

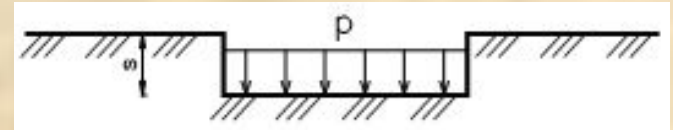
**Модели грунтовых оснований.  
Формирование  
двухпараметрического упругого  
основания с переменными  
коэффициентами жесткости и  
пространственной модели  
основания из объемных конечных  
элементов**

# Модели грунтового основания

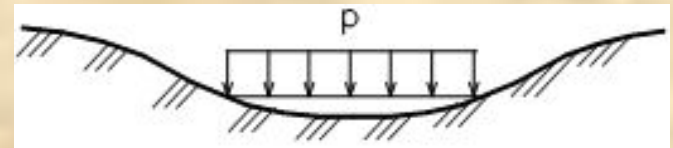
**А. Недеформируемое (абсолютно жесткое) основание.**

**Б. Упругое основание:**

**Б.1. Без учета распределительной способности грунта (однопараметрическая модель Винклера).**

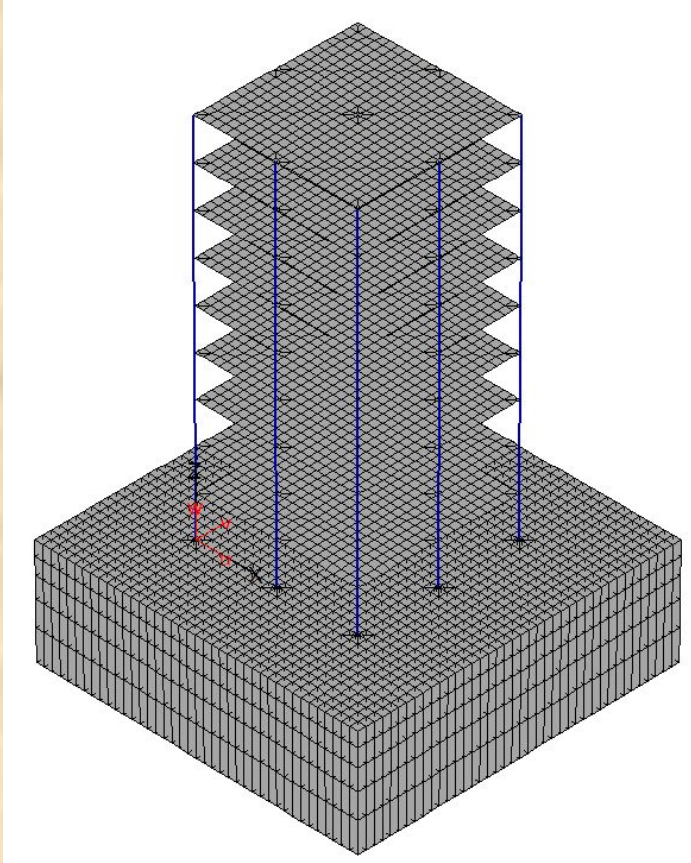


**Б.2. С учетом распределительной способности грунта (двухпараметрические модели Пастернака, Барвашова и др.).**



**В. Объемная модель грунта.**

# Упражнение по моделям грунтовых оснований

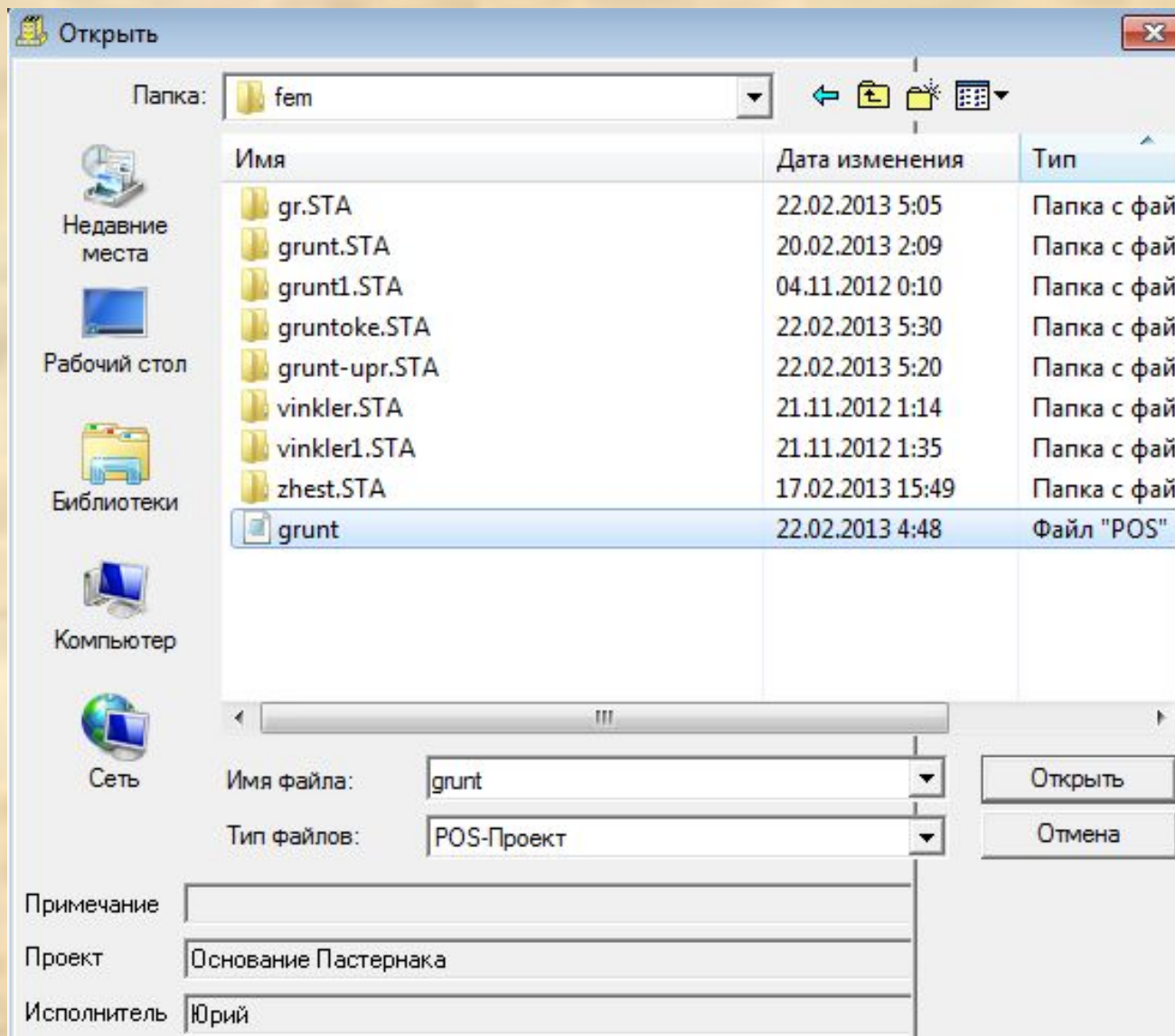


**Имеется** позиционный проект железобетонного каркаса здания с основными расчетными нагрузками (`grunt.pos`).

**Требуется:**

- 1) Описать данные геологических исследований в позиционном проекте;
- 2) Получить расчетную модель в КЭ-проекте;
- 3) Произвести несколько итераций перерасчета упругого основания переменной в плане жесткости;
- 4) Построить модель грунтовых оснований из объемных конечных элементов.

## Шаг 1. Загружаем расчетную модель [grunt.pos](#).



## Шаг 2. Описываем грунтовое основание.

Позиции

Тип позиции: Плиты  
Наименование: D-1  
Геометрия...

