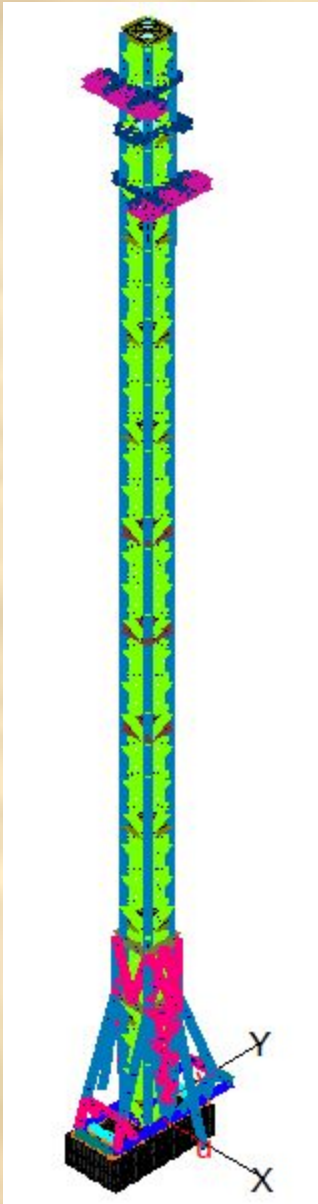


Min  $S_r = 3523.46$  кН/м<sup>2</sup>, Max  $S_r = 56183.7$  кН/м<sup>2</sup>

Параметр	Значение		
	Линейный расчет	Нелинейный расчет	%
Мах перемещение оболочки, мм	249594	131	<b>190430</b>
Мах $M_r$ , кНм/м	65,3	0,08	<b>81525</b>
Мах $S_r$ , кПа	0	56184	-



# Упражнение №3 по моделированию нелинейных свойств конструкций

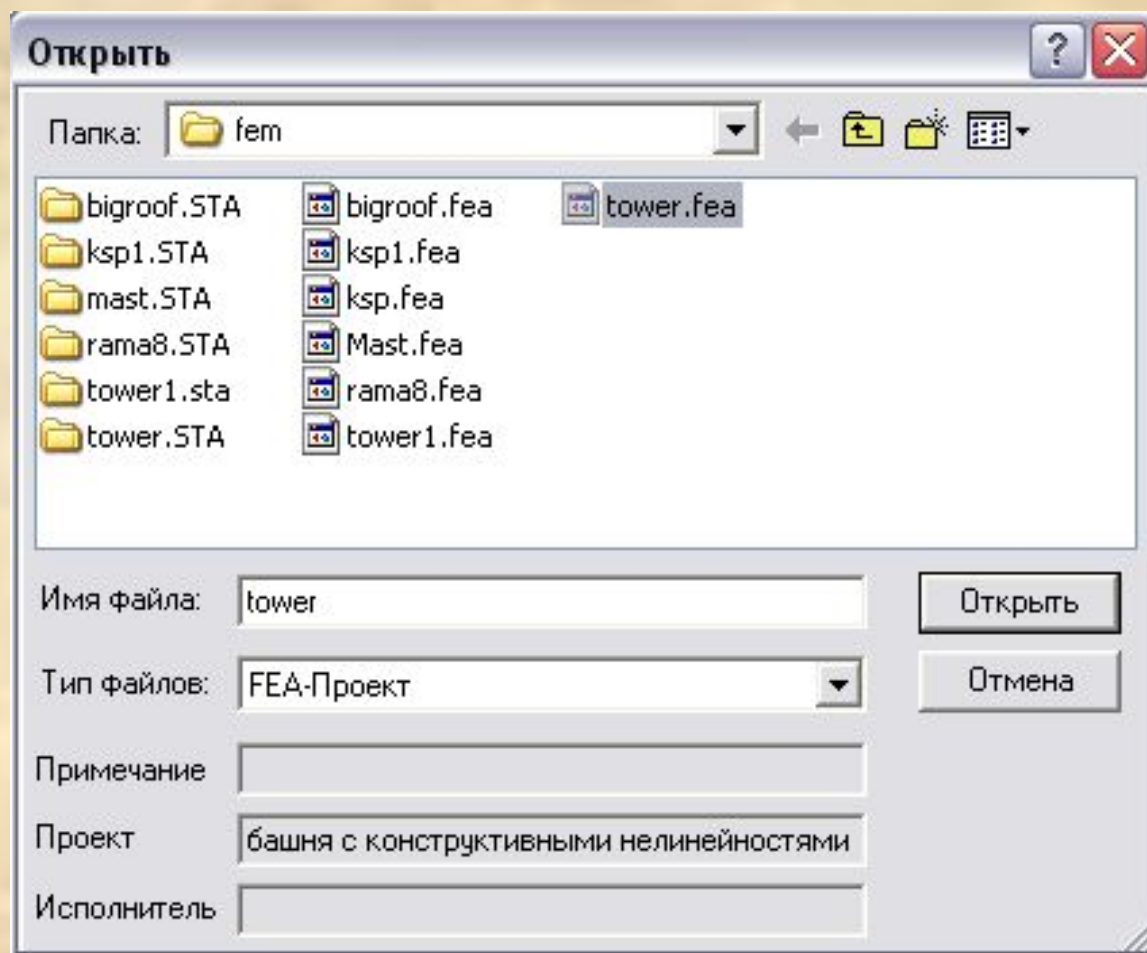


Имеется расчетная модель башни с нелинейными свойствами конструкций (`tower.fea`).

