

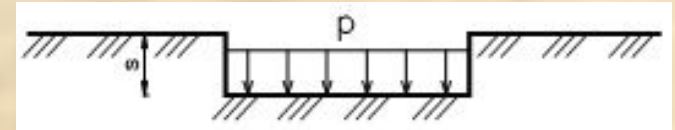
**Модели грунтовых оснований.  
Формирование  
двухпараметрического упругого  
основания с переменными  
коэффициентами жесткости и  
пространственной модели  
основания из объемных конечных  
элементов**

# Модели грунтового основания

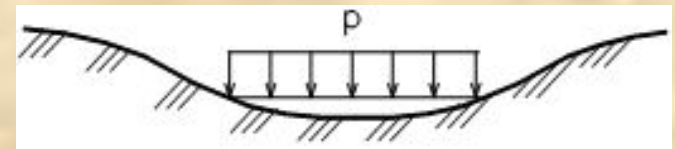
**А. Недеформируемое (абсолютно жесткое) основание.**

**Б. Упругое основание:**

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

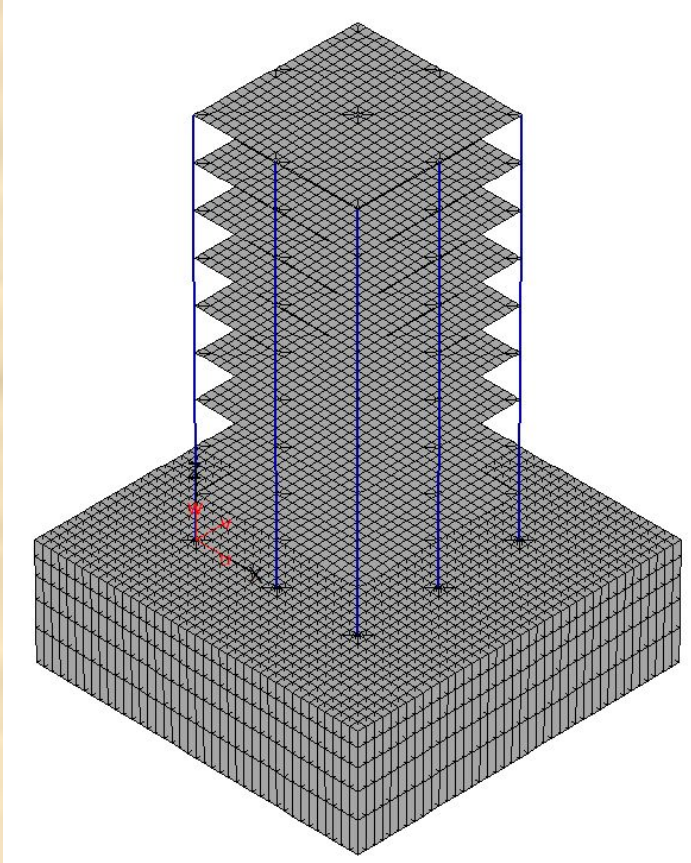


**Б.2. С учетом распределительной способности грунта (двухпараметрические модели Пастернака, Барвашова и др.).**



**В. Объемная модель грунта.**

# Упражнение по моделям грунтовых оснований

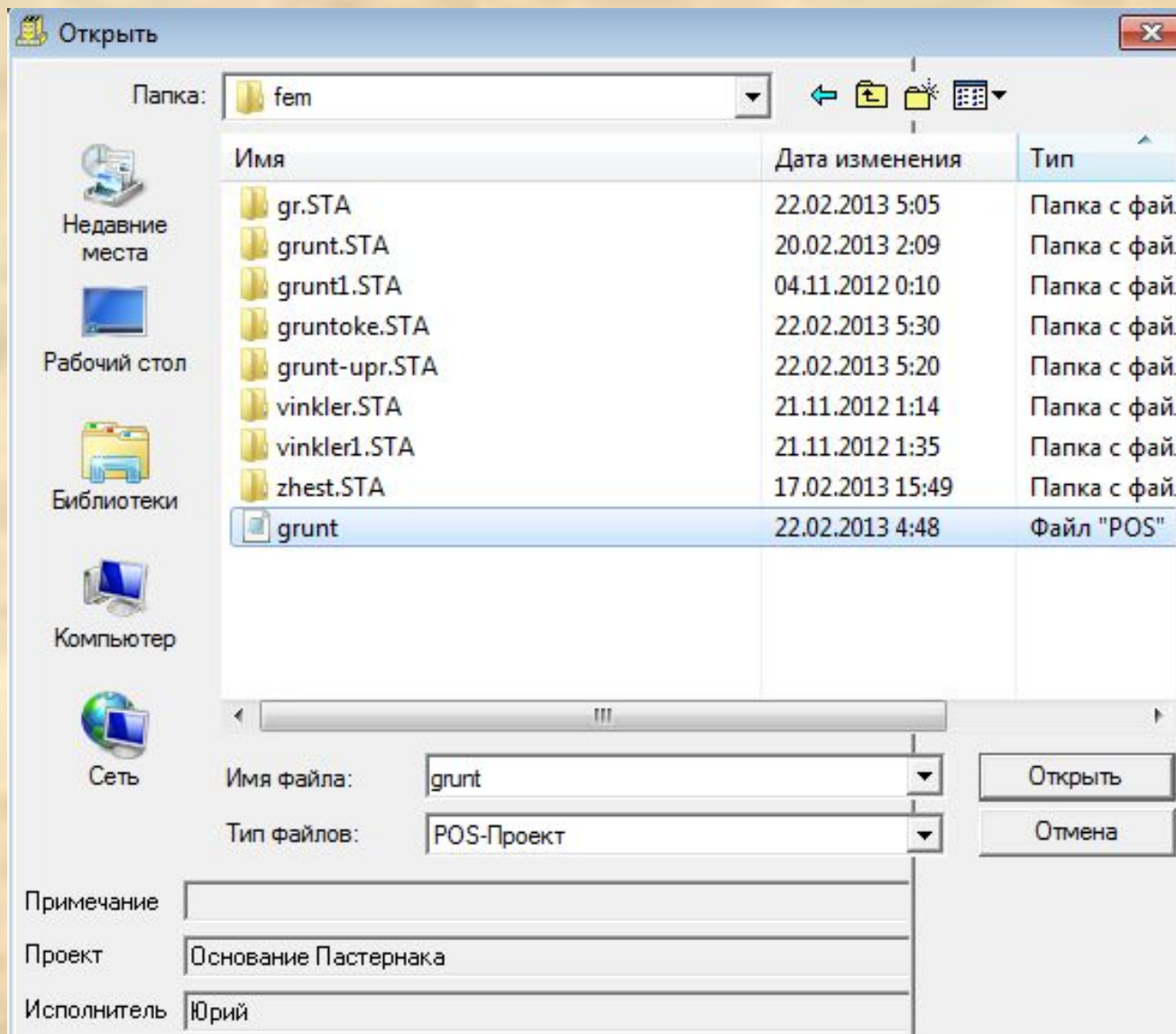


**Имеется** позиционный проект железобетонного каркаса здания с основными расчетными нагрузками (grunt.pos).

**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 ☐ Переменная

X [м]	Y [м]	D [м]
0	0	0
0	0	0
0	0	0

Толщина: 1

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

Hc 8 Глубина сжимающей толщи, м

0.25 Шаг интегрирования, м

152 Абсолютная отметка начала ГСК, м

1 C1, 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. 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

Удалить Очистить

OK Отменить Помощь Скважины...