Материал | Нагрузки | Шаблон | Опорная плоскость

Толщина

Постоянная

X [m]	Y [m]	D [m]
0	0	0
0	0	0
0	0	0

Толщина: 1

Переменная

Характеристики

Изотропный  Ортотропный

Модуль упругости E: 30000000 кН/м<sup>2</sup>

Коэффициент Пуассона: 0.2

Плотность плиты Rho: 2.75 т/м<sup>3</sup>

Со сдвиговой деформацией

Плита на грунтовом основании

Высокий свайный ростверк

Низкий свайный ростверк

Передать | Удалить | OK | Отменить

Фрагмент | Позиции | Геометрия | Нагрузки | Редактировать

- Плита/стена/рампа
- Точечные опоры
- Линейные опоры
- Отверстия
- Упругие основания
- Шарниры
- Колонны
- Сваи
- Балки
- Толщины
- Свойства
- Грунтовое основание**
- Нагрузки позиций
- Нагрузки

Грунтовое основание

Расчетная модель основания: Упругое основание

5 Число слоёв объемных КЭ

5 Число делений свай по высоте

$N_s$  8 Глубина сжимающей толщи, м

0.25 Шаг интегрирования, м

152 Абсолютная отметка начала ГСК, м

1  $S_{1,min}$  [кН/м<sup>3</sup>]

База грунтов основания (ИГЭ)

Номер ИГЭ	Наименование ИГЭ	Модуль деформ. [МПа]	Коэфф. Пуассона [-]	Удельн. вес [кН/м <sup>3</sup> ]	Отношен. $E_e/E$ [-]
1	Суглинок тугопластич.	13.00	0.35	20.60	5.00
2	Песок ср. плотн.	25.00	0.30	18.40	5.00
3	Глина	10.00	0.42	19.60	5.00
4	Песок плотный	40.00	0.30	20.20	5.00
5	Песок пылев. ср. плотн.	21.00	0.24	20.00	5.00
6	Песок пылев. плотн.	28.00	0.28	20.20	5.00

Удалить | Очистить

OK | Отменить | Помощь | Скважины...

$N_s$  определяется согласно п. 5.6.41 СП 22.13330.2011 или по СП Ин

# Задаем скважины на основе геологических изысканий на площадке строительства.

Скважины

Данные для одной скважины

Координаты скважины X:  м Y:  м

Состав ИГЭ в скважине

Номер		Наименование ИГЭ	Модуль деформ. [МПа]	Козфф. Пуассона [-]	Удельный вес [кН/м3]	Отметка залегания [м]
Слоя	ИГЭ					
<input type="checkbox"/>	1	2 Песок ср. плотн.	25.00	0.30	18.40	155.100
<input type="checkbox"/>	2	1 Суглинок тугопластич.	13.00	0.35	20.60	153.900
<input type="checkbox"/>	3	3 Глина	10.00	0.42	19.60	151.700
<input type="checkbox"/>	4	6 Песок пылев. плотн.	28.00	0.28	20.20	145.200
<input type="checkbox"/>	5	5 Песок пылев. ср. плотн.	21.00	0.24	20.00	137.850
<input type="checkbox"/>	6	4 Песок плотный	40.00	0.30	20.20	124.320

Скважины

- 1
- 2
- 3
- 4

Добавить

Удалить

OK

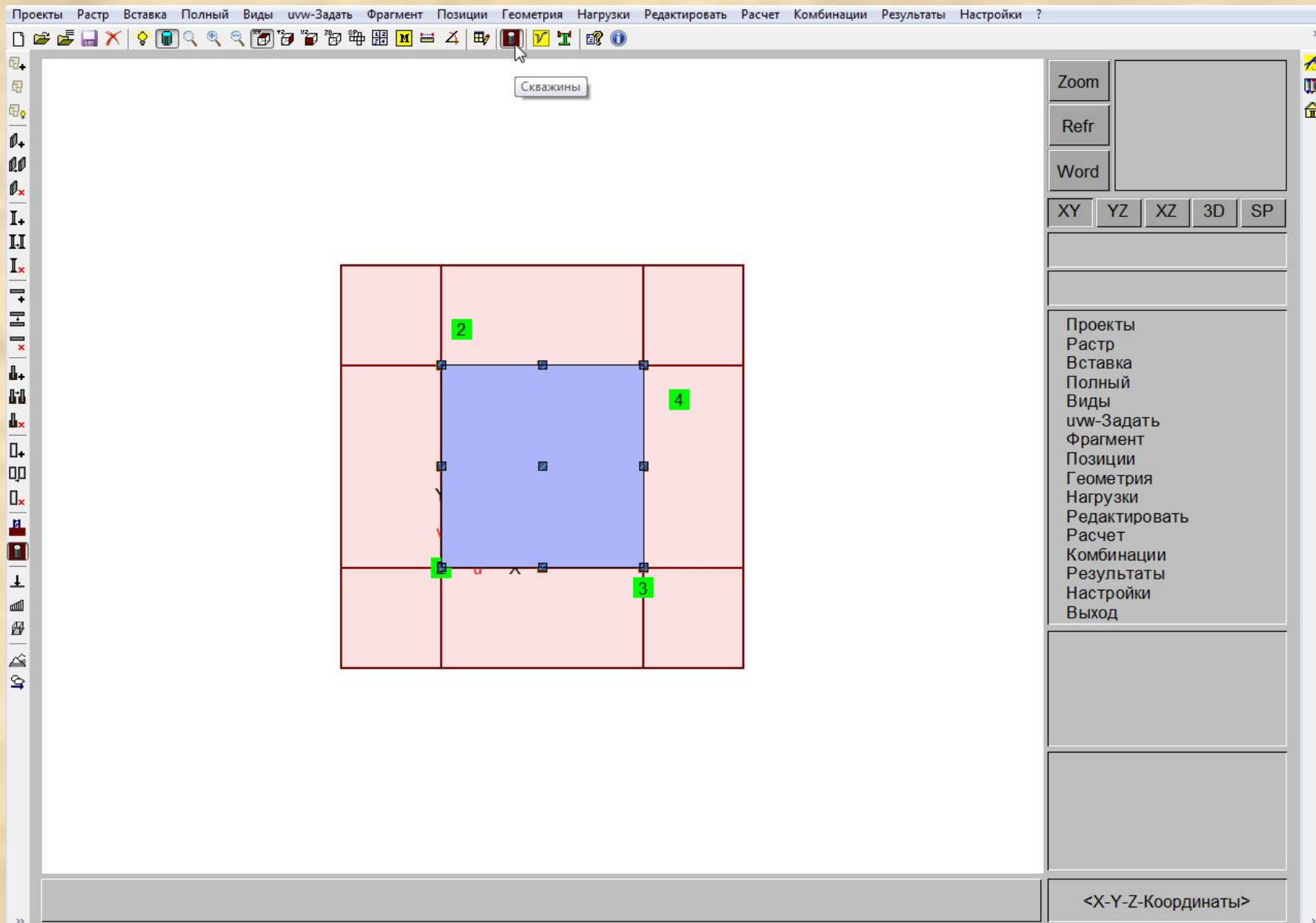
Отменить

Помощь

Добавить слой

Удалить слой(и)

# В STARK ES 2015-2016 предусмотрено изображение положения устьев заданных скважин в POS- и FEA-проектах



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

Проекты Растр Вставка Вставки Исключить Частичный Виды uvw-Задать Фрагмент Редактировать Слияние ?

LEER

grunt.pos

grunt.pos

grunt.pos

Проекты будут слиты ...

