

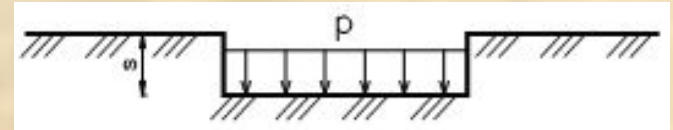
**Модели грунтовых оснований.
Формирование
двухпараметрического упругого
основания с переменными
коэффициентами жесткости и
пространственной модели
основания из объемных конечных
элементов**

Модели грунтового основания

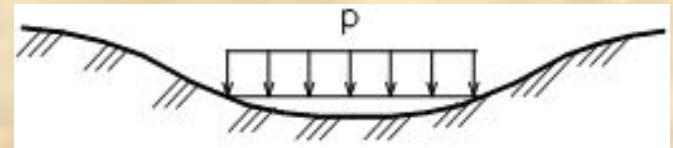
А. Недеформируемое (абсолютно жесткое) основание.

Б. Упругое основание:

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

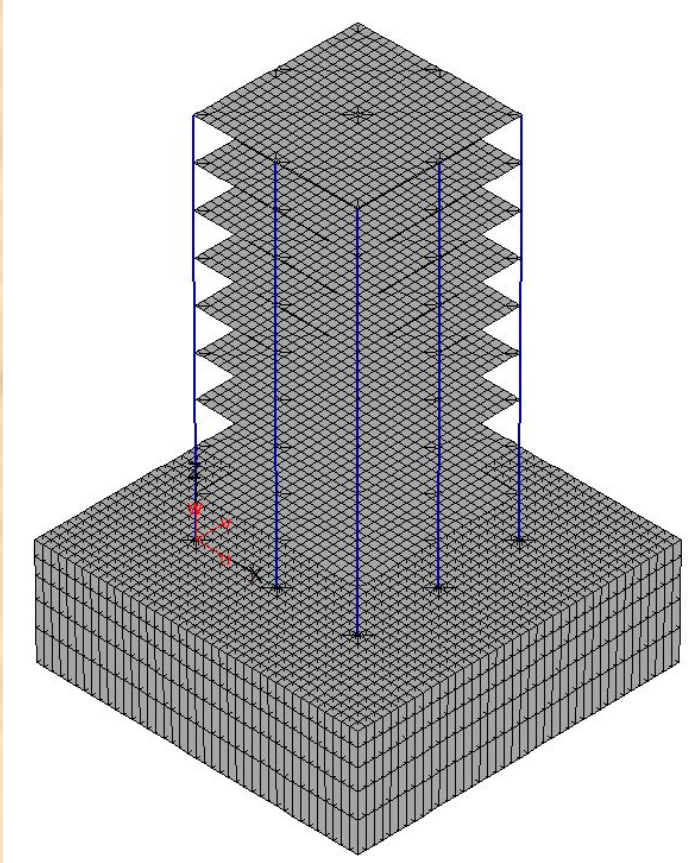


Б.2. С учетом распределительной способности грунта (двухпараметрические модели Пастернака, Барвашова и др.).



В. Объемная модель грунта.