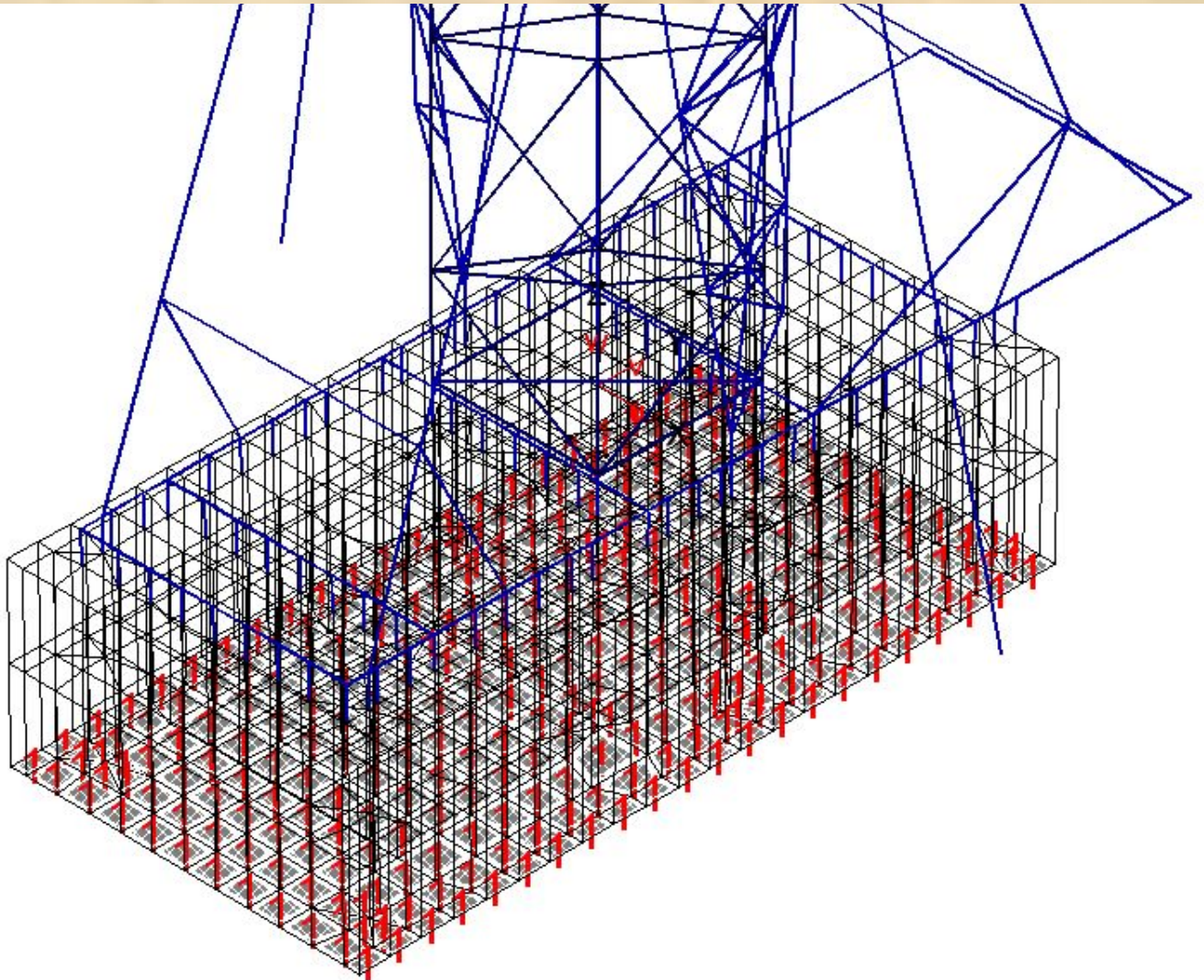
## Требуется:

- 1) Произвести статический линейный расчет башни;
- 2) Установить одностороннее упругое основание для возможности учета отрыва фундамента башни от основания;
- 3) Установить односторонние шарниры, моделирующие работу гибких подкосов только на растяжение;
- 4) Произвести статический нелинейный расчет башни;
- 5) Произвести расчет собственных форм колебаний башни;
- 6) Произвести расчет деформированных колебаний башни;
- 7) Сравнить результаты расчета.

Шаг 1. Загружаем расчетную модель башни [tower.fea](#).



Шаг 2. Задаем одностороннее упругое основание (только на сжатие).