<X-Y-Z-Координаты>

### Генерация сетки

- Суммирование номеров нагрузок
- Генерация опор для стен/колонн
- Генерация упругого основания
- Генерация линейных опор
- При генерации балок учитывать наибольшую (наименьшую) толщину примыкающей плиты
- Генерация эксцентриситетов для стен

Способ учёта работы колонны и плиты

- Совместную работу не учитывать
- Кинематическая гипотеза
- Статическая гипотеза

Максимальный угол ( в градусах )

Конечного элемента

Конечного элемента у колонны

Если максимальный угол < 90 градусов ,то генерируется сетка из треугольников

След колонн

- Создавать
- Не создавать
- Как в свойствах колонн

Формирование плоскостей осреднения ( KNFL )

- По позициям
- По жесткостям( по номерам материалов )
- След колонн в отдельную KNFL

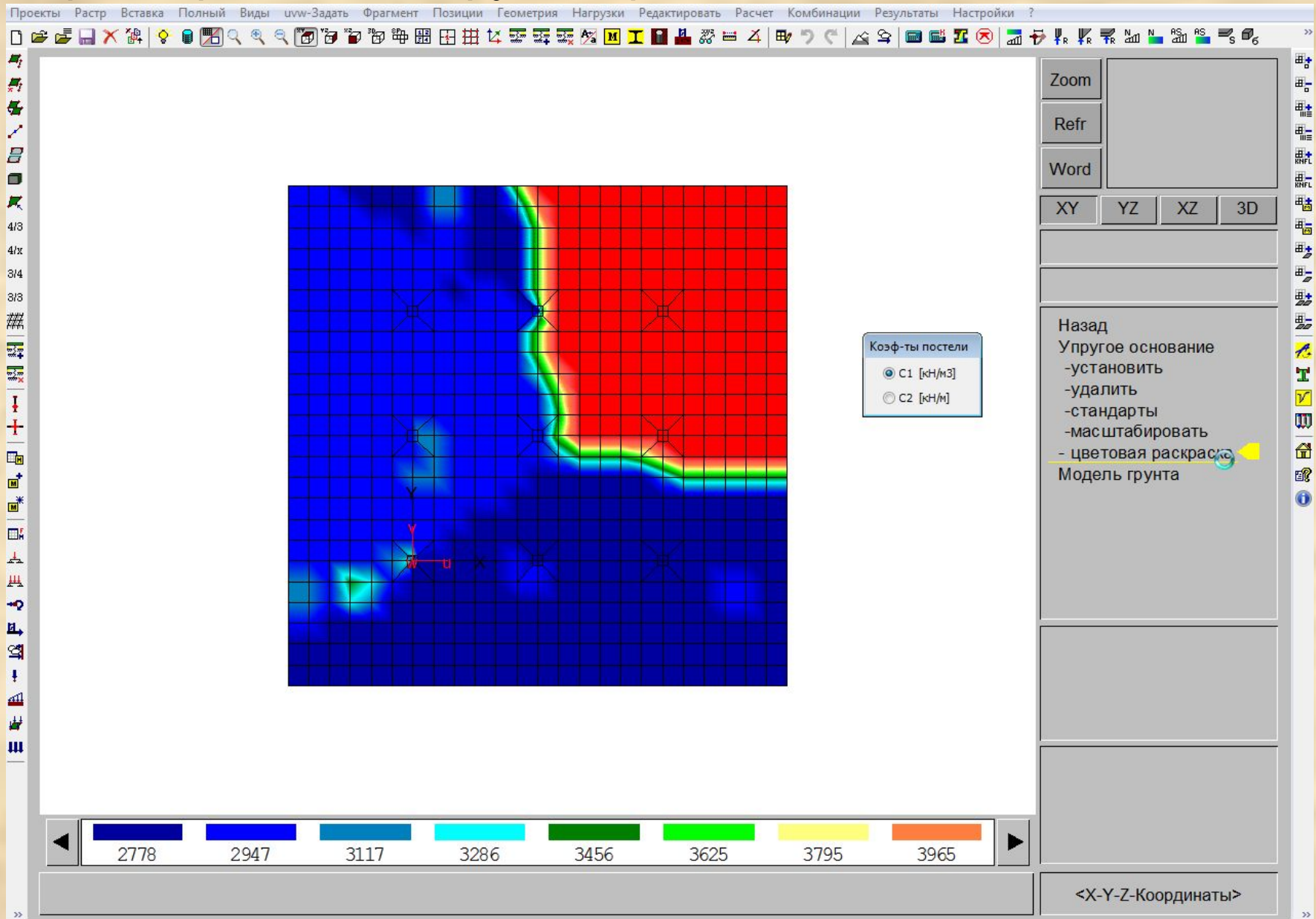
OK Отменить Помощь

Zoom Refr Word XY YZ XZ 3D

Назад  
Отметить все ЧП  
Отметить  
Снять отметку  
Параметры КЭ-сетки  
Показать шаблон  
Генерация КЭ-сетки  
Генерация из 4-узел.КЭ



В полученной модели элементам основания присвоен предварительный грунт переменной в плане жесткости.



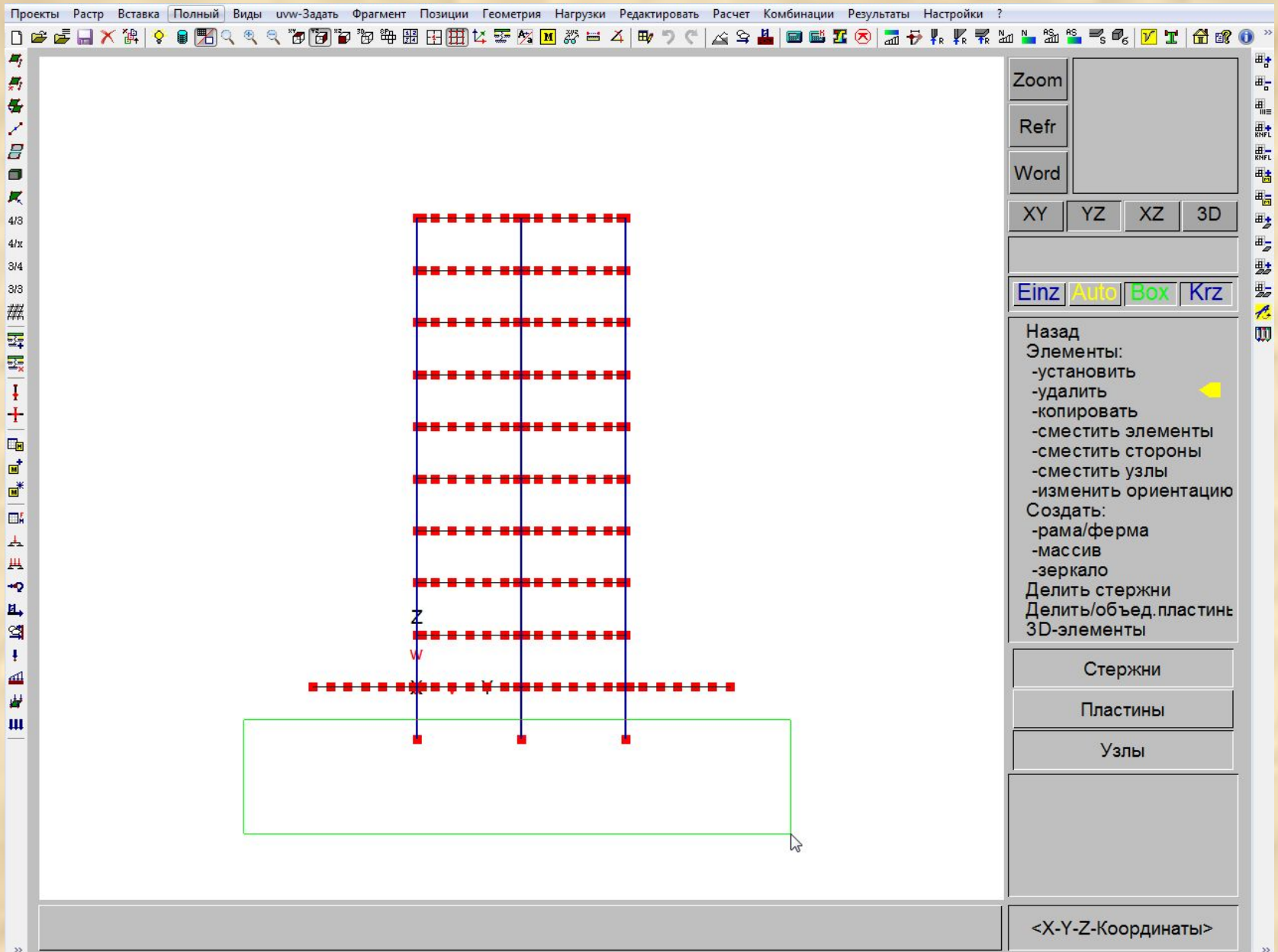
Элементам основания автоматически назначены требуемые опорные закрепления (в т.ч. Rz на контурные элементы).