Упражнение по моделям грунтовых оснований

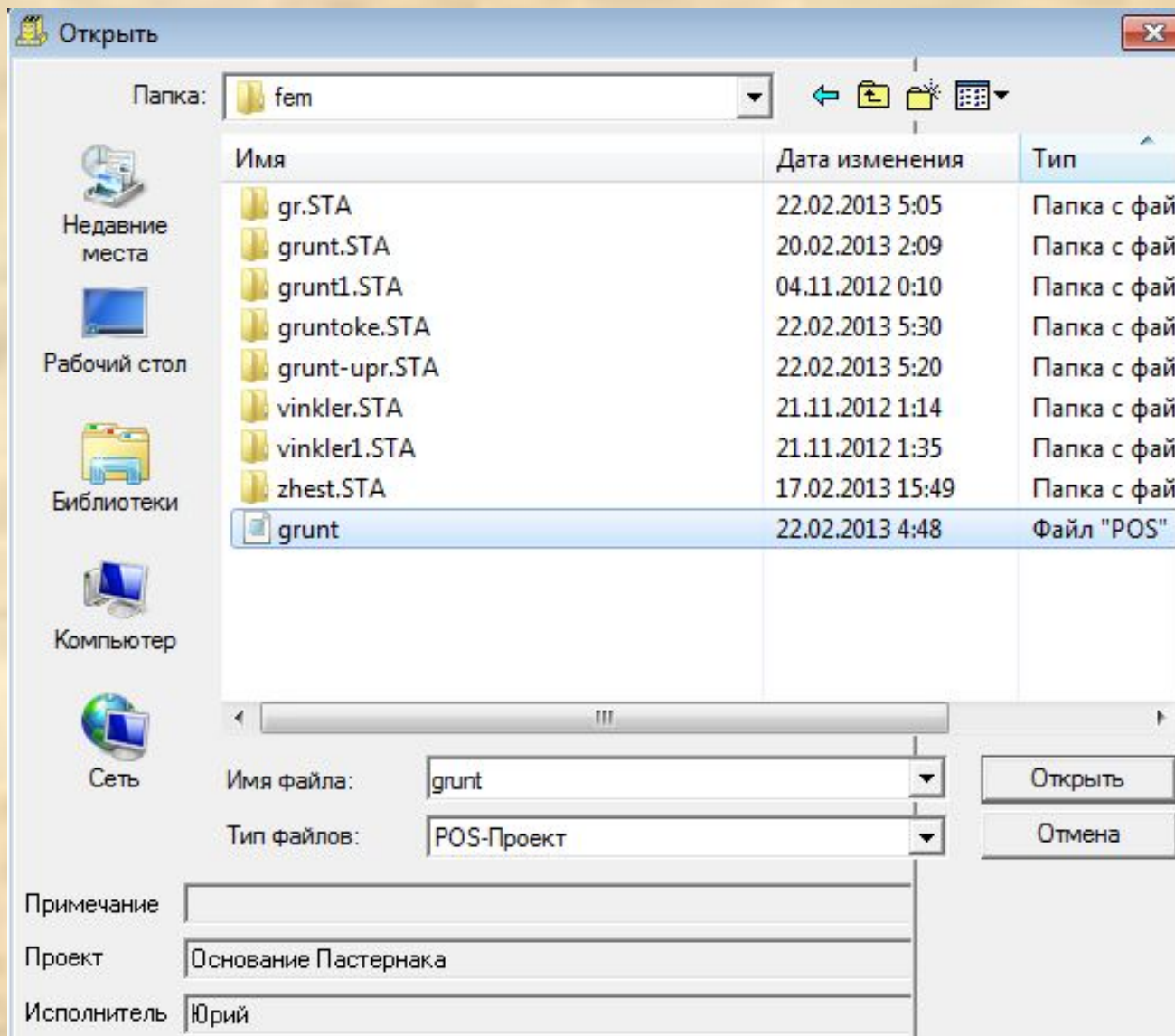


Имеется позиционный проект железобетонного каркаса здания с основными расчетными нагрузками (grunt.pos).

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/м²

Коэффициент Пуассона: 0.2

Плотность плиты Rho: 2.75 т/м³

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_c 8 Глубина сжимающей толщи, м

0.25 Шаг интегрирования, м

152 Абсолютная отметка начала ГСК, м

1 $S_{1,min}$ [кН/м³]

База грунтов основания (ИГЭ)

Номер ИГЭ	Наименование ИГЭ	Модуль деформ. [МПа]	Коэфф. Пуассона [-]	Удельн. вес [кН/м ³]	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_c определяется согласно п. 5.6.41 СП 22.13330.2011 или по SpIn

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)

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

The screenshot shows a software window titled "LEER" with a menu bar (Проекты, Растр, Вставка, Вставки, Исключить, Частичный, Виды, uvw-Задать, Фрагмент, Редактировать, Слияние ?) and a toolbar. On the left, a vertical list of project items includes "LEER" and "grunt.pos" (highlighted in red). The main workspace displays a 3D model of a building structure with a red mesh overlaid. A dialog box titled "Генерация сетки" is open in the center, containing the following options:

- Суммирование номеров нагрузений
- 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

Формирование плоскостей осреднения (KNFL)

- По позициям
- По жесткостям(по номерам материалов)
- Следы колонн/свай в отдельную KNFL

Buttons: OK, Отменить

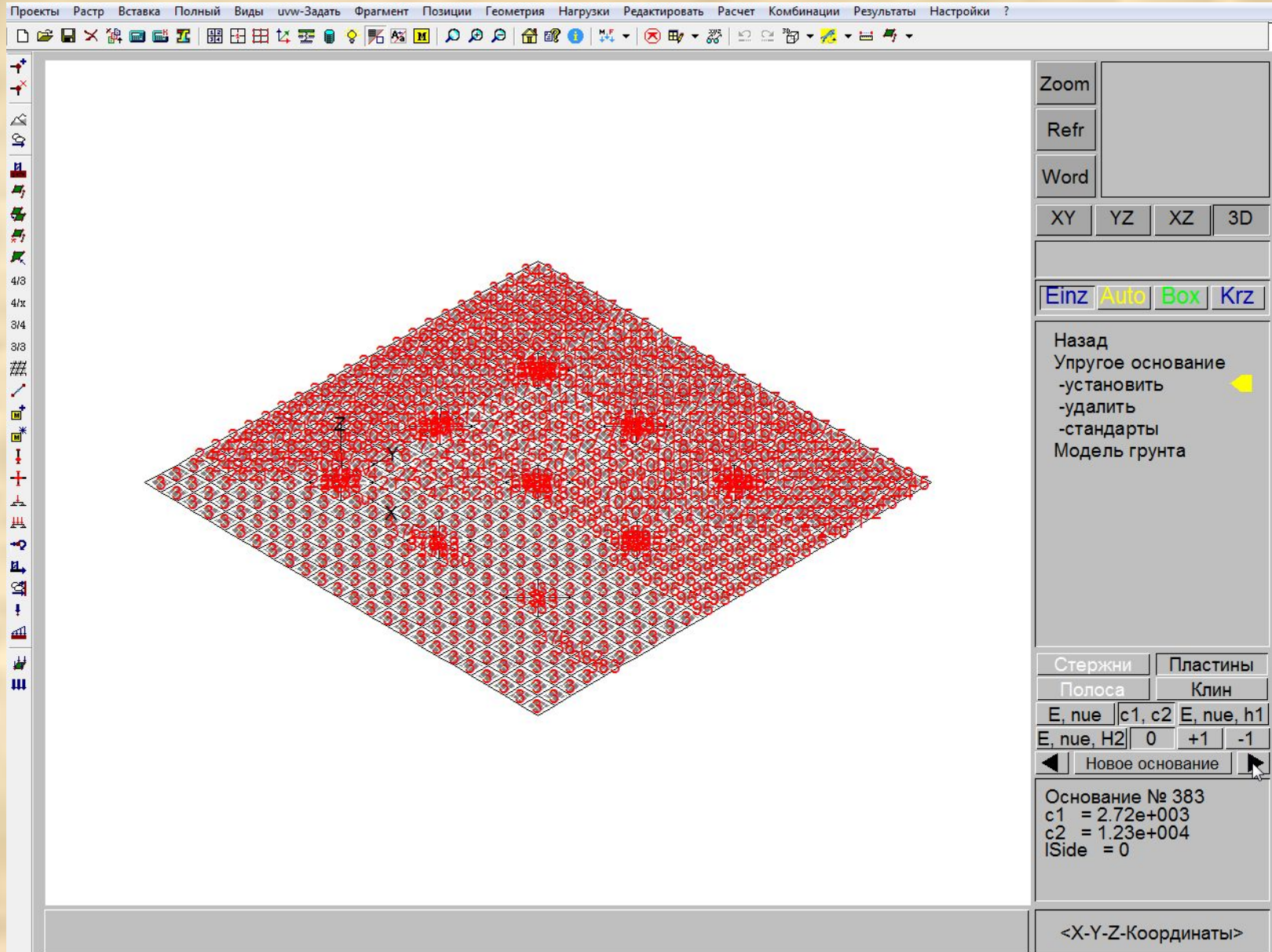
Right sidebar controls:

- Zoom
- Refr
- Word
- XY YZ XZ 3D
- Назад
- Отметить все ЧП
- Отметить
- Снять отметку
- Параметры КЭ-сетки
- Показать шаблон
- Генерация КЭ-сетки (highlighted in yellow)
- Генерация из 4-узел.КЭ

Bottom status bar: <X-Y-Z-Координаты>

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

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



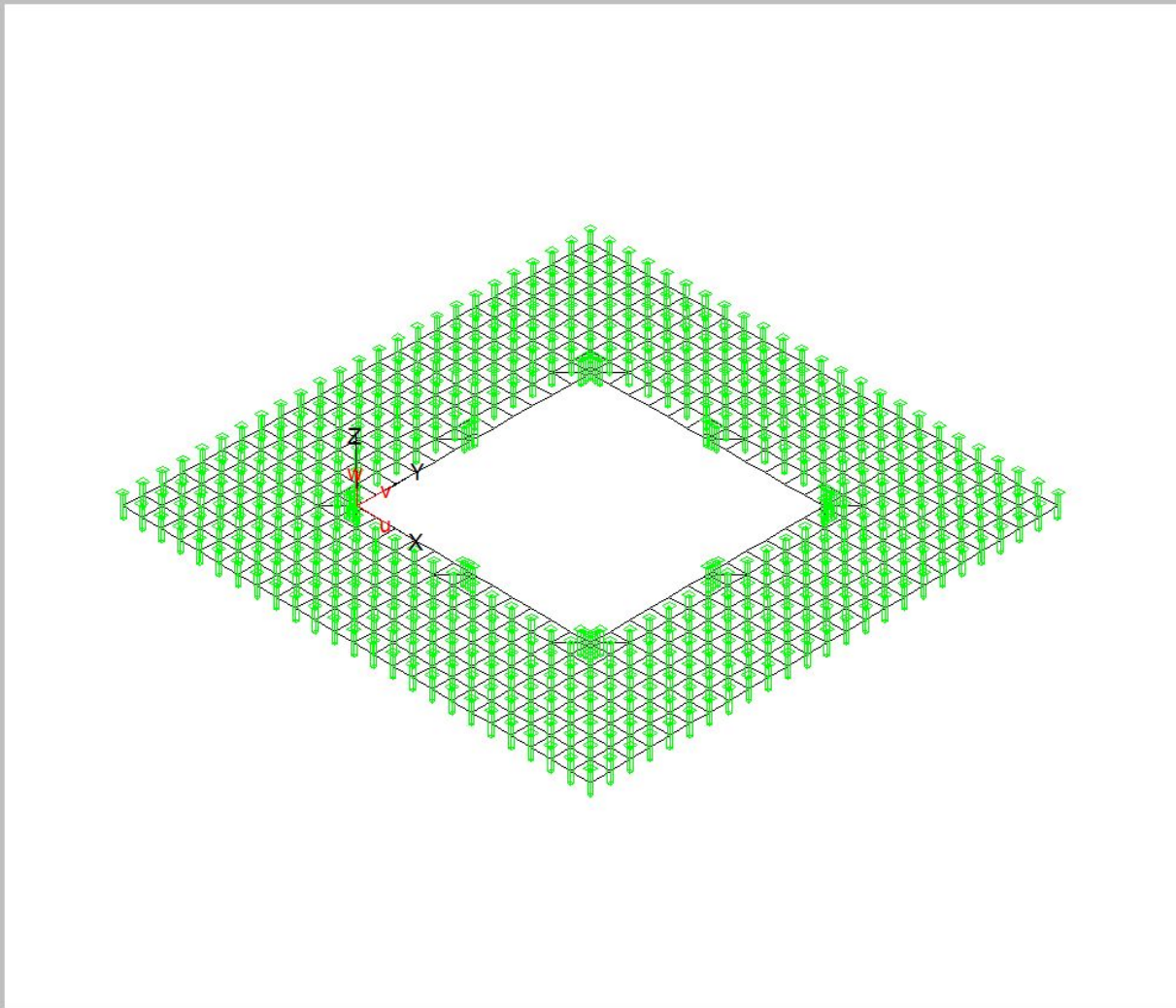
The screenshot displays a software interface for structural analysis. The main window shows a 3D perspective view of a square foundation grid. The grid is composed of numerous red nodes connected by thin lines, forming a dense mesh. The grid is oriented diagonally on the screen. To the right of the main window is a control panel with several sections:

- Zoom**, **Refr**, **Word** buttons.
- View orientation buttons: **XY**, **YZ**, **XZ**, **3D**.
- Analysis type buttons: **Einz**, **Auto**, **Box**, **Krz**.
- A menu for the foundation element with options: **Назад**, **Упругое основание** (highlighted with a yellow arrow), **-установить**, **-удалить**, **-стандарты**, **Модель грунта**.
- Element type buttons: **Стержни**, **Пластины**, **Полоса**, **Клин**.
- Parameter input fields:

E, nue	c1, c2	E, nue, h1
E, nue, H2	0	+1 -1
- Новое основание** button with left and right arrows.
- Text area showing: **Основание № 383**, **c1 = 2.72e+003**, **c2 = 1.23e+004**, **ISide = 0**.
- <X-Y-Z-Координаты>** label.