Стержни	Пластины
Полоса	Клин
E, nuе	c1, c2 E, nuе, h1
E, nuе, H2	0 +1 -1
◀ Новое основание ▶	
Основание № 1 c1 = 5.44e+003 c2 = 0 ISide = 1	
<X-Y-Z-Координаты>	

## Шаг 3. Производим статический линейный расчет башни.

Параметры расчета

Тип расчета

- Статический расчет
- Собственные колебания
- Устойчивость
- Формирование матриц

Итерационный расчет

Точность

Количество собственных форм

Диапазон искомых собств. значений  до

Значение от  до

Диагностика

- Проверка точности решения
- Проверка ортогональности

Вывод результатов

- Графический интерфейс
- Реакции
- Усилия в оболочках
- Напряжения в объемных элементах

КЭ-модель

Элементы

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

- Осреднение с весами
- Согласованные нагрузки
- Согласованные массы

Проект башня с конструктивными нелинейностями

Примечание

Исполнитель ssss

OK Отменить Помощь

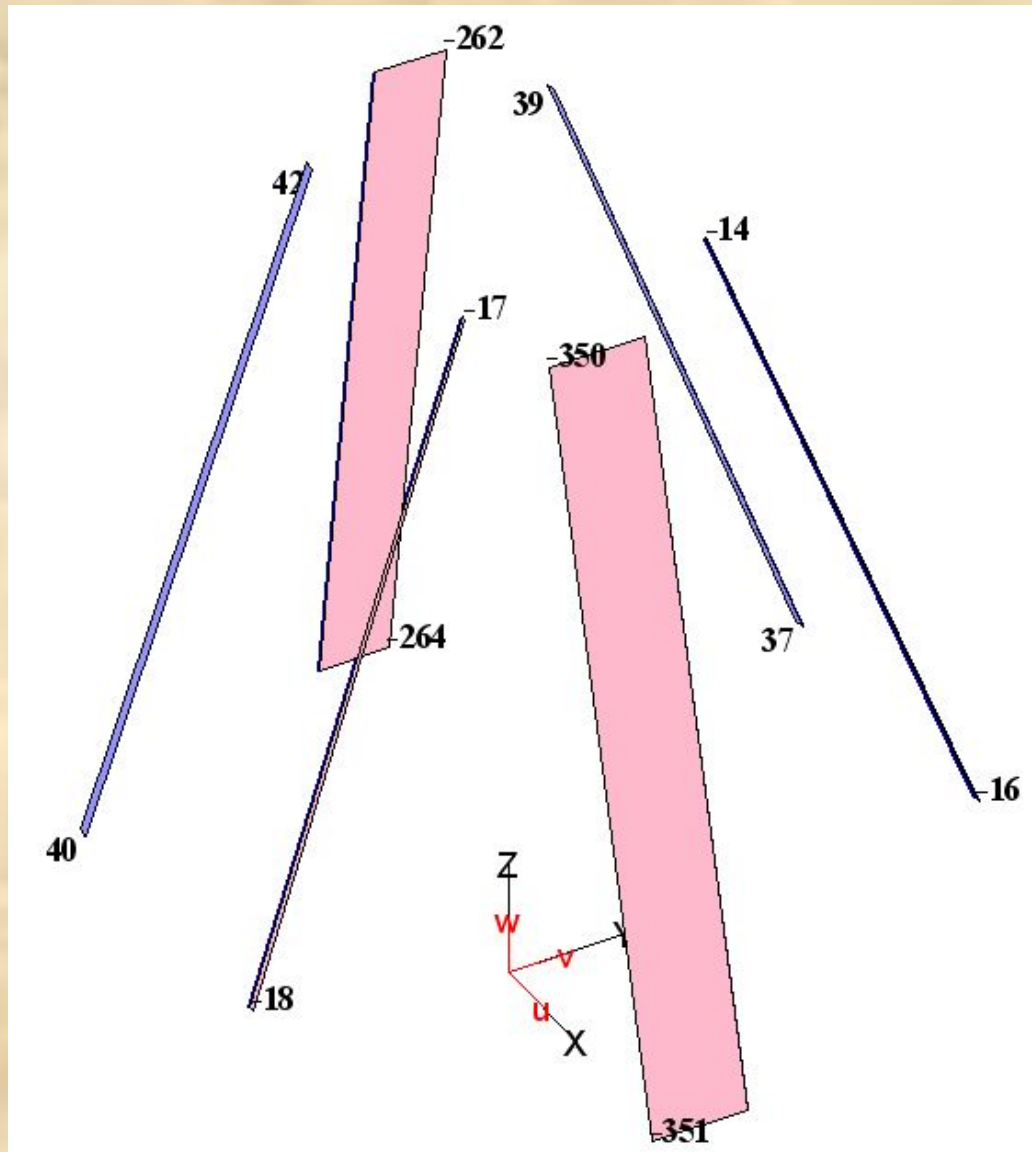
Выбор типа решателя

- Профильный
- Разреженный
- Фронтальный

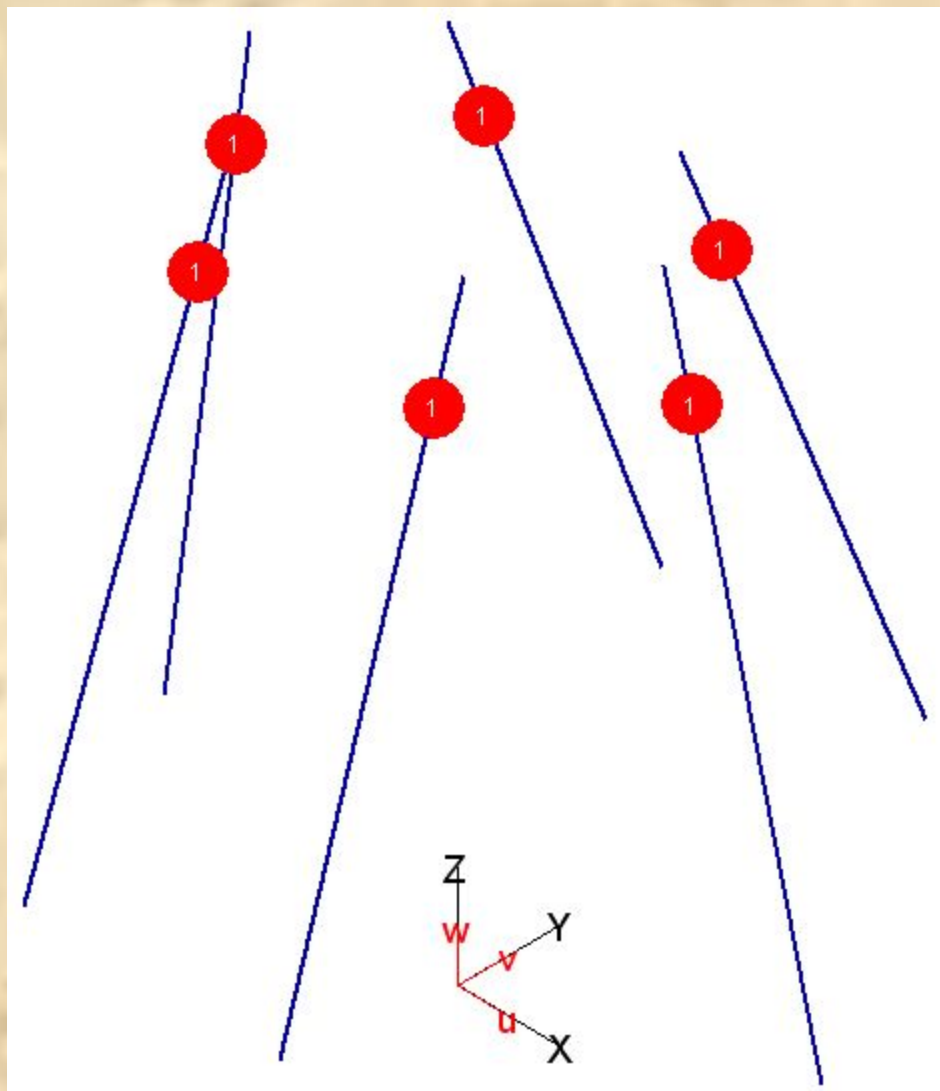
OK

Отменить