*Hc* определяется согласно п. 5.6.41 СП 22.13330.2011 или по СпИн

# Задаем скважины на основе геологических изысканий на площадке строительства.

Скважины

Данные для одной скважины

Координаты скважины

X: 1.2 м Y: 14.2 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

Добавить слой

Удалить слой(и)

Скважины

1  
2  
3  
4

Добавить

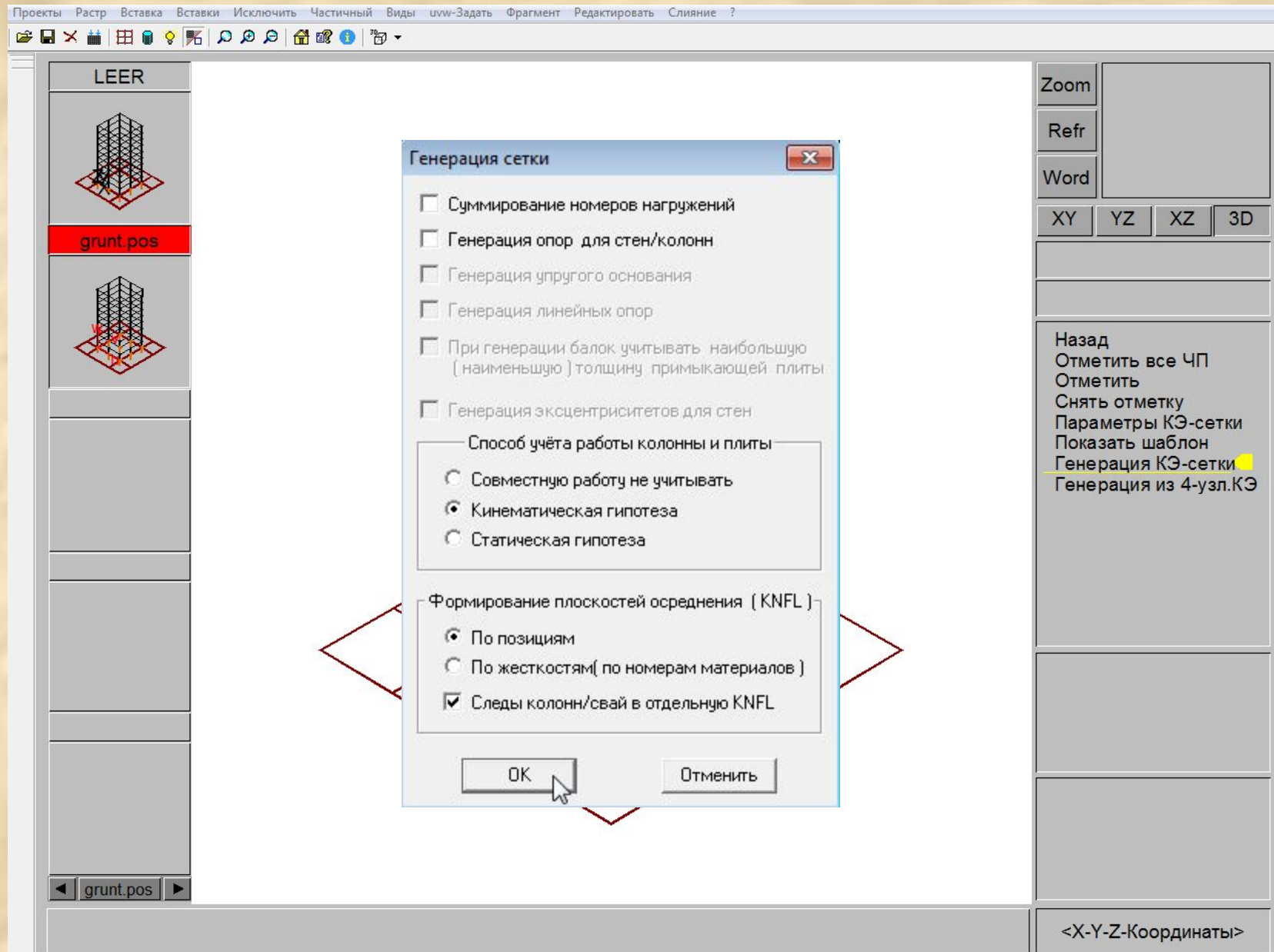
Удалить

ОК

Отменить

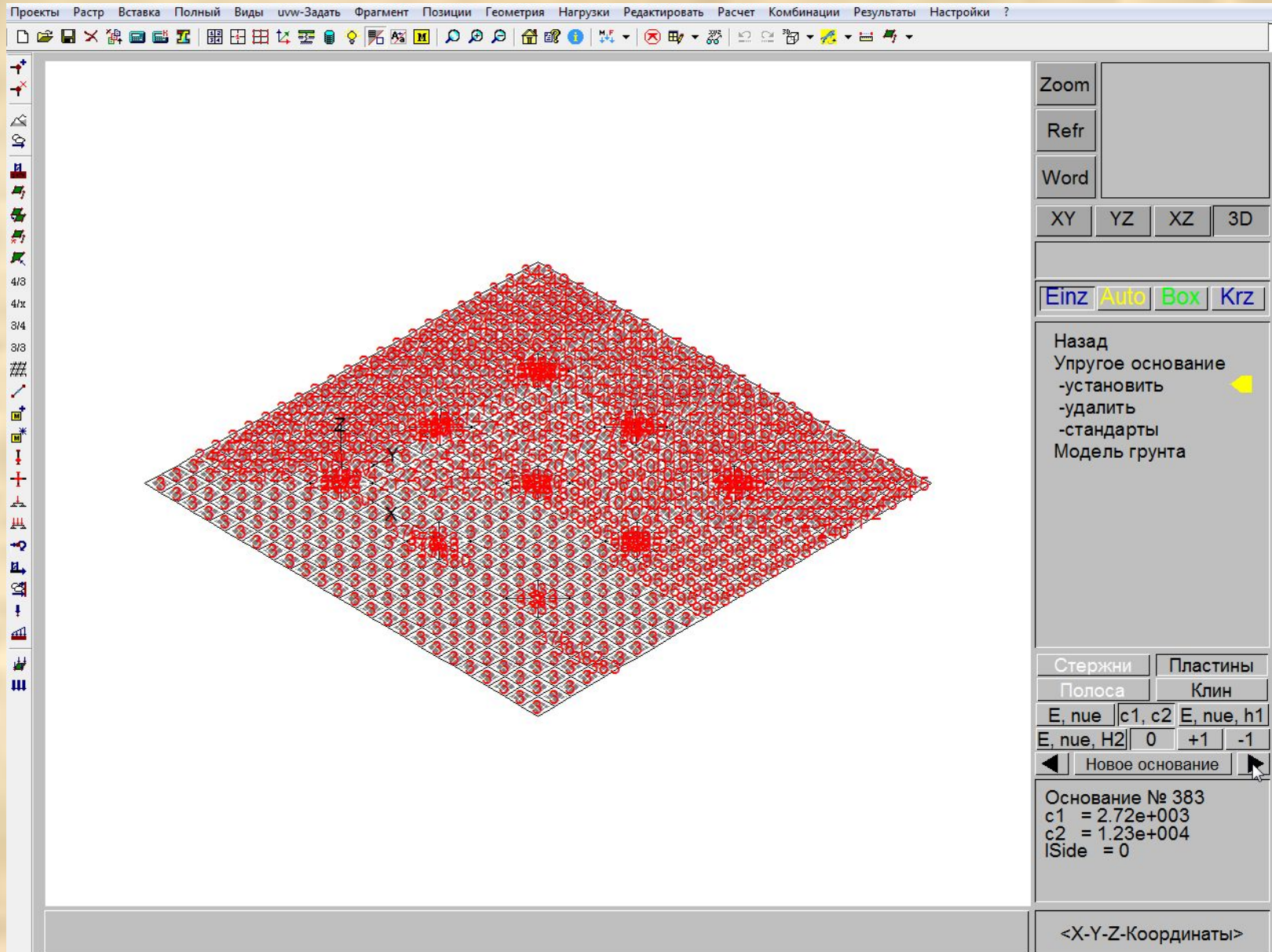
Помощь

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