The screenshot displays a software interface for finite element analysis. The main window shows a diamond-shaped mesh of elements, with green vertical supports at the nodes. A coordinate system (X, Y, Z) is visible on the mesh. The right-hand side features a control panel with the following elements:

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

At the bottom of the interface, a status bar contains the text: Выберите узлы для установки опорных закреплений.

# Шаг 4. Удаляем стержневые элементы (колонны) под фундаментной плитой.



# Шаг 5. Удаляем абсолютно-твёрдые тела (RIGI) с элементов основания сооружения.

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

Zoom  
Refr  
Word  
XY YZ XZ 3D  
Einz Auto Box Krz  
Назад  
Абсол. твёрдые тела  
-установить узлы  
-удалить узлы  
-редактировать групп  
-удалить все группы  
Тип 1 Тип 2 Тип 3  
ЛСК ГСК  
Новая группа  
Группа 1  
ЛСК № 1  
Тип = 3  
Alpha = 0  
Beta = 0  
Gamma = 0  
<X-Y-Z-Координаты>

Удалите узлы из группы с одинаковыми типами абсолютно твёрдого тела

## Шаг 6. 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 искомых 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

Многопоточный расчёт


Проект

Примечание

Исполнитель

OK Отменить Помощь

Настройки ?

- Общие
- Тип решателя 
- Нормы РФ
- Панели инструментов

Выбор типа решателя ✕

- Разреженный OK
- Фронтальный Отменить

# Шаг 7. Оцениваем осадку фундаментной плиты.

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

Перемещения узлов

Refr

Word

XY YZ XZ 3D

Einz Auto Box Krz

Назад  
Таблицы  
Графика  
Тип результатов

Коэф.	Сист.	Frame	Ver		
Iso	Fl	S	W		
Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
Rtot		Utot			
◀ Комбинация 1 ▶					

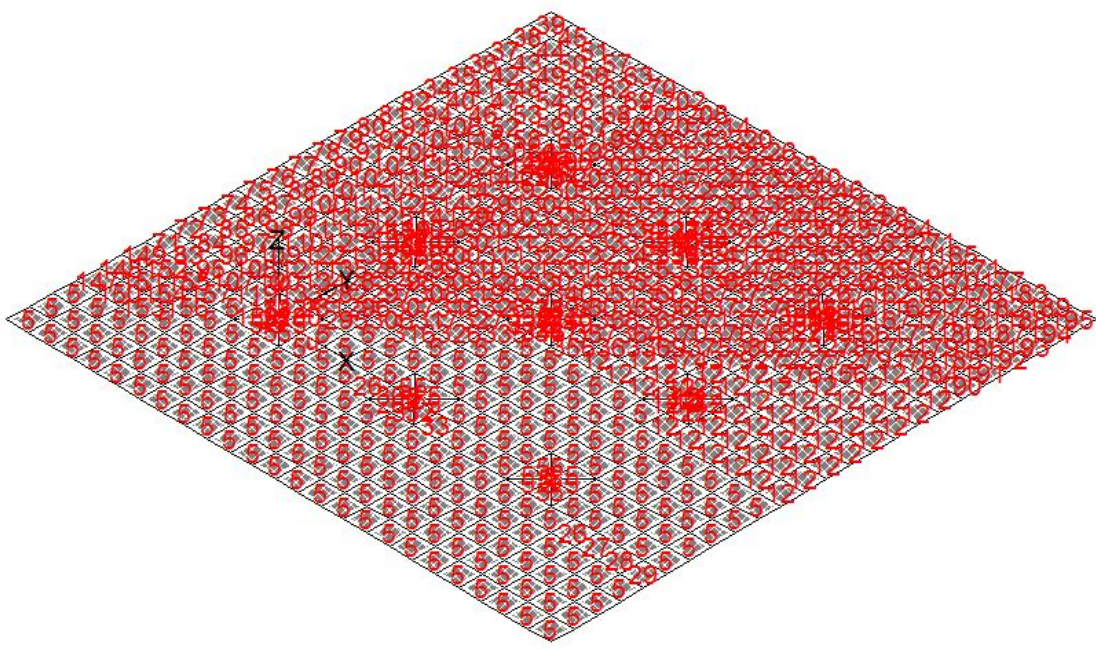
Max перемещение = 43.0149 мм в узле 2

<X-Y-Z-Координаты>

# Шаг 8. Вызываем Модель грунта.

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

Модель грунта



Zoom  
Refr  
Word  
XY YZ XZ 3D

Назад  
Упругое основание  
-установить  
-удалить  
-стандарты  
Модель грунта

Стержни	Пластины		
Полоса	Клин		
E, nue	c1, c2	E, nue, h1	
E, nue, H2	0	+1	-1

Новое основание

Основание № 1  
c1 = 3.23e+003  
c2 = 1.02e+004  
ISide = 0

<X-Y-Z-Координаты>

## Шаг 9. Добавляем недостающие расчетные параметры для построения упругого основания переменной жесткости.

Модель грунта

Глубина сжимаемой толщи

$H_c$  8 м  Ввод

$H_{c,min}$  5.2 м

$k$  0.5

Расчетная модель основания

Пастернака

$C1,min$  1 кН/м<sup>3</sup>

Опции для расчета

0.25 Шаг интегрирования, м

1 К-т снижения жесткости грунта

Увеличение модуля деформации грунта с глубиной

Двухстадийная работа грунта по СП 22.13330.2011

Не учитывать вес грунта выше подошвы фундамента

Вывод

Сокращенный вывод

Viewer  Word

База грунтов основания( ИГЭ)

Номер ИГЭ	Наименование ИГЭ	Модуль деформ. [МПа]	Кэфф. Пуассон. [-]	Удельн. вес [кН/м <sup>3</sup> ]	Отношен $E_s/E$ [-]
1	Суглинок тугопластич.	13.00	0.35	20.60	5.00
2	Песок ср. плотн.	25.00	0.30	18.40	5.00
3	Глина	10.00	0.42	19.60	5.00
4	Песок плотный	40.00	0.30	20.20	5.00
5	Песок пылев. ср. плотн.	21.00	0.24	20.00	5.00
6	Песок пылев. плотн.	28.00	0.28	20.20	5.00
7					

Удалить Очистить

Использовать абсолютные отметки Отметка подошвы фундамента 152

После окончания выполнить статический расчет

Расчет OK Отменить Помощь Скважины...

Расчет  $H_{c,min}$  по п. 5.6.41 СП 22.13330.2...