Шаг 4. Оцениваем усилия в элементах башни (подкосы работают и на сжатие, и на растяжение).

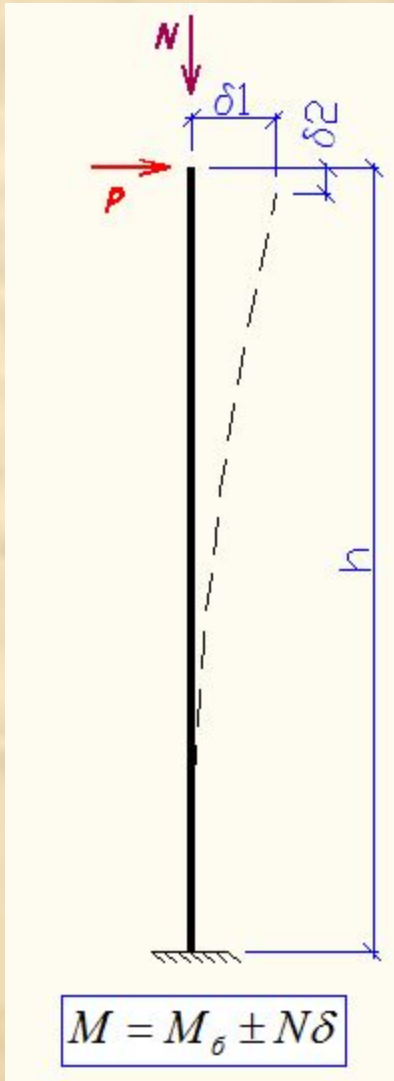


Шаг 5. Задаем односторонние шарниры в подкосах в местной системе координат от перемещения вдоль оси  $r$ .



X/r	Y/s	Z/t	Rx/r	Ry/s	Rz/t
ЛСК		ГСК		МСК	
Стержни			Пластины		
0	+1	-1	+2	-2	

# Шаг 6. Производим статический расчет гибкой башни (геометрическая и конструктивная нелинейность).



Выбор типа решателя

Профильный

Разреженный

Фронтальный

Задание и корректировка комбинаций

Комбинации | Массы | Доп. на устойчивость

	НГ-1	НГ-2	НГ-3	НГ-4	НГ-5
К-1	1	1	1	1	0
К-2	1	1	1	0	1

Выбор типа расчета

Вид расчета

- Статический расчет
- Устойчивость
- Собственные колебания
- Спектральный сдвиг
- "Деформированные" колебания
- "Нелинейная" устойчивость
- "Нелинейный" спектральный сдвиг

Итерационный расчет

- Теория II порядка
- Трос
- Односторонние опоры
- Односторонние шарниры
- Превышение итераций
- Прерывание итераций

Итерации:

Точность:

Количество собственных форм:

Точность:

- Однопоточный расчет
- Оптимизация
- Закрепление узлов

Задание стандартов ...