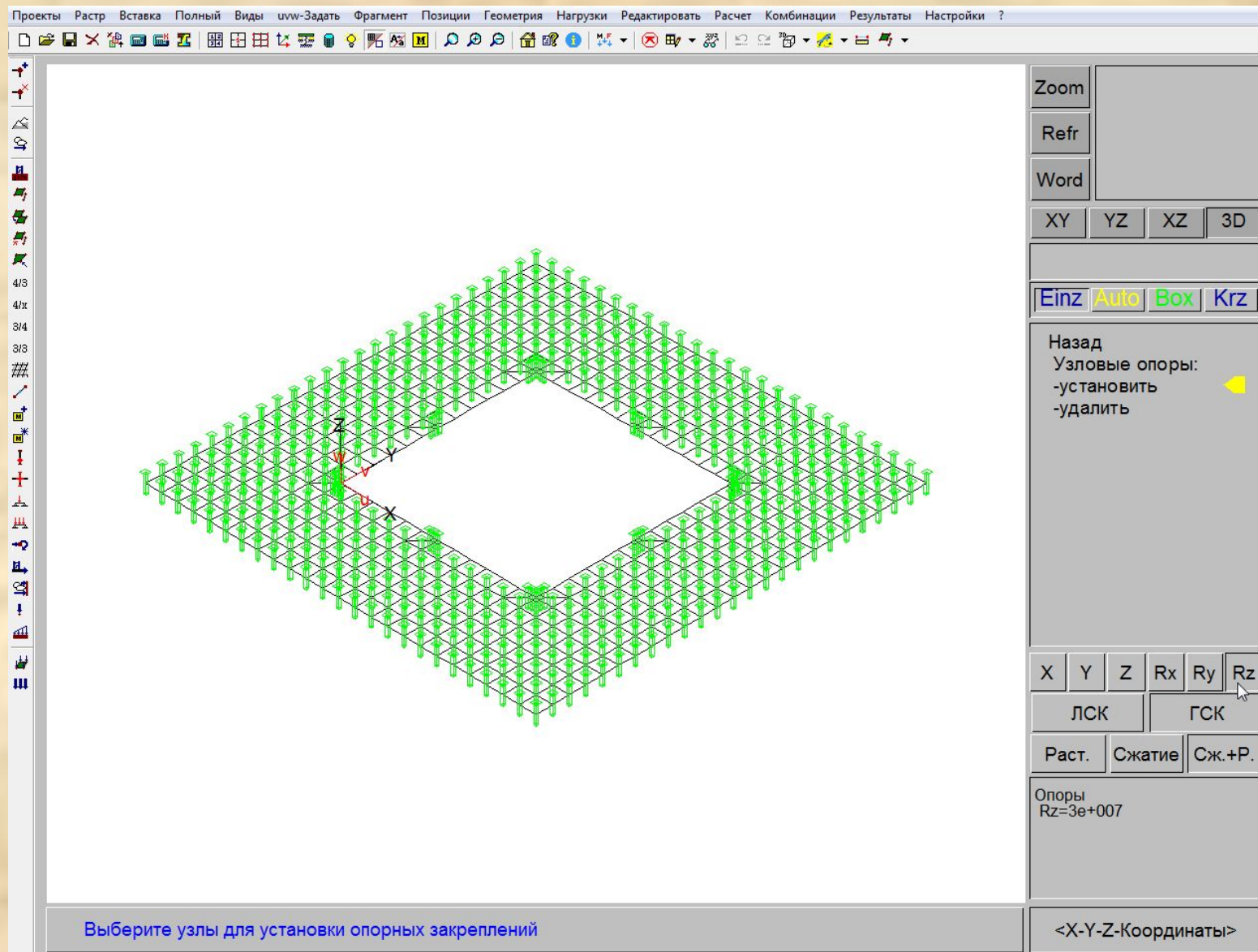


В полученной модели элементам основания присвоен предварительный грунт переменной в плане жесткости.

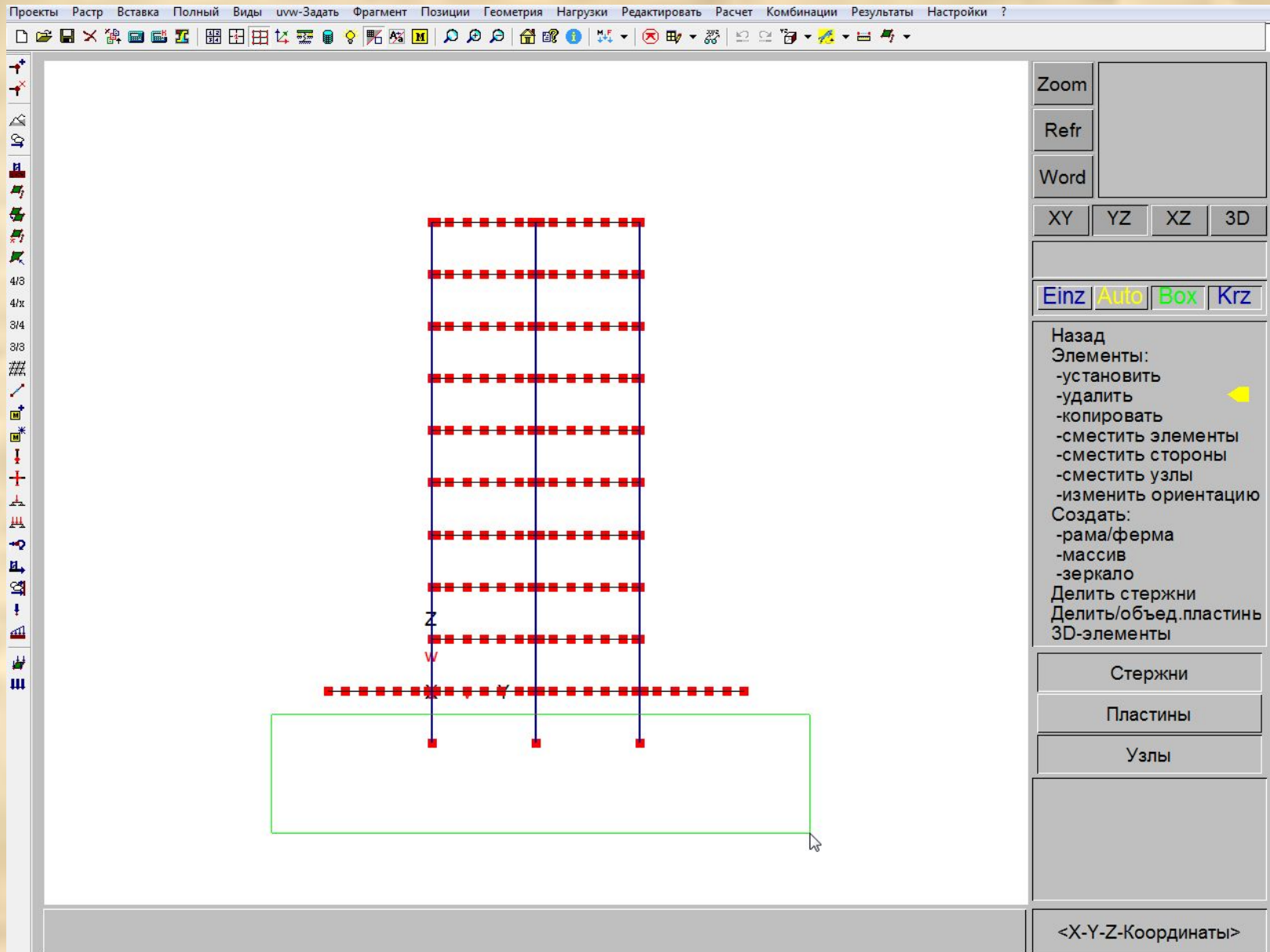




Элементам основания автоматически назначены  
требуемые опорные закрепления (в т.ч. Rz на  
законтурные элементы).



# 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 ?

4/3 4/4 3/4 3/3

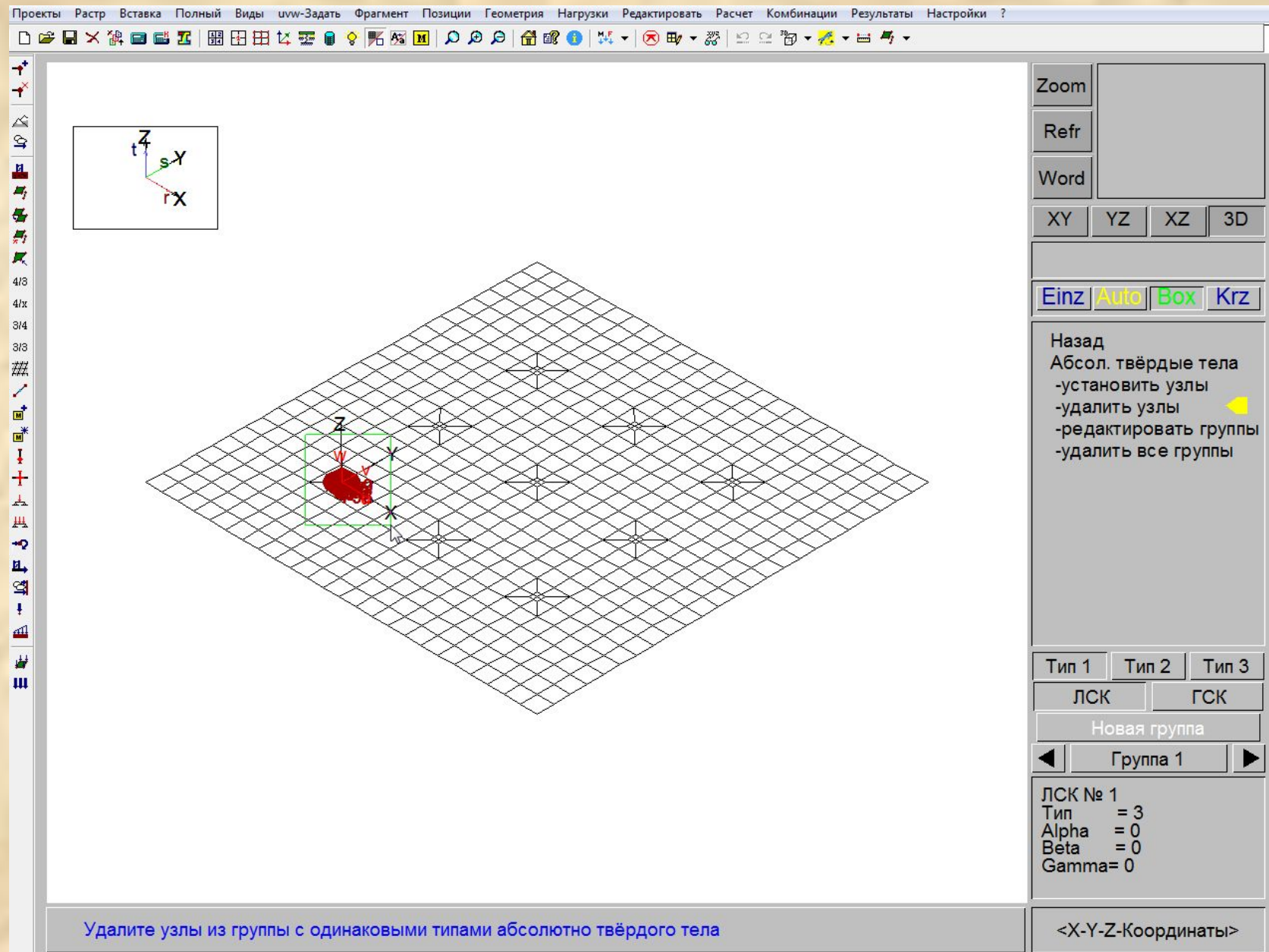
Назад  
Абсол. твёрдые тела  
-установить узлы  
-удалить узлы  
-редактировать группы  
-удалить все группы