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

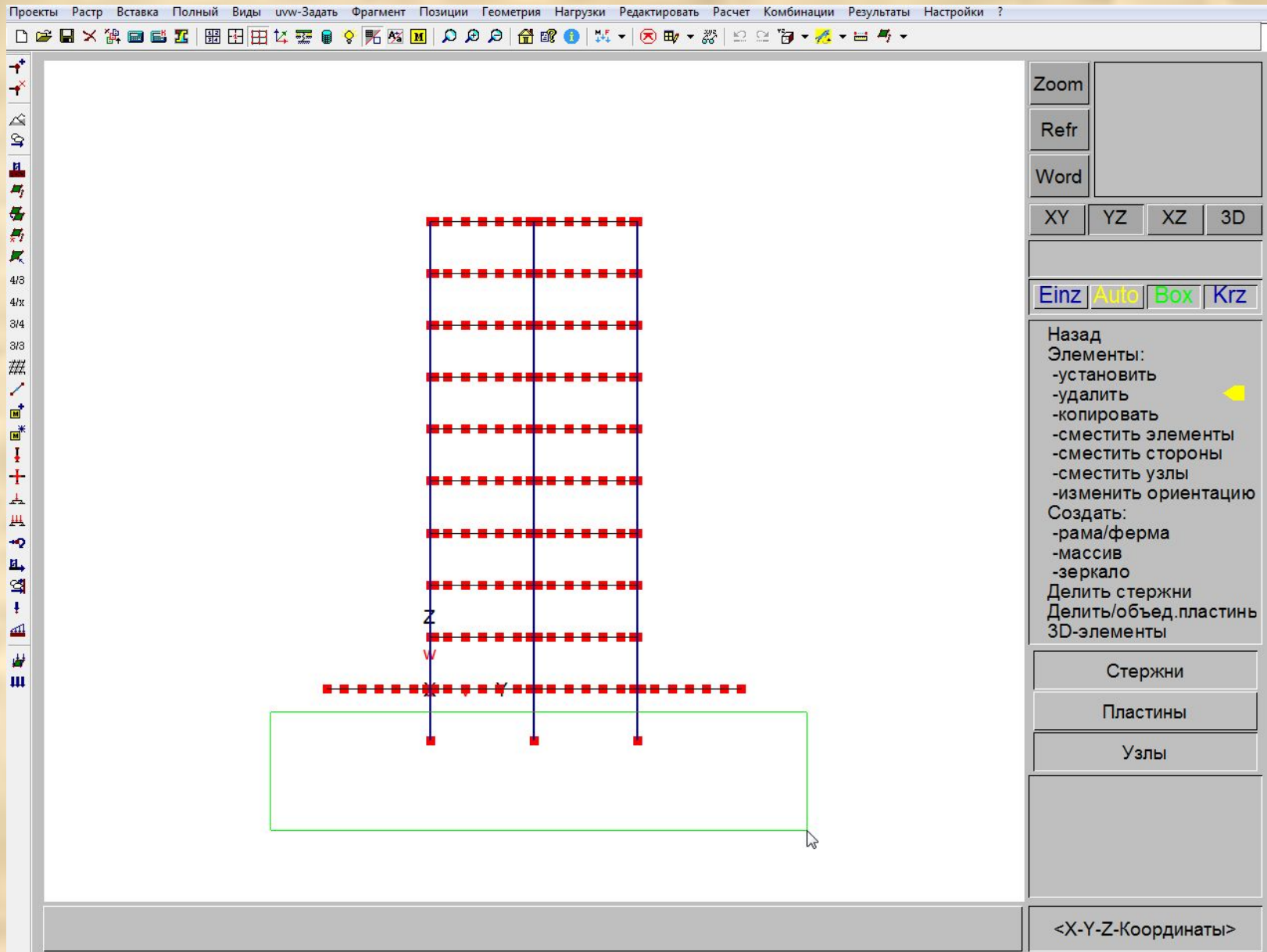
Проекты Растр Вставка Полный Виды uvw-Задать Фрагмент Позиции Геометрия Нагрузки Редактировать Расчет Комбинации Результаты Настройки ?



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

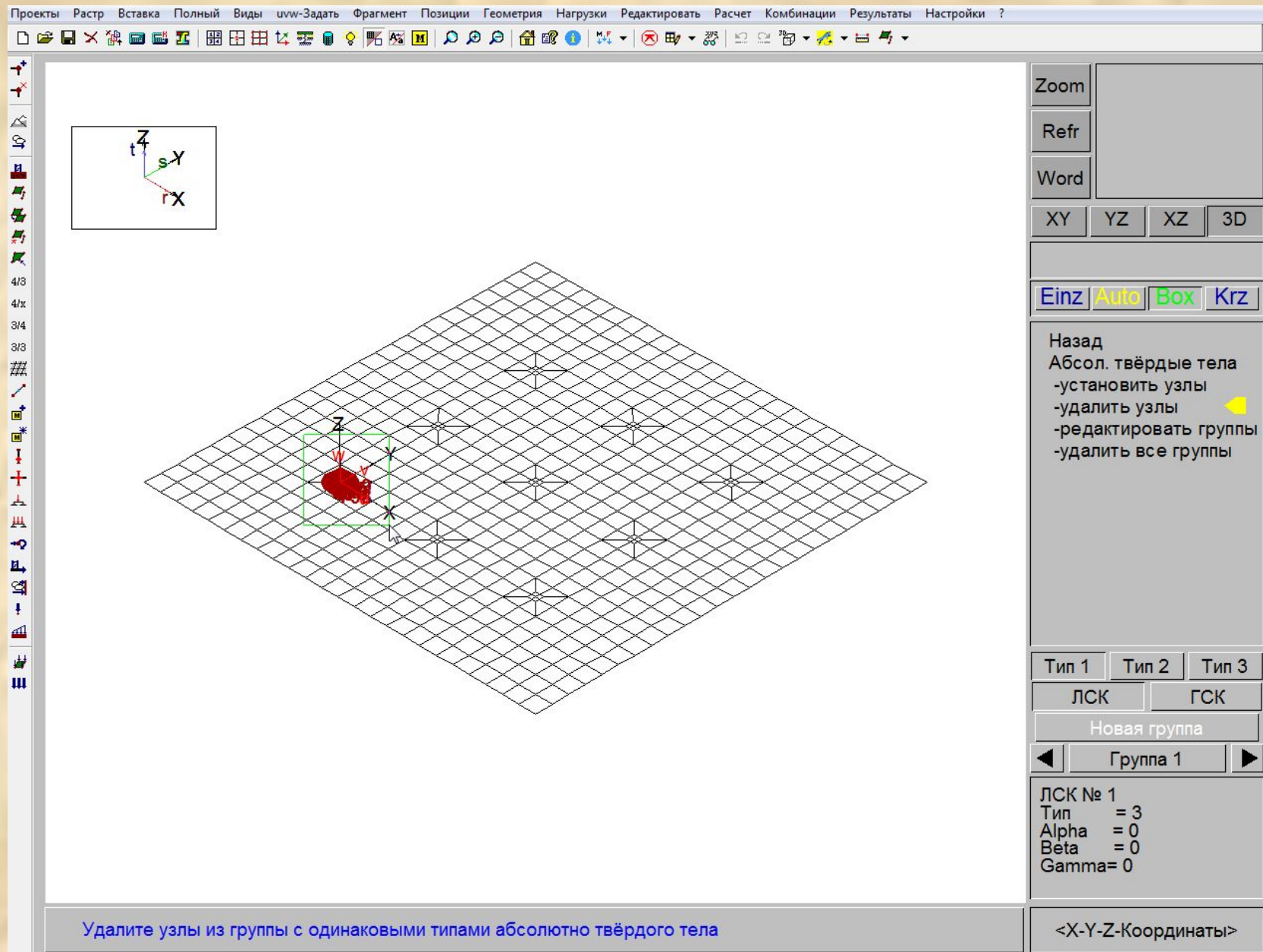
Выберите узлы для установки опорных закреплений