Вывод результатов

- Усилия
- Реакции
- Невязки

Примечание

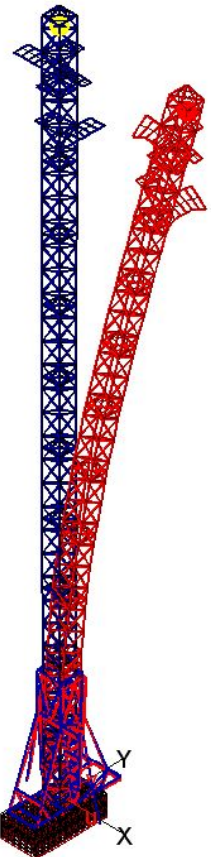
Проект: башня с конструктивными нелинейностями

Исполнитель: юра

# Шаг 7. Оцениваем перемещения и усилия в элементах башни.

Проекты Растр Вставка Полный Виды **uvw-Задать** Фрагмент Редактировать Расчет Комбинации Результаты Настройки ?

☐ 📄 ✂ 📏 📐 📊 📈 📉 📋 📌 📍 📎 📏 📐 📊 📈 📉 📋 📌 📍 📎

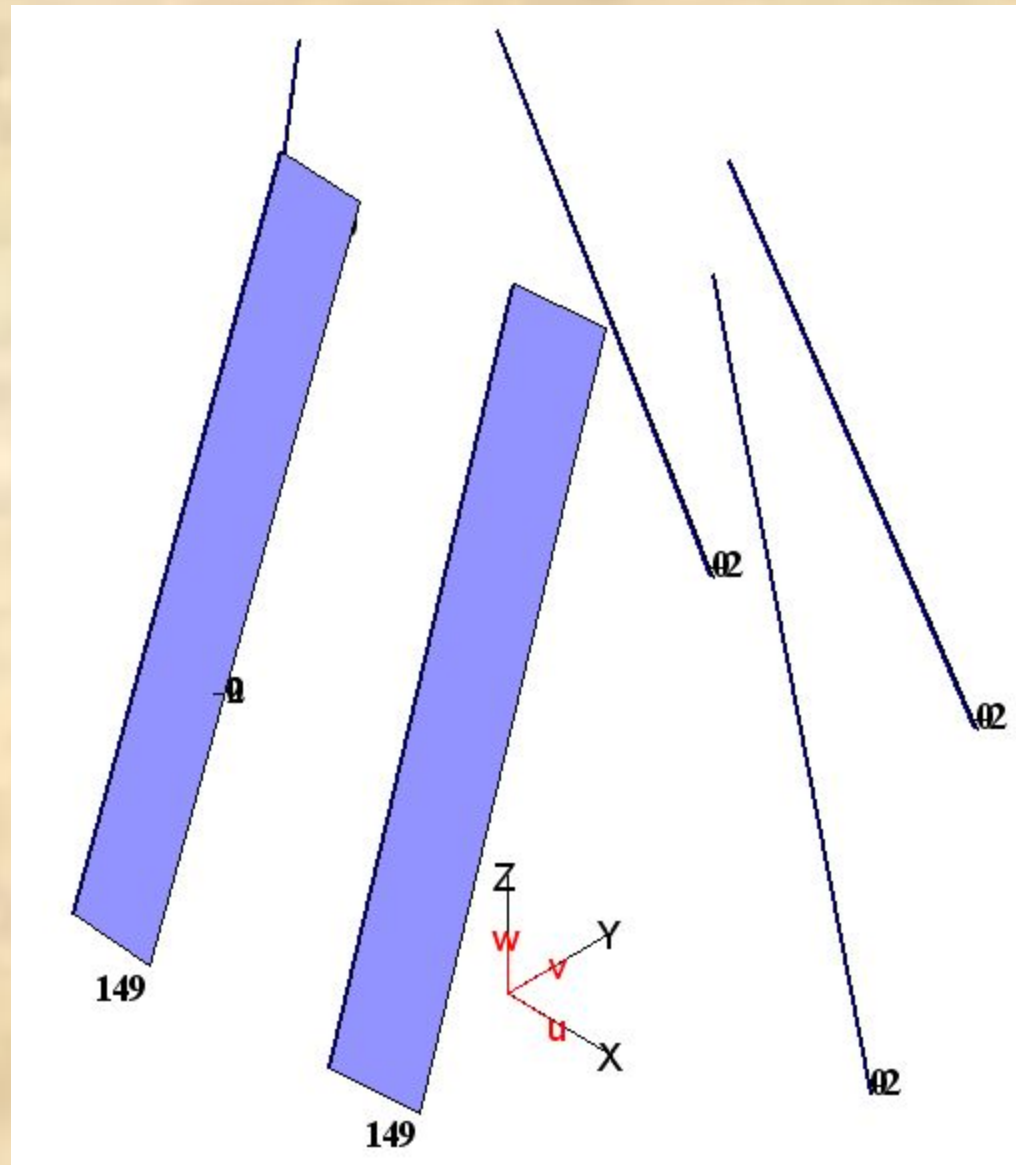


Zoom  
Refr  
Print  
XY YZ XZ 3D  
Einz Auto Box Krz  
Назад  
Таблицы  
Графика  
Тип результатов  
Коэф. Сист. Frame Ver  
Iso FI S W  
Ux Uy Uz Rx Ry Rz  
Rtot Utot  
◀ Комбинация 1 ▶  
<X-Y-Z-Координаты>

Мах перемещение = 394.154 мм в узле 147



Подкосы работают только на растяжение.