Тип 1 Тип 2 Тип 3  
ЛСК ГСК  
Новая группа  
Группа 1

ЛСК № 1  
Тип = 3  
Alpha = 0  
Beta = 0  
Gamma = 0

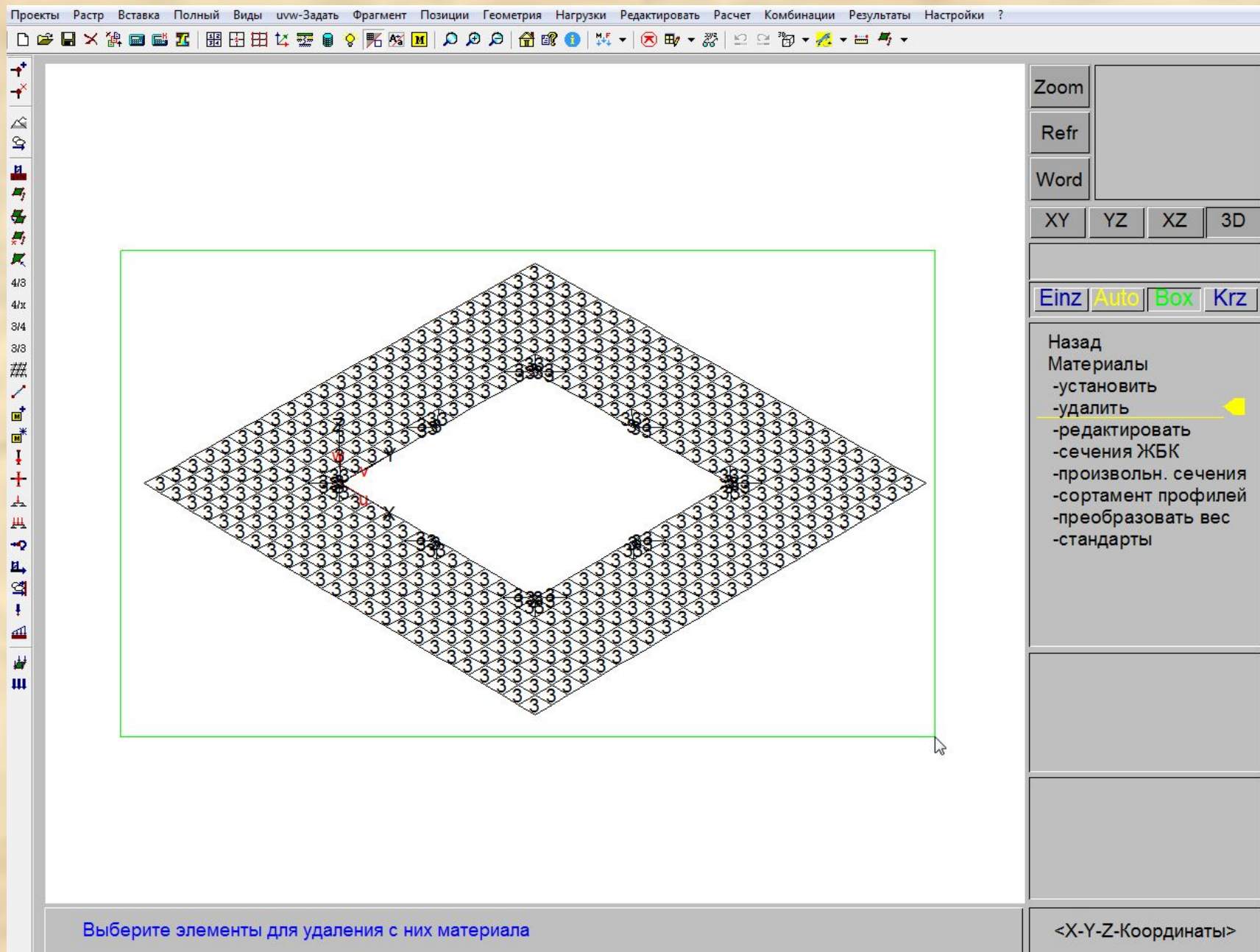
Удалите узлы из группы с одинаковыми типами абсолютно твёрдого тела

<X-Y-Z-Координаты>





## Шаг 6. Удаляем материалы с законтурных элементов.





## Шаг 7. Производим статический расчет здания.

Параметры расчета

Тип расчета

- ☒ Статический расчет
- ☐ Собственные колебания
  - ☐ Сейсмический режим
- ☐ Устойчивость
- ☐ Формирование матриц

Параметры ...