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 ?



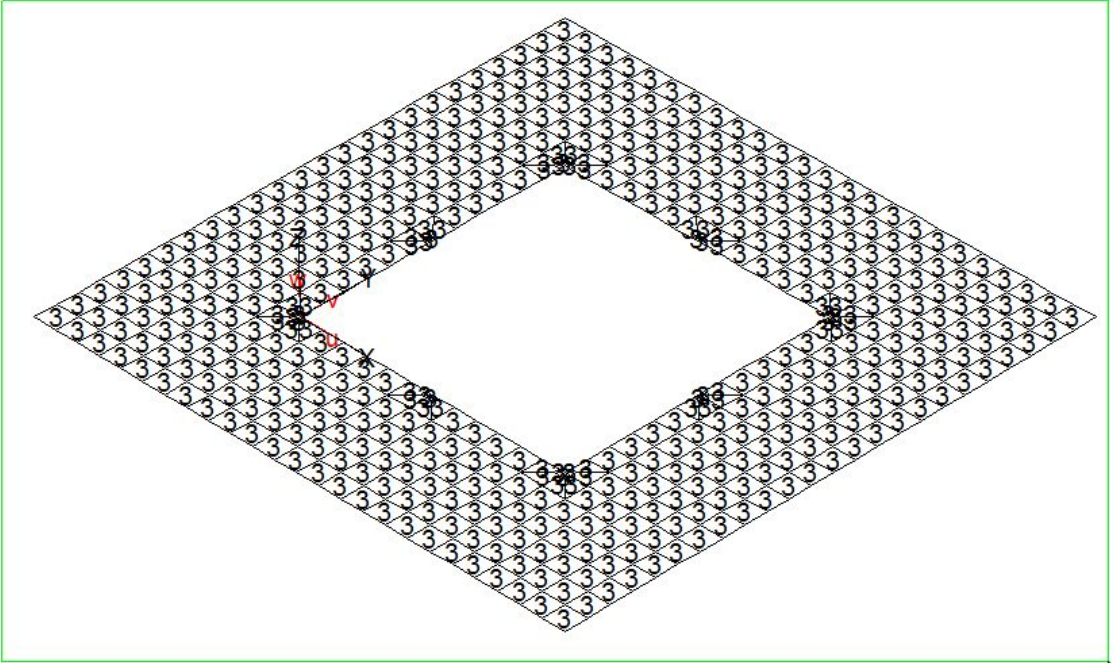
The screenshot shows a software interface for structural analysis. The main window displays a 3D grid with a red object (a small structure) on it. A coordinate system is visible in the top-left corner, with axes labeled X, Y, and Z. The right side of the interface contains a control panel with various options and buttons.

Zoom
Refr
Word
XY YZ XZ 3D
Einz Auto Box Krz
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
<X-Y-Z-Координаты>

Удалите узлы из группы с одинаковыми типами абсолютно твёрдого тела

Шаг 6. Удаляем материалы с законтурных элементов.

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
Материалы
-установить
-удалить
-редактировать
-сечения ЖБК
-произвольн. сечения
-сортамент профилей
-преобразовать вес
-стандарты
<X-Y-Z-Координаты>

Выберите элементы для удаления с них материала

Шаг 7. Производим статический расчет здания.

Параметры расчета

Тип расчета

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

Итерационный расчет

Точность

Количество собственных форм

Диапазон искомым 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
- Изменение геометрии для эксцентриситетов