## Шаг 8. Определяем формы и частоты собственных колебаний башни (колебаний относительно недеформированного состояния без учета геометрической и конструктивной нелинейности).

Параметры расчета

Тип расчета

- Статический расчет
- Собственные колебания
- Устойчивость
- Формирование матриц

Итерационный расчет

Точность:

Количество собственных форм:

Диапазон искомых собств. значений: от  до

КЗ-модель

Элементы

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

- Осреднение с весами
- Согласованные нагрузки
- Согласованные массы

Диагностика

- Проверка точности решения
- Проверка ортогональности

Вывод результатов

- Графический интерфейс
- Реакции
- Усилия в оболочках
- Напряжения в объемных элементах

Проект: башня с конструктивными нелинейностями

Примечание:

Исполнитель: \$\$\$\$

OK Отменить Помощь

Выбор типа решателя

- Профильный
- Разреженный
- Фронтальный

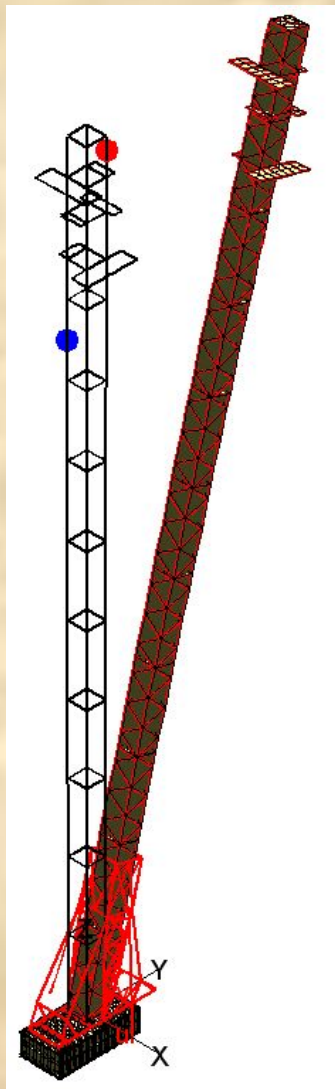
OK Отменить

Задание и корректировка комбинаций

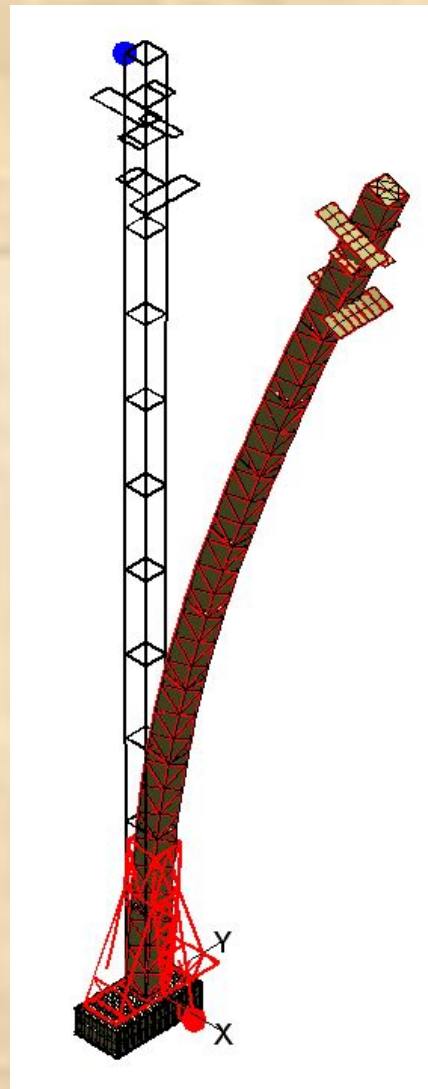
Комбинации	Массы	Доп. на устойчивость			
	НГ-1	НГ-2	НГ-3	НГ-	
К-1	0.1	0.1	0.1	0	