Ширина подошвы фундамента  $b$  [м] 12

$H_{c,min}$  [м] 5.2

OK Отменить

$H_{c,min} = 4 + 0.1b$  определяется согласно п. 5.6.41 СП 22.13330.2011



# Добавляем недостающие данные в описании скважин на основе геологических изысканий на площадке строительства.

Скважины

Данные для одной скважины

Координаты скважины X:  м Y:  м

Отметка уровня подземных вод  м

Предельная нагрузка на основание  кПа

Вес выбранного грунта  кПа

Состав ИГЭ в скважине

Номер		Наименование ИГЭ	Модуль деформ. [МПа]	Козфф. Пуассона [-]	Удельный вес [кН/м3]	Отметка залегания [м]	
Слоя	ИГЭ						
<input type="checkbox"/>	1	2	Песок ср. плотн.	25.00	0.30	18.40	155.100
<input type="checkbox"/>	2	1	Суглинок тугопластич.	13.00	0.35	20.60	153.900
<input type="checkbox"/>	3	3	Глина	10.00	0.42	19.60	151.700
<input type="checkbox"/>	4	6	Песок пылев. плотн.	28.00	0.28	20.20	145.200
<input type="checkbox"/>	5	5	Песок пылев. ср. плотн.	21.00	0.24	20.00	137.850
<input type="checkbox"/>	6	4	Песок плотный	40.00	0.30	20.20	124.320

Скважины

- 1
- 2
- 3
- 4

Добавить

Удалить

OK

Отменить

Помощь

Добавить слой

Удалить слой(и)

Предельная нагрузка на основание задана большой величины во избежание снижения модуля деформации

После запуска на расчет характеристик основания программа предложит сохранить модель под новым именем и выведет протокол расчета.

Количество элементов = 648

Глубина сжимаемой толщи  $H_{с, \min} = 5.20\text{м}$

Коэффициент (для определения  $H_{с}$ )  $K = 0.50$

Минимальное значение  $C1$   $C1, \min = 1.00$

Расчетная модель основания: модель Пастернака

Опции для расчета:

- двухстадийная работа грунта по СП 22.13330.2011
- не учитывается вес грунта выше подошвы фундамента  
(при определении глубины сжимаемой толщи)

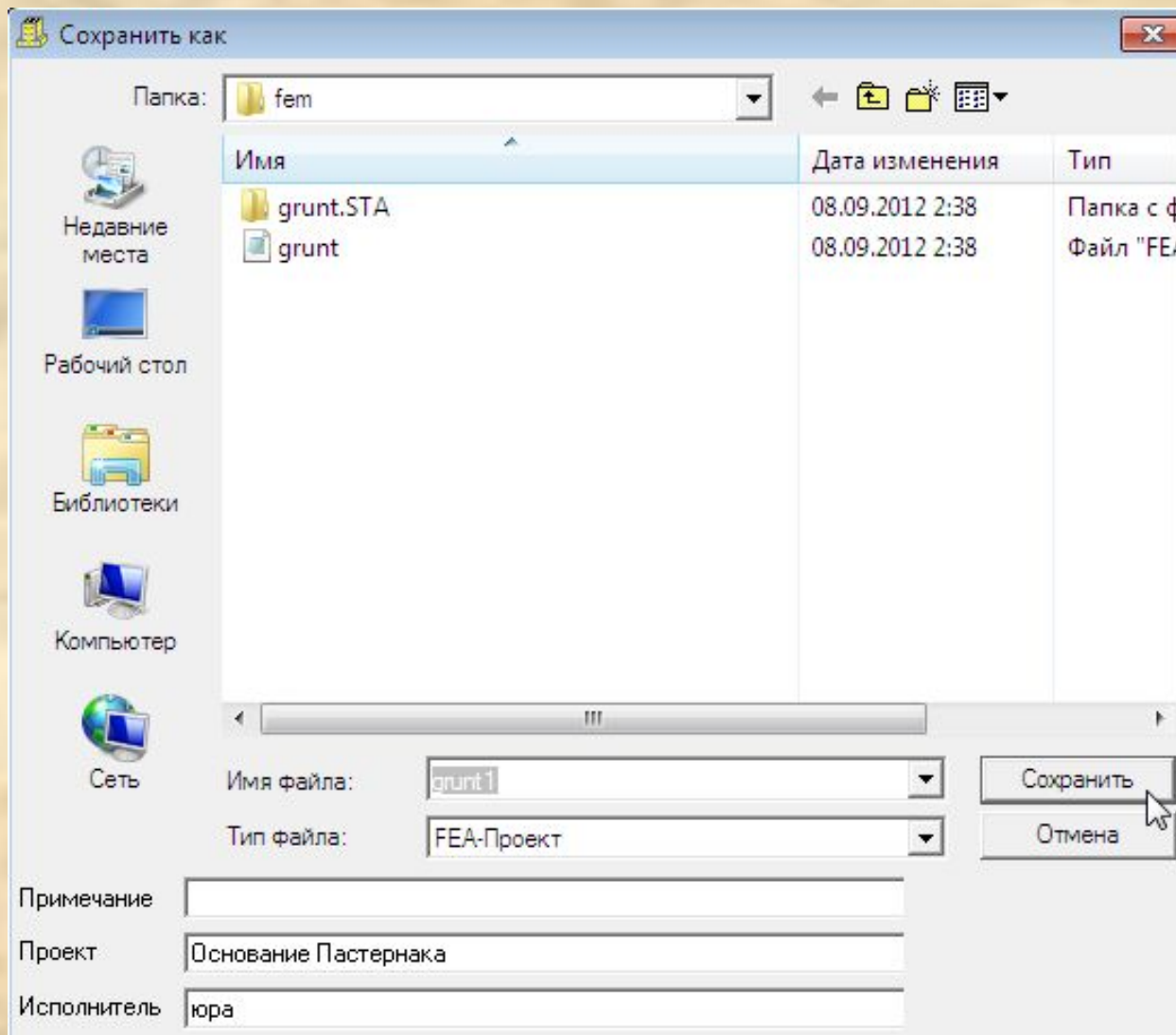
Выборка результатов

Параметр	Давление на грунт, кПа	Глубина сжимаемой толщи, м	Осадка, см	$C1$ , кН/м <sup>3</sup>	$C2$ , кН/м
Макс. значение	1331.53	17.29	6.716	24225.84	235095.93
Номер элемента	1	1492	1	1732	1760
Мин. значение	0.00	5.20	0.069	2879.21	8207.52
Номер элемента	1461	47	1753	2079	48
Сред. значение	47.57	8.48	1.023	8163.23	65343.46