Многопоточный расчёт

Проект

Примечание

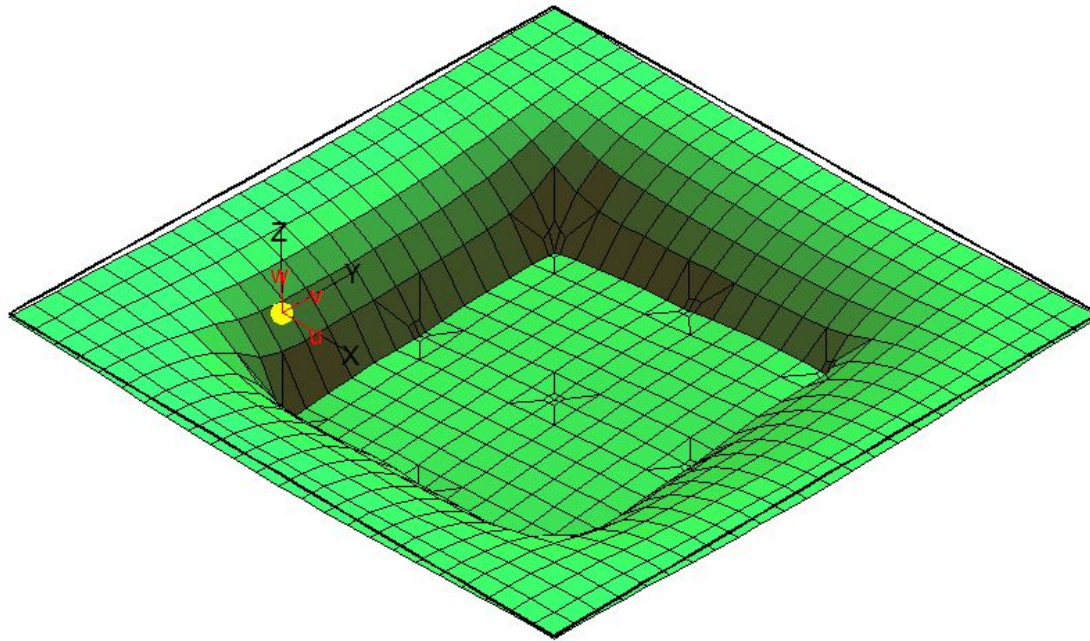
Исполнитель

Выбор типа решателя

- Профильный
- Разреженный
- Фронтальный

Шаг 8. 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

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

Мах перемещение = 43.206 мм в узле 2

<X-Y-Z-Координаты>

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

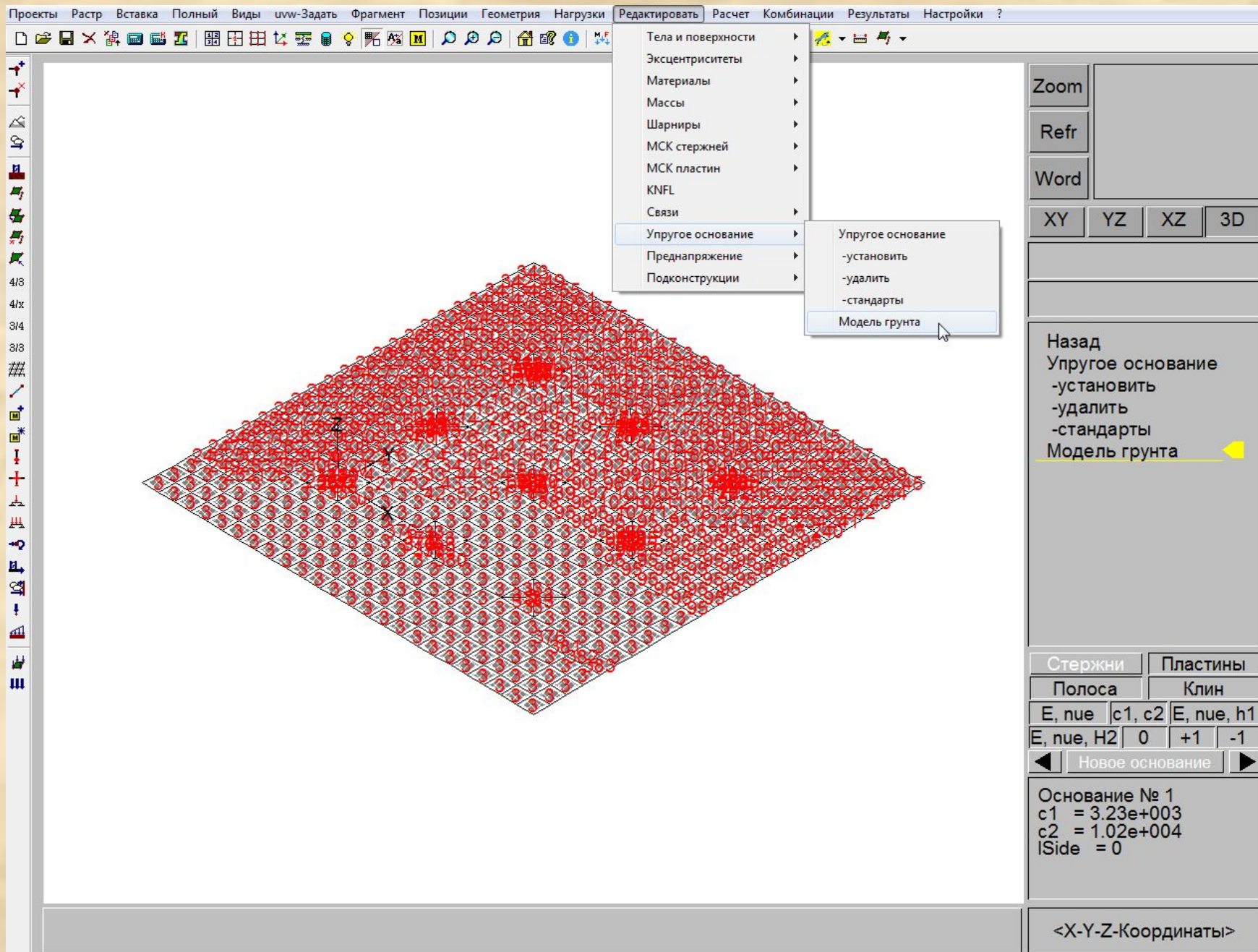
Zoom
Refr
Word
XY YZ XZ 3D

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/м³

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 Пуассон [-]	Удельн. вес [кН/...	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
7					

Использовать абсолютные отметки Отметка подошвы фундамента

После окончания выполнить статический расче

$H_{c,min} = 4 + 0.1b$ 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]	Кэфф. 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