## Шаг 9. Выполняем анализ форм колебаний.

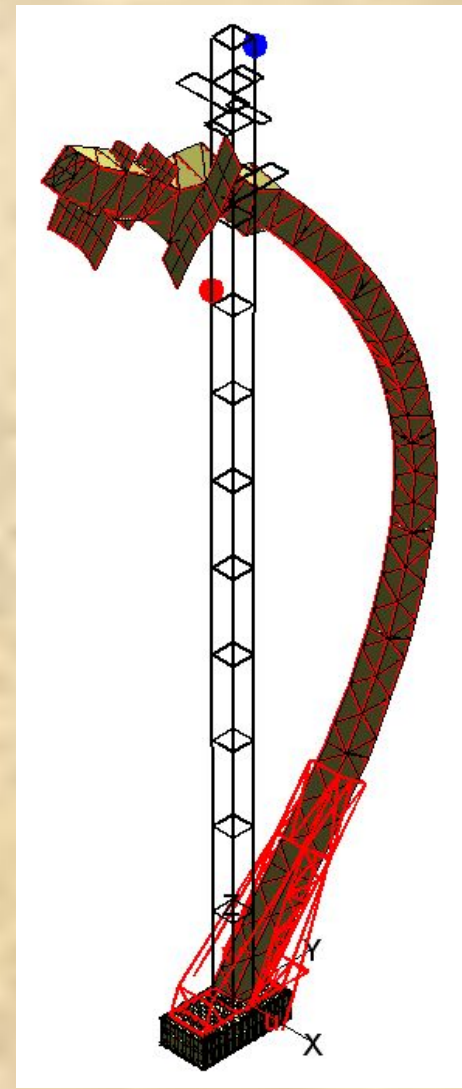
Форма 1



Форма 2



Форма 3

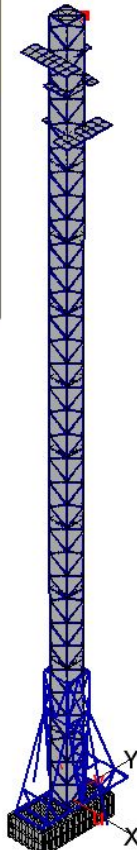


# Шаг 10. Выводим и оцениваем периоды и частоты собственных форм колебания башни.

Проекты Растр Вставка Полный Виды иvw-Задать Фрагмент Редактировать Расчет Комбинации Результаты Настройки ?

☐ 📄 🗑️ ✂️ 📏 📐 📊 📈 📉 📋 📌 📍 📎 📏 📐 📊 📈 📉 📋 📌 📍 📎 📏 📐 📊 📈 📉 📋 📌 📍 📎

Собственные частоты			
Форма	W	f	T
	рад/с	Гц	с
1	1.99	0.32	3.16
2	2.05	0.33	3.07
3	12.20	1.94	0.52
4	13.05	2.08	0.48
5	14.56	2.32	0.43
6	20.72	3.30	0.30



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

Отметьте узлы, которые нужно включить в группу

# Шаг 11. Определяем формы и частоты деформированных колебаний башни (колебаний относительно деформированного состояния с учетом геометрической и конструктивной нелинейности).

**Выбор типа расчета**

Вид расчета

- Статический расчет
- Устойчивость
- Собственные колебания
- Спектральный сдвиг
- "Деформированные" колебания
- "Нелинейная" устойчивость
- "Нелинейный" спектральный сдвиг

Итерационный расчет

- Теория II порядка
- Трос
- Односторонние опоры
- Односторонние шарниры
- Превышение итераций
- Прерывание итераций

Итерации: 200

Точность: 1e-006

Количество собственных форм: 6

Точность: 0.0001

- Однопоточный расчет
- Оптимизация
- Закрепление узлов

Задание стандартов ...