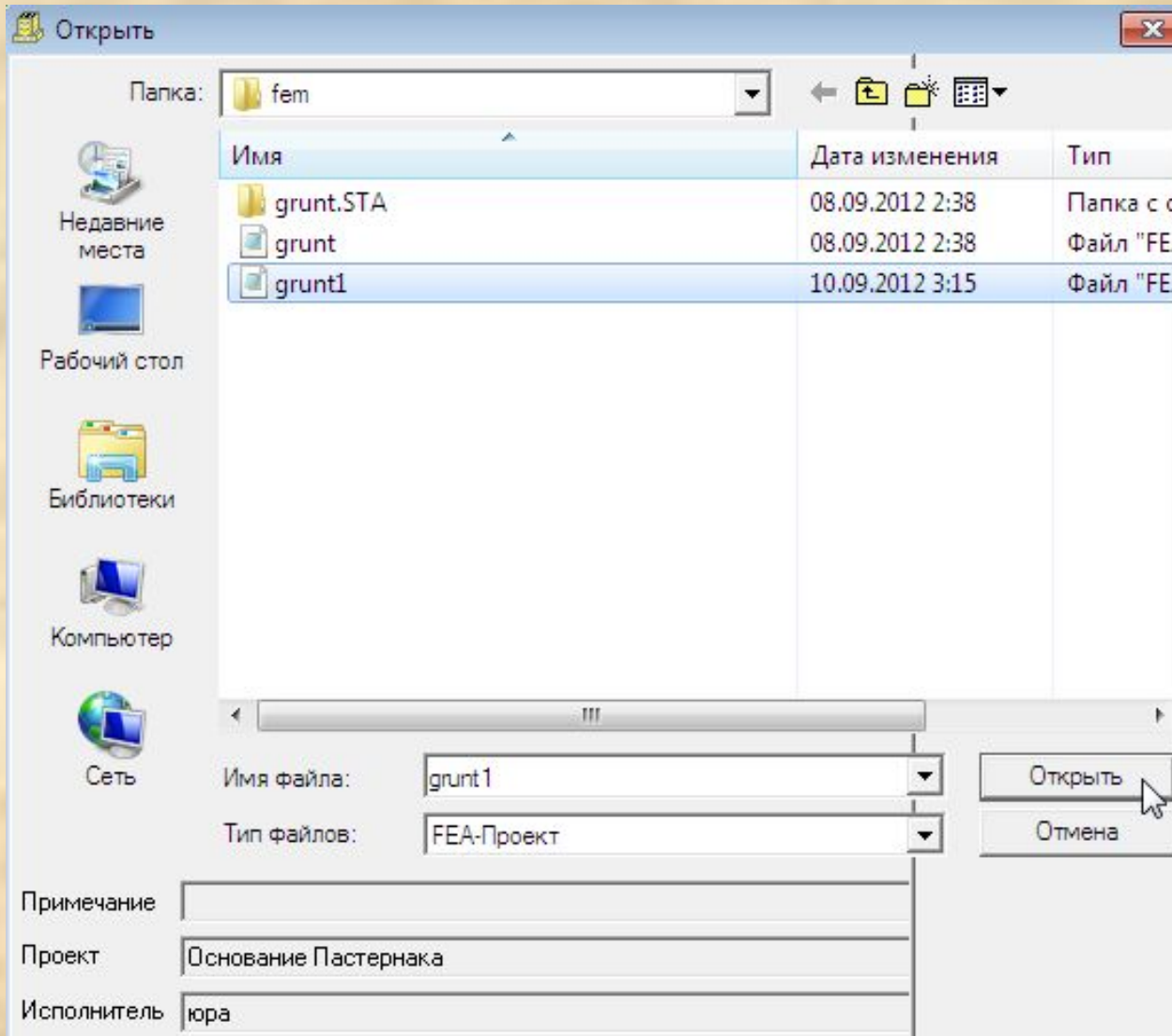
Нагрузка на фундамент, кН: 27398.63

Относительная разность осадок: 0.0029

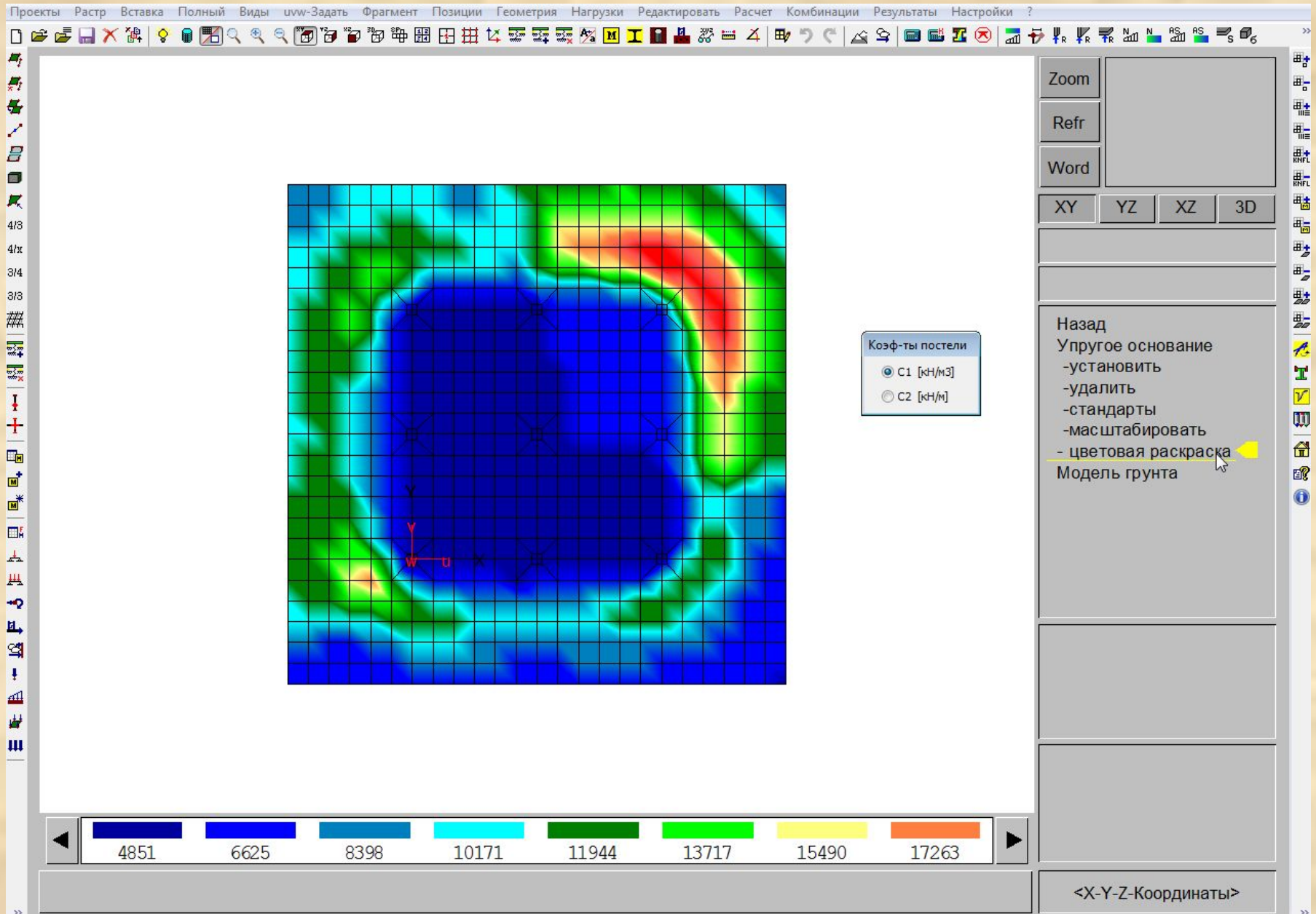
# Шаг 10. Сохраняем расчетную модель под новым именем **grunt1.fea**.



# Шаг 11. Выгружаем расчетную модель **grunt.fea** и загружаем полученную модель **grunt1.fea**



В полученной модели элемента основания присвоен откорректированный грунт переменной в плане жесткости.



## Шаг 12. 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 искомых 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

Многопоточный расчёт


Проект

Примечание

Исполнитель

OK Отменить Помощь

Настройки ?