Итерационный расчет

Точность

Количество собственных форм

Диапазон искомых собств. значений  до

Значение от

Диагностика

- ☐ Проверка точности решения
- ☐ Проверка ортогональности

Вывод результатов

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

☒ Многопоточный расчёт

Проект

Примечание

Исполнитель

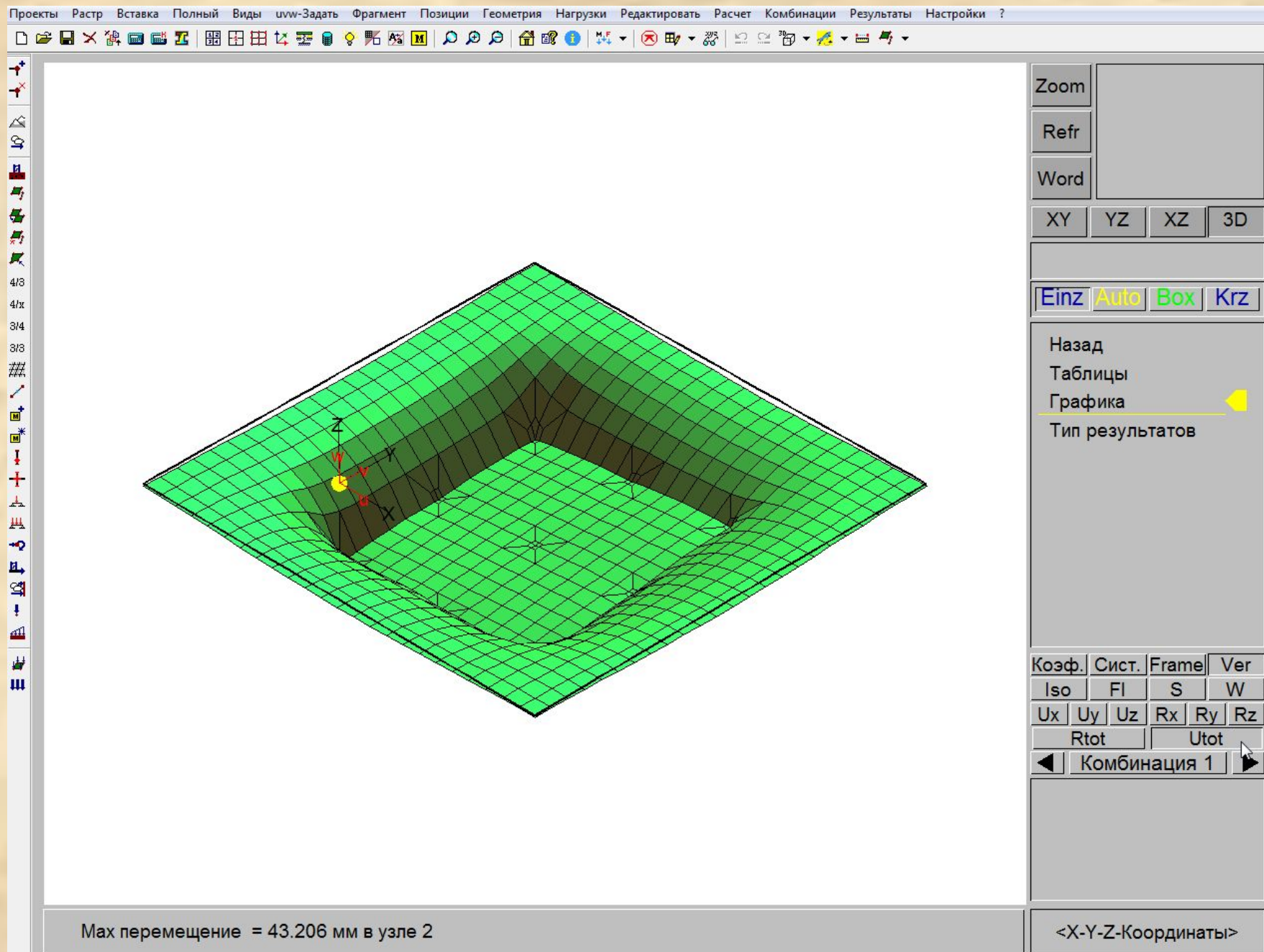
ОК Отменить Помощь

Выбор типа решателя

- ☐ Профильный
- ☐ Разреженный
- ☒ Фронтальный

OK Отменить

# Шаг 8. Оцениваем осадку фундаментной плиты.



# Шаг 9. Вызываем Модель грунта.

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

Тела и поверхности  
Эксцентриситеты  
Материалы  
Массы  
Шарниры  
МСК стержней  
МСК пластин  
KNFL  
Связи  
Упругое основание  
Преднапряжение  
Подконструкции

Упругое основание  
-установить  
-удалить  
-стандарты  
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 10. Добавляем недостающие расчетные параметры для построения упругого основания переменной жесткости.

Модель грунта

Глубина сжимаемой толщи

$H_c$   м ☐ Ввод

$H_{c,min}$   м

$k$

Расчетная модель основания

$C1,min$   кН/м<sup>3</sup>

Опции для расчета

Шаг интегрирования, м

☐ Увеличение модуля деформации грунта с глубиной

☒ Двухстадийная работа грунта по СП 22.13330.2011

Вывод

☒ Сокращенный вывод

☒ Viewer ☐ Word

База грунтов основания( ИГЭ)

Ном ИГЭ	Наименование ИГЭ	Модуль деформ. [МПа]	Кэфф Пуассона [-]	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					

☒ Использовать абсолютные отметки. Отметка подошвы фундамента

☐ После окончания выполнить статический расчет

$H_{c,min} = 4 + 0.1b$  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: 1.2 м Y: 14.2 м

Отметка уровня подземных вод 142.6 м

Предельная нагрузка на основание 5000 кПа

Вес выбранного грунта 36 кПа

Состав ИГЭ в скважине

Номер		Наименование ИГЭ	Модуль деформ. [МПа]	Кoeff. 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

Добавить слой

Удалить слой(и)

Скважины

1

2

3

4

Добавить

Удалить

OK

Отменить

Помощь

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

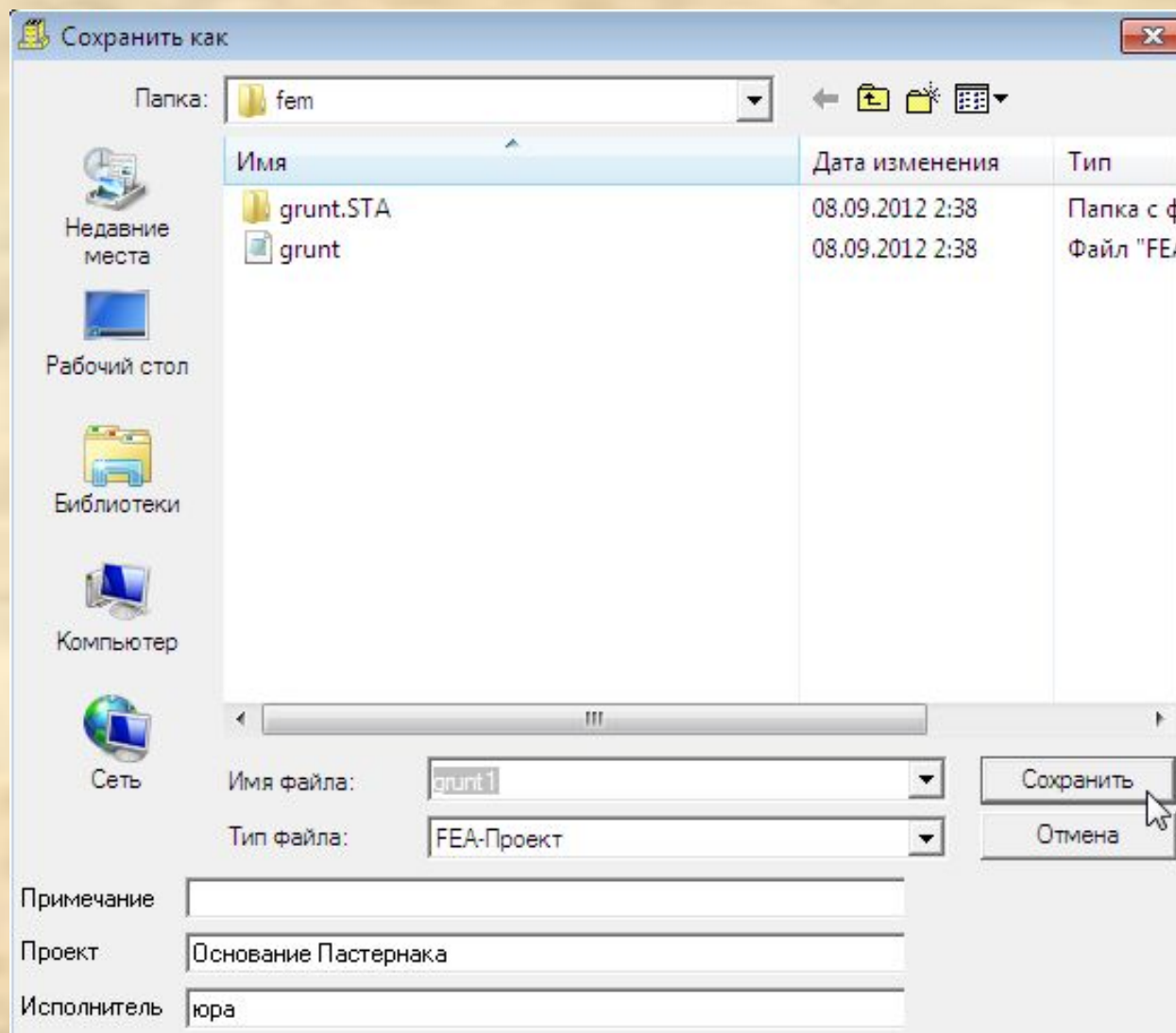
Глубина сжимаемой толщи                       $H_{с, \min} = 5.20\text{м}$   
Коэффициент (для определения  $H_{с}$ )                       $K = 0.50$   
Минимальное значение  $C1$                        $C1, \min = 1.00$   
Расчетная модель основания: модель Пастернака  
Опции для расчета:  
-двухстадийная работа грунта по СП 22.13330.2011