Вывод результатов

- Усилия
- Реакции
- Невязки

Примечание

Проект: башня с конструктивными нелинейностями

Исполнитель: юра

OK Отменить Помощь

**Выбор типа решателя**

- Профильный
- Разреженный
- Фронтальный

OK

Отменить

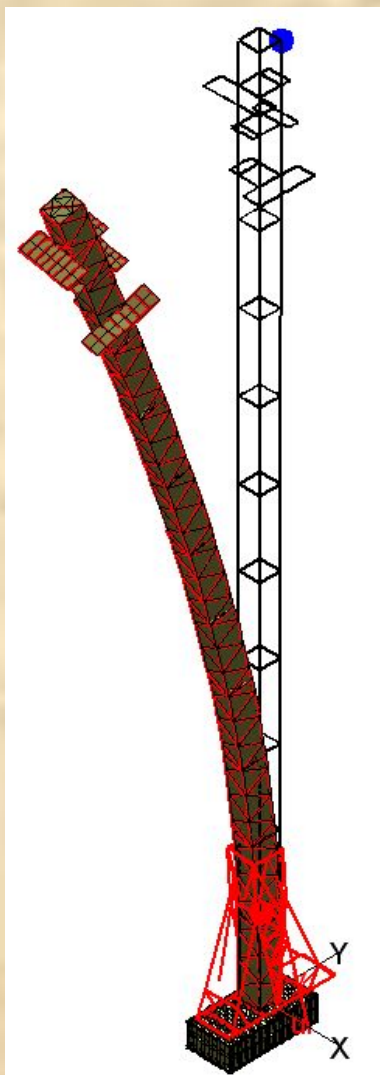
**Задание и корректировка комбинаций**

Комбинации | Массы | Доп. на устойчивость

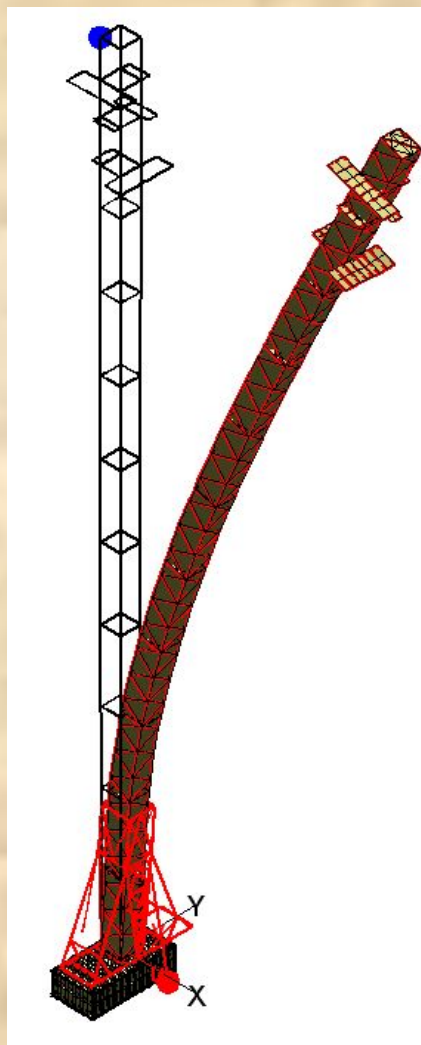
	НГ-1	НГ-2	НГ-3	НГ-4	НГ-5
К-1	1	1	1	1	0

## Шаг 12. Выполняем анализ деформированных колебаний.

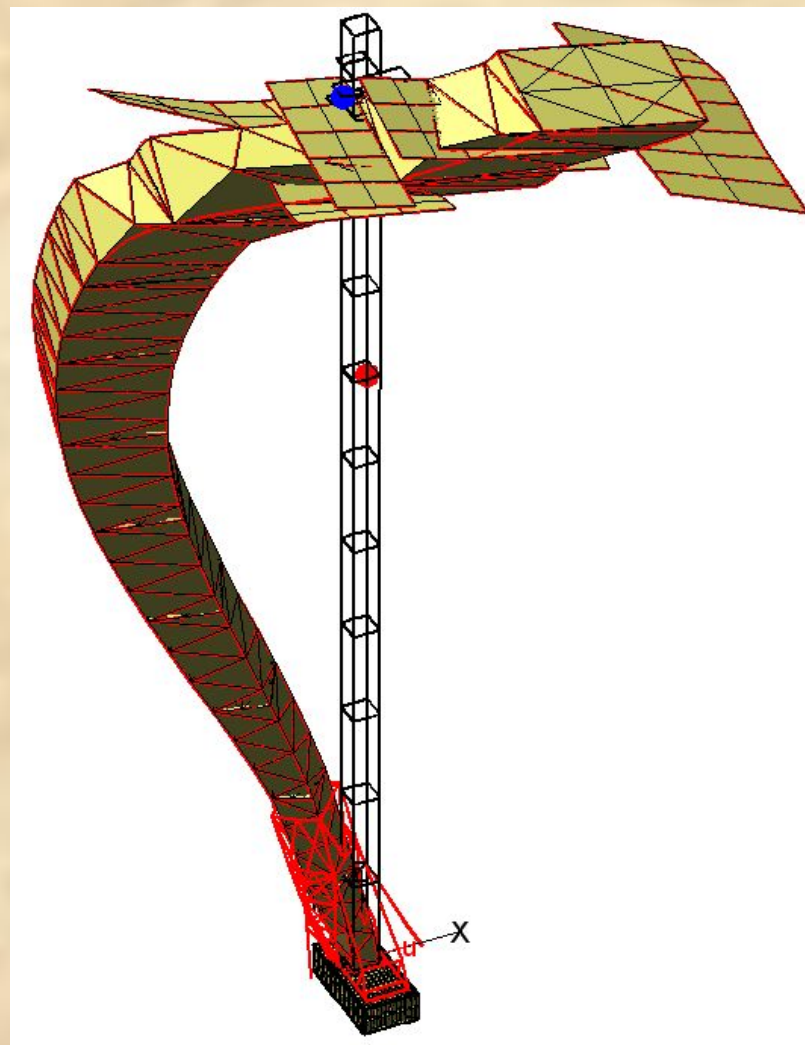
Форма 1



Форма 2



Форма 3



# Шаг 13. Выводим и оцениваем периоды и частоты деформированных колебаний башни.

Проекты Растр Вставка Полный Види иvw-Задать Фрагмент Редактировать Расчет Комбинации Результаты Настройки ?

Zoom Refr Print XY YZ XZ 3D Einz Auto Box Krz

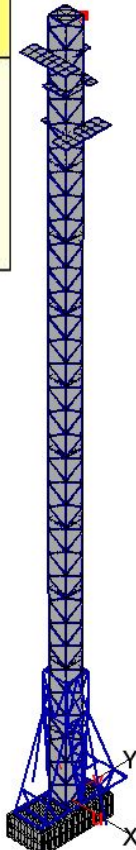
Назад  
Таблицы  
Графика  
Тип результатов

Отметить  
Отменить  
Вывести

Отметьте узлы, которые нужно включить в группу

<X-Y-Z-Координаты>

Собственные частоты				
Комб.	Форма	$\omega$ рад/с	f Гц	T с
1	1	1.92	0.31	3.28
	2	2.00	0.32	3.14
	3	11.86	1.89	0.53
	4	13.38	2.13	0.47
	5	14.24	2.27	0.44
	6	20.71	3.30	0.30



Шаг 14. Сопоставляем периоды и частоты собственных и деформированных колебаний.

№№ формы	Период, с		
	Линейный расчет	Нелинейный расчет	%
1	9,82	3,28	199
2	3,2	3,14	2
3	0,72	0,53	36
4	0,52	0,47	11
5	0,48	0,44	9
6	0,3	0,3	0