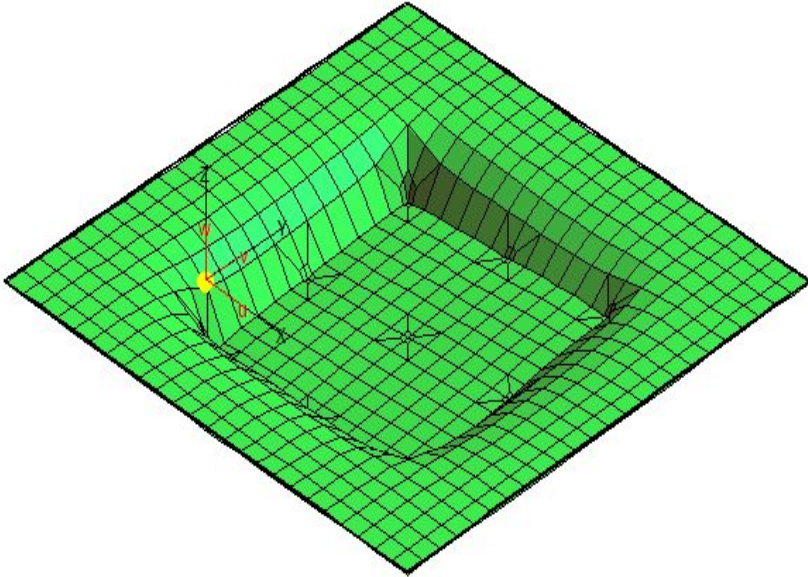
- Общие
- Тип решателя 
- Нормы РФ
- Панели инструментов

Выбор типа решателя ✕

- Разреженный OK
- Фронтальный Отменить

# Шаг 13. Оцениваем осадку фундаментной плиты.

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



Zoom  
Refr  
Word  
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 Uhor  
Комбинация 1  
Max перемещение = 32.8072 мм в узле 2  
<X-Y-Z-Координаты>

Шаг 14. Последовательно повторяются шаги 8-13 до тех пор, пока результаты статического расчета (например, по осадке основания) на последней и предыдущей итерациях перестанут существенно различаться. Как правило, при отсутствии значительных нелинейных эффектов, требуется выполнить 2-5 итераций. Описание параметров основания программа автоматически передает из модели в модель.



# Шаг 15. Вызываем Модель грунта для построения основания из объемных элементов.

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

Zoom  
Refr  
Word  
XY YZ XZ 3D

Назад  
Упругое основание  
-установить  
-удалить  
-стандарты  
-маш табировать  
Модель грунта

Стержни  
Пластины  
Полоса Клин  
E, nue c1, c2 E, nue, h1  
E, nue, H2 0 +1 -1  
Новое основание

Основание № 1  
c1 = 3.37e+003  
c2 = 9.38e+003  
ISide = 0

<X-Y-Z-Координаты>

# Шаг 16. Меняем расчетную модель основания на Объемные КЭ и указываем число слоев.

Модель грунта

Глубина сжимаемой толщи

Нс  м  Ввод

Нс,min...  м

k

Расчетная модель основания

Число слоёв

Опции для расчета

Шаг интегрирования, м

К-т снижения жесткости грунта

Увеличение модуля деформации грунта с глубиной

Двухстадийная работа грунта по СП 22.13330.2011

Не учитывать вес грунта выше подошвы фундамента

Вывод

Сокращенный вывод

Viewer  Word

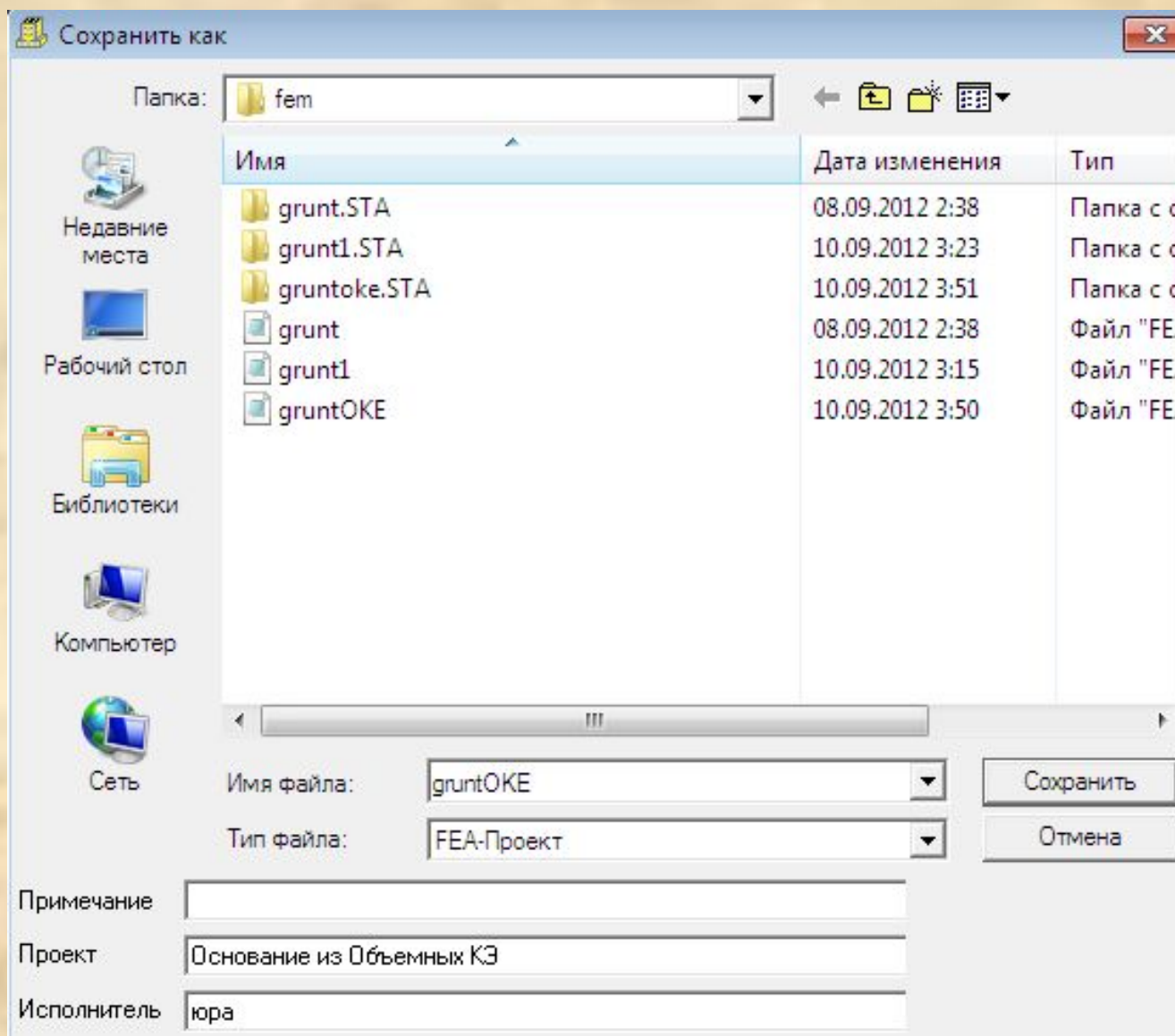
База грунтов основания( ИГЭ)

Номер ИГЭ	Наименование ИГЭ	Модуль деформации [МПа]	Кэфф. Пуассона [-]	Удельн. вес [кН/м3]	Отношен Ee/E [-]
1	Суглинок тугопластич.	13.00	0.35	20.60	5.00
2	Песок ср. плотн.	25.00	0.30	18.40	5.00
3	Глина	10.00	0.42	19.60	5.00
4	Песок плотный	40.00	0.30	20.20	5.00
5	Песок пылев. ср. плотн.	21.00	0.24	20.00	5.00
6	Песок пылев. плотн.	28.00	0.28	20.20	5.00
7					