#### Выборка результатов

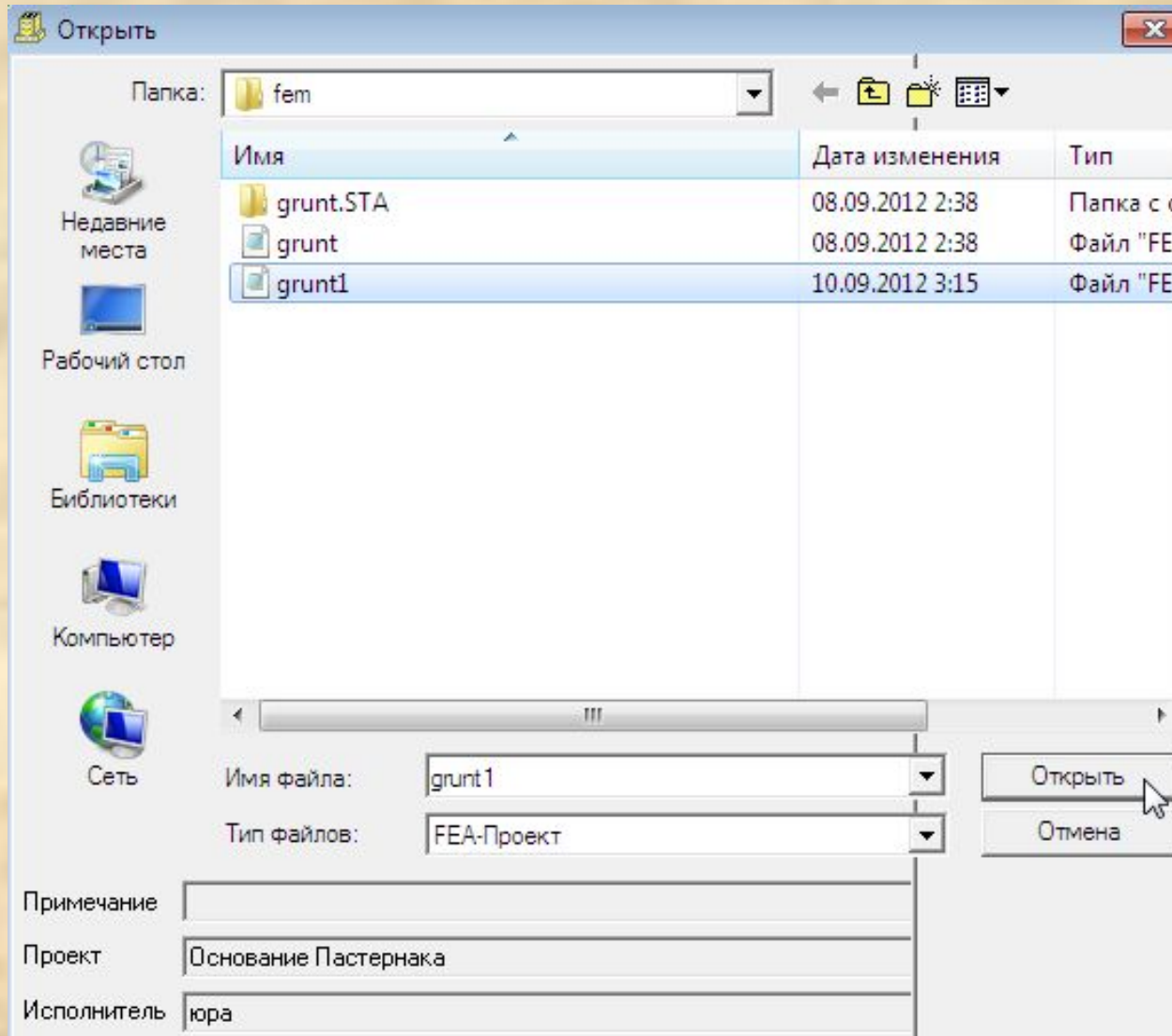
Параметр	Давление на грунт, кПа	Глубина сжима- емой толщи, м	Осадка, см	$C1$ , кН/м <sup>3</sup>	$C2$ , кН/м
Макс. значение	4573.71	6.64	11.293	6292.99	27521.55
Номер элемента	1	115	1	176	115
Мин. значение	80.12	5.20	1.662	3345.47	6871.67
Номер элемента	148	1	114	8	8
Сред. значение	189.33	5.69	2.982	4400.14	14221.08

Нагрузка на фундамент, кН: 27263.63  
Относительная разность осадок: 0.0106

## Шаг 11. Сохраняем расчетную модель под новым именем **grunt1.fea**.

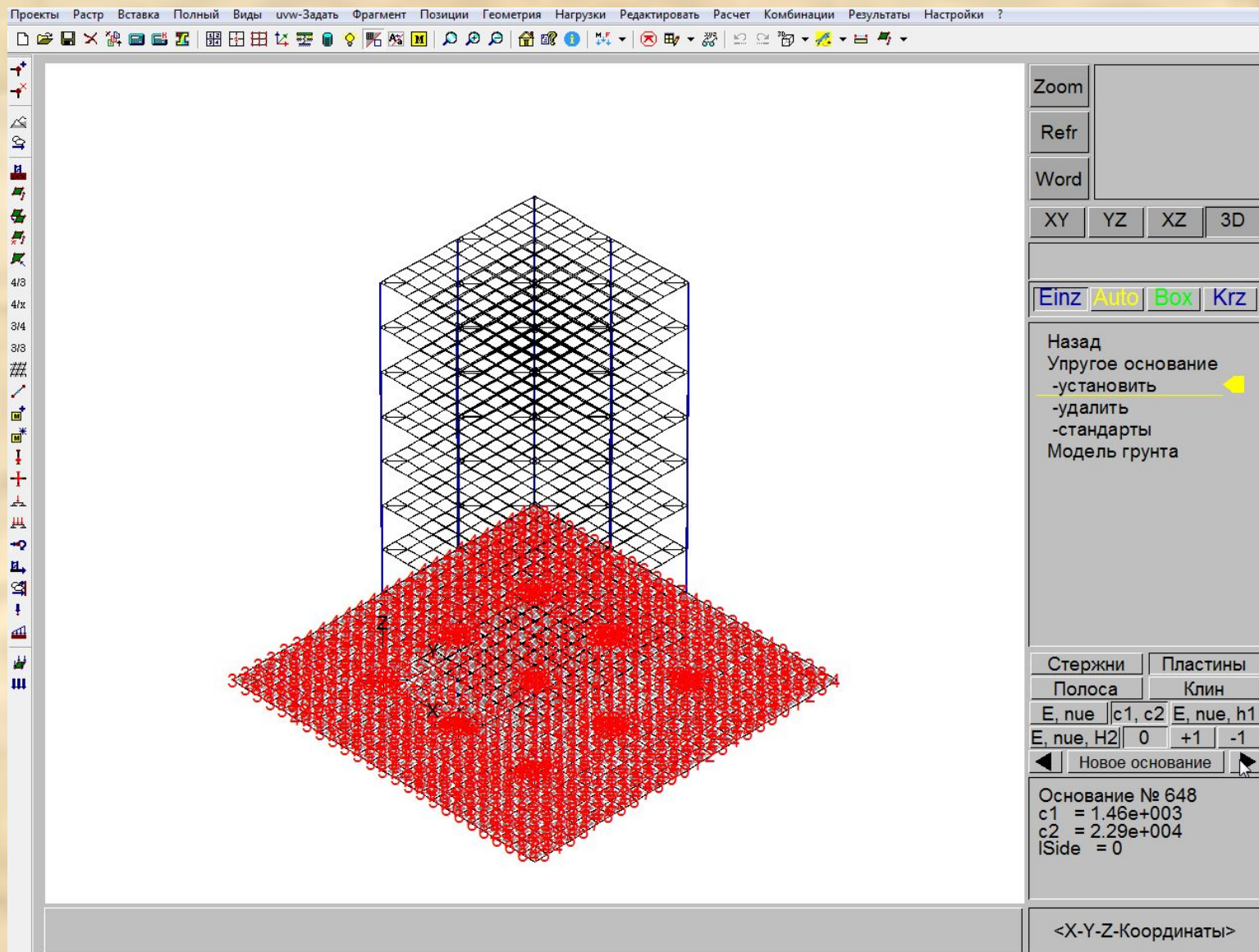


Шаг 12. Выгружаем расчетную модель **grunt.fea** и загружаем полученную модель **grunt1.fea**





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



## Шаг 13. Производим статический расчет здания.

Параметры расчета

Тип расчета

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

Итерационный расчет

Точность

Количество собственных форм

Диапазон искомых собств. значений  до

Значение от

Диагностика

- ☐ Проверка точности решения
- ☐ Проверка ортогональности

Вывод результатов

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

☒ Многопоточный расчёт

Проект

Примечание

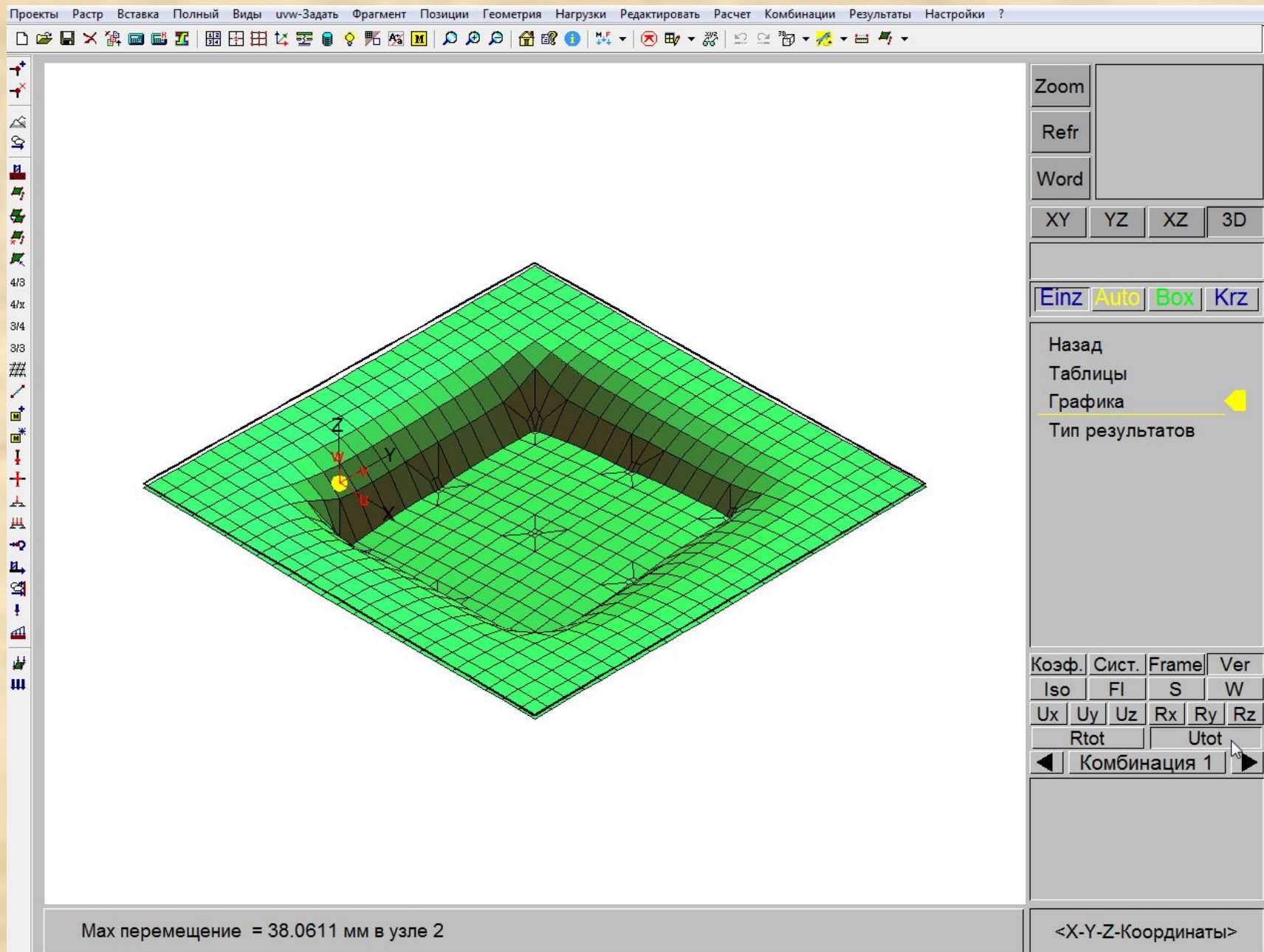
Исполнитель

ОК Отменить Помощь

Выбор типа решателя

- ☐ Профильный OK
- ☐ Разреженный Отменить
- ☒ Фронтальный

# Шаг 14. Оцениваем осадку фундаментной плиты.





Шаг 15. Последовательно повторяются шаги 9-14 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 16. Вызываем Модель грунта для построения основания из объемных элементов.

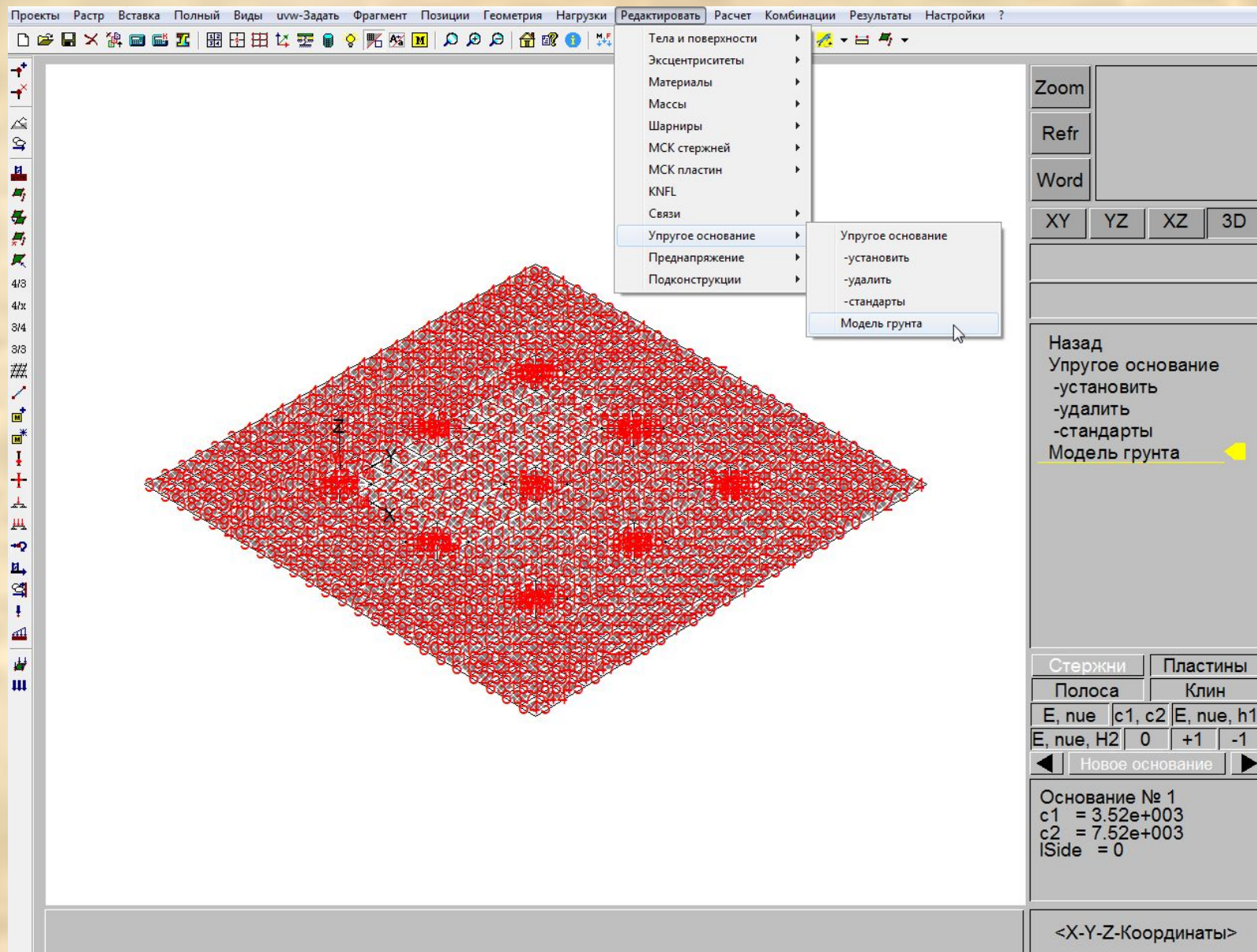
Проекты Растр Вставка Полный Виды uvw-Задать Фрагмент Позиции Геометрия Нагрузки Редактировать Расчет Комбинации Результаты Настройки ?

Тела и поверхности  
Эксцентриситеты  
Материалы  
Массы  
Шарниры  
МСК стержней  
МСК пластин  
KNFL  
Связи  
Упругое основание  
Преднапряжение  
Подконструкции

Упругое основание  
-установить  
-удалить  
-стандарты  
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 = 3.52e+003  
c2 = 7.52e+003  
ISide = 0  
<X-Y-Z-Координаты>



## Шаг 17. 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 слоев

Опции для расчета

Шаг интегрирования, м

☐ Увеличение модуля деформации грунта с глубиной

☒ Двухстадийная работа грунта по СП 22.13330.2011

Вывод

☒ Сокращенный вывод

☒ Viewer ☐ Word

База грунтов основания( ИГЭ)

Ном ИГЭ	Наименование ИГЭ	Модуль деформ [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					

Удалить

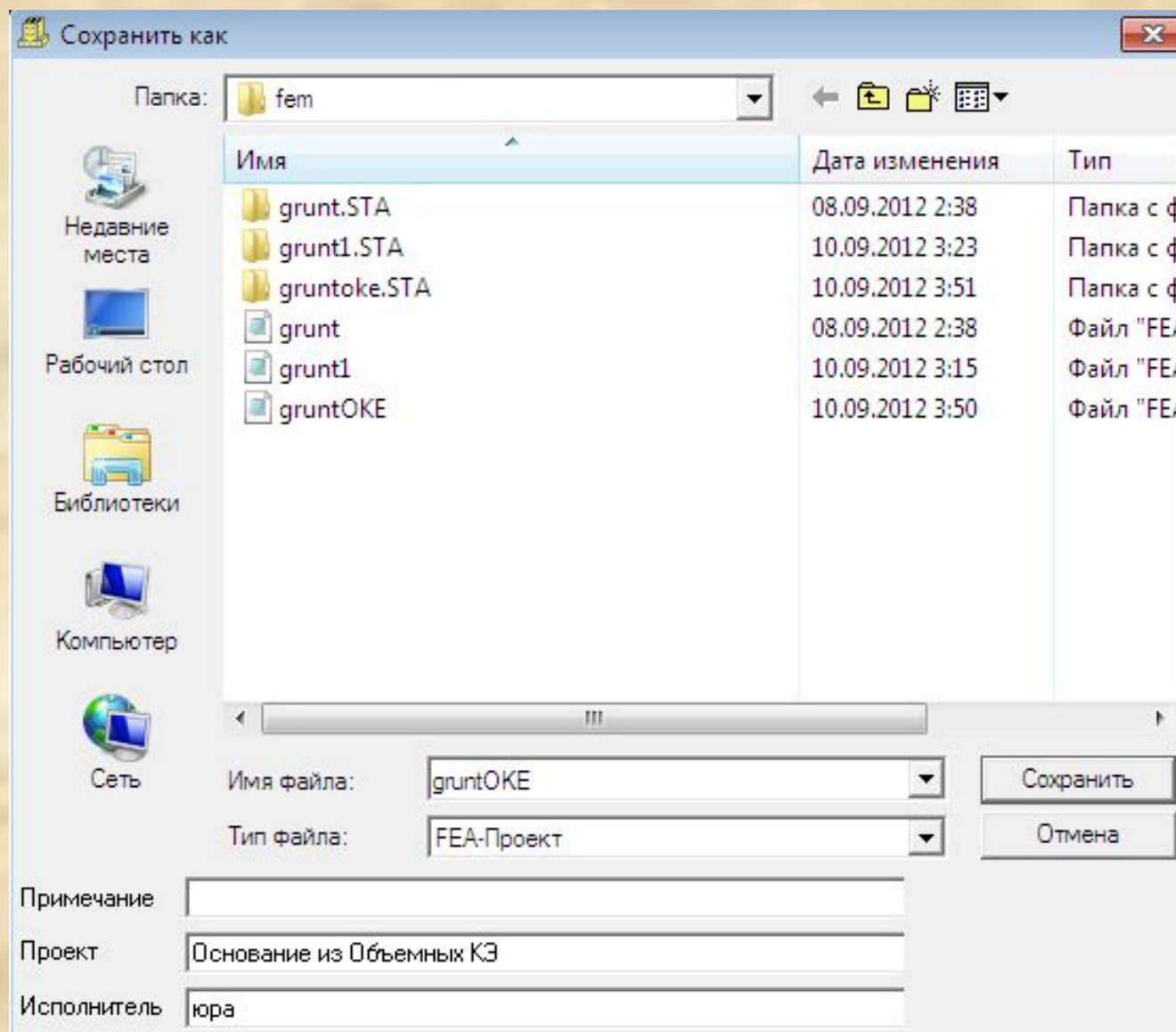
Очистить

☒ Использовать абсолютные отметки Отметка подошвы фундамента

☐ После окончания выполнить статический расчет

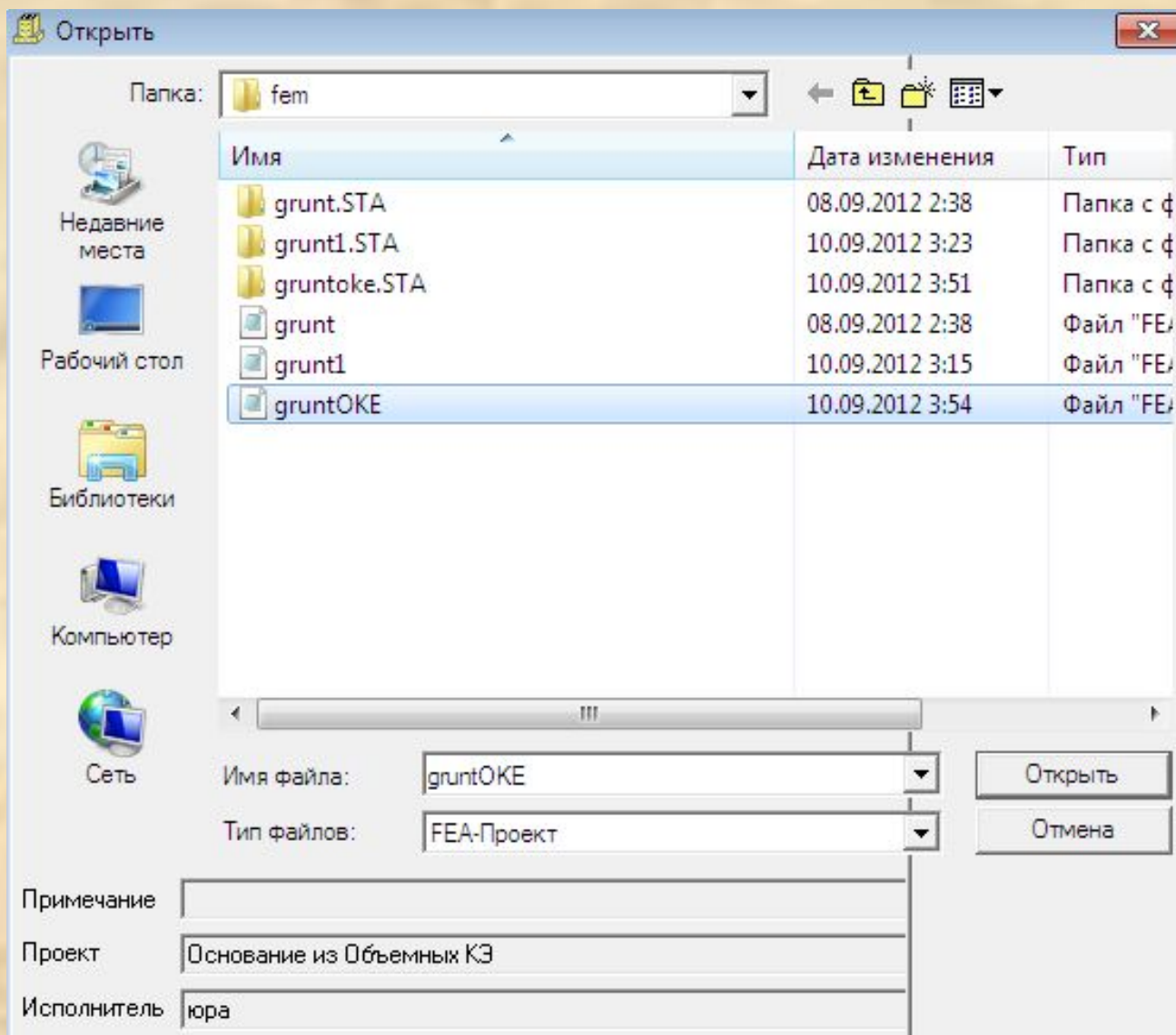
Расчет OK Отменить Помощь Скважины...

## Шаг 18. Сохраняем расчетную модель под новым именем **gruntOKE.fea**.





Шаг 19. Выгружаем расчетную модель на упругом основании и загружаем полученную модель **gruntOKE.fea**



## Шаг 20. Производим статический расчет здания.

Параметры расчета

Тип расчета

- ☒ Статический расчет
- ☐ Собственные колебания
  - ☐ Сейсмический режим
- ☐ Устойчивость
- ☐ Формирование матриц

Параметры ...

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

☒ Многопоточный расчёт

Проект

Примечание

Исполнитель

ОК Отменить Помощь

Выбор типа решателя

- ☐ Профильный
- ☐ Разреженный
- ☒ Фронтальный

OK Отменить

# Шаг 21. Оцениваем осадку фундаментной плиты и производим конструктивные расчеты элементов сооружения.