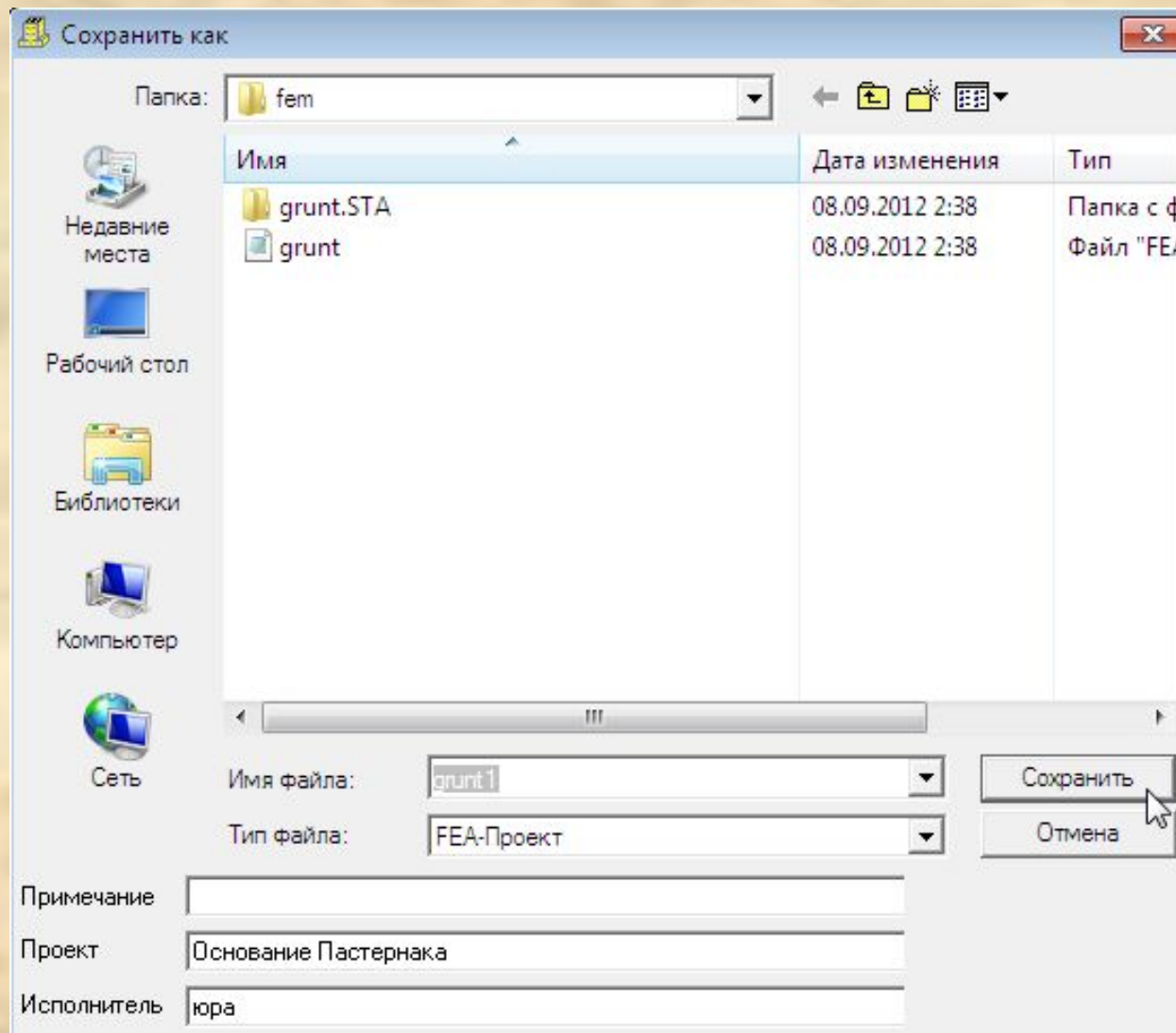
Глубина сжимаемой толщи $H_{с, \min} = 5.20\text{м}$
Коэффициент (для определения $H_{с}$) $K = 0.50$
Минимальное значение $C1$ $C1, \min = 1.00$
Расчетная модель основания: модель Пастернака
Опции для расчета:
-двухстадийная работа грунта по СП 22.13330.2011

Выборка результатов

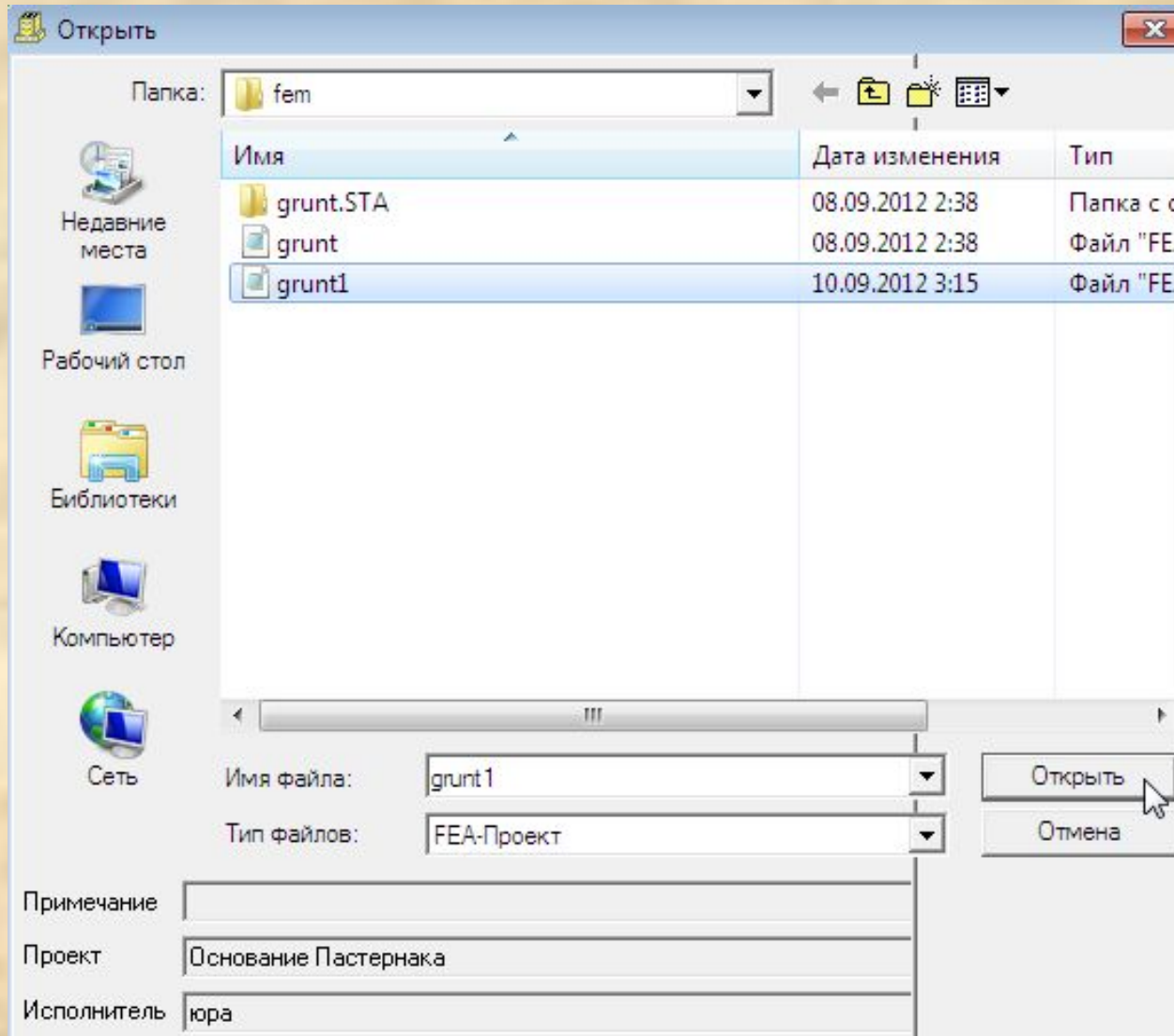
Параметр	Давление на грунт, кПа	Глубина сжимаемой толщи, м	Осадка, см	$C1$, кН/м ³	$C2$, кН/м
Макс. значение	4573.71	6.64	11.293	6292.99	27521.55
Номер элемента	1	115	1	176	115
Мин. значение	80.12	5.20	1.662	3345.47	6871.67
Номер элемента	148	1	114	8	8
Сред. значение	189.33	5.69	2.982	4400.14	14221.08

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

Шаг 11. Сохраняем расчетную модель под новым именем `grunt1.fea`.

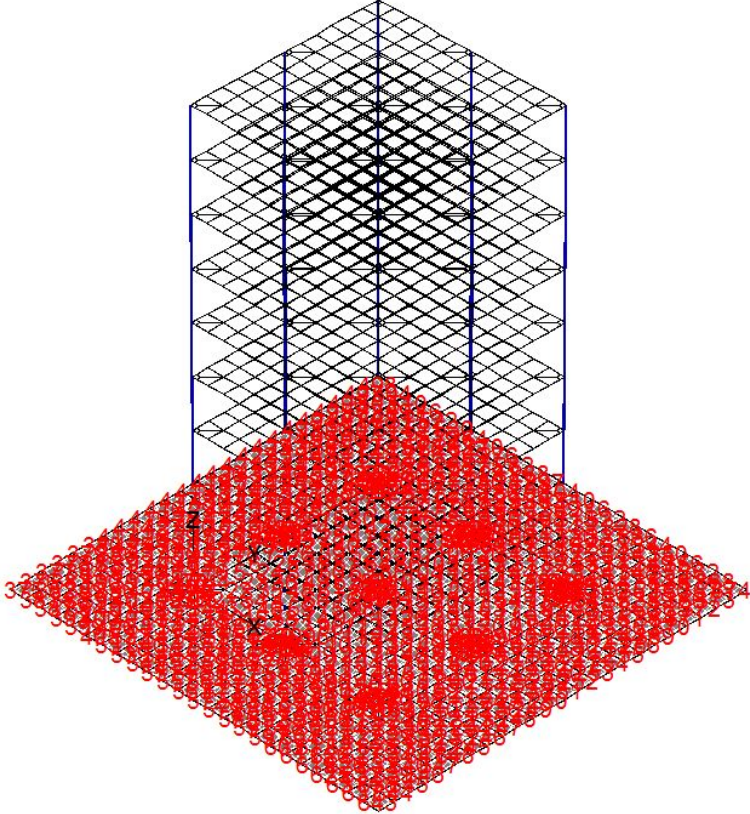


Шаг 12. Выгружаем расчетную модель **grunt.fea** и загружаем полученную модель **grunt1.fea**



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

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
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 № 648
c1 = 1.46e+003
c2 = 2.29e+004
ISide = 0
<X-Y-Z-Координаты>

Шаг 13. Производим статический расчет здания.

Параметры расчета

Тип расчета

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

Итерационный расчет

Точность

Количество собственных форм

Диапазон искомым 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
- Изменение геометрии для эксцентриситетов

Многопоточный расчёт

Проект

Примечание

Исполнитель

Выбор типа решателя

- Профильный
- Разреженный
- Фронтальный

Шаг 14. 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

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

Мах перемещение = 38.0611 мм в узле 2

<X-Y-Z-Координаты>

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.

The screenshot shows a software interface with a 3D model of a foundation grid. The grid is composed of red nodes and lines, forming a diamond-shaped structure. A context menu is open over the model, listing various options. The 'Упругое основание' (Elastic foundation) option is selected, and a sub-menu is displayed with the following items: 'Упругое основание', '-установить', '-удалить', '-стандарты', and 'Модель грунта'. The 'Модель грунта' option is highlighted by the mouse cursor.

The software interface includes a menu bar at the top with the following items: Проекты, Растр, Вставка, Полный, Виды, uvw-Задать, Фрагмент, Позиции, Геометрия, Нагрузки, Редактировать, Расчет, Комбинации, Результаты, Настройки, ?. Below the menu bar is a toolbar with various icons. On the left side, there is a vertical toolbar with icons for different views and tools. The main workspace contains the 3D model. On the right side, there is a control panel with the following sections:

- Zoom, Refr, Word
- XY, YZ, XZ, 3D
- Назад, Упругое основание, -установить, -удалить, -стандарты, **Модель грунта**
- Стержни, Пластины
- Полоса, Клин
- Table with columns: 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

Hc 8 м Ввод

Hc