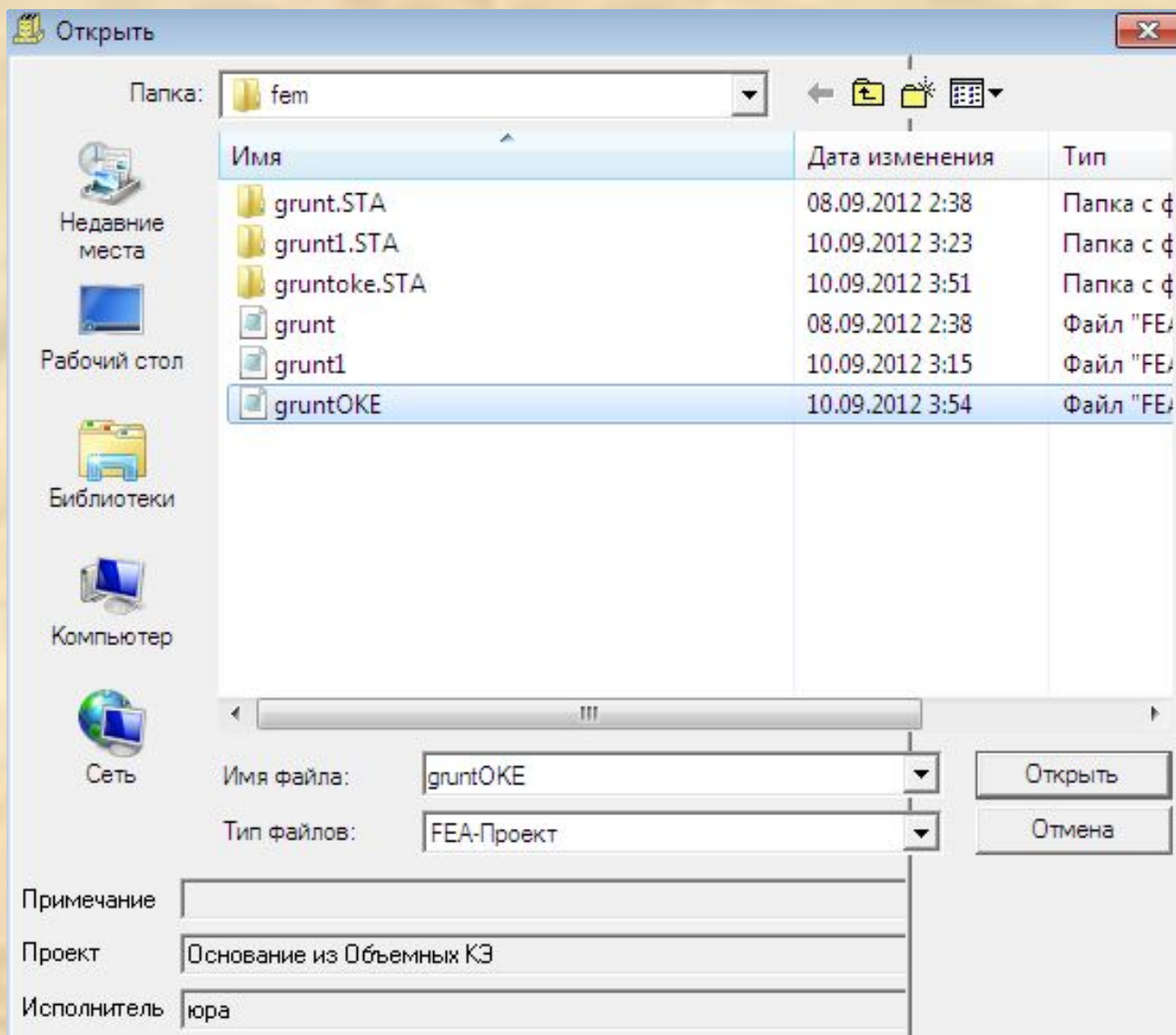
Использовать абсолютные отметки  Отметка подошвы фундамента

После окончания выполнить статический расчет

# Шаг 17. Сохраняем расчетную модель под новым именем `gruntOKE.fea`.



## Шаг 18. Выгружаем расчетную модель на упругом основании и загружаем полученную модель **gruntOKE.fea**



# Шаг 19. 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 искомых 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

Многопоточный расчёт


Проект

Примечание

Исполнитель

OK Отменить Помощь

Настройки ?

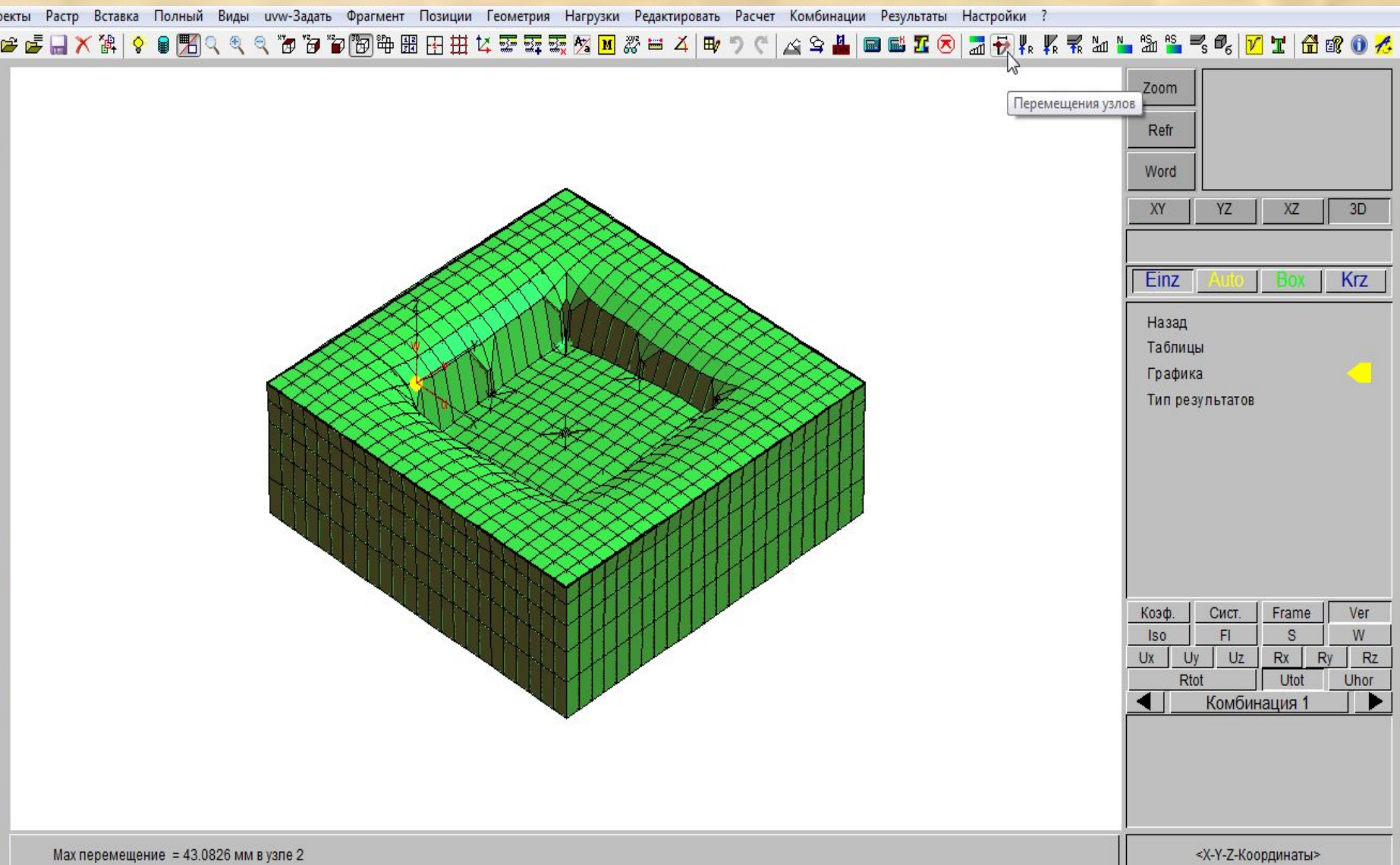
- Общие
- Тип решателя 
- Нормы РФ
- Панели инструментов

Выбор типа решателя ✕

- Разреженный OK
- Фронтальный Отменить

# Шаг 20. Оцениваем осадку фундаментной плиты и производим конструктивные расчеты элементов сооружения.

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



Zoom  
Refr  
Word  
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 Uhor  
Комбинация 1  
<X-Y-Z-Координаты>

Перемещения узлов

Max перемещение = 43.0826 мм в узле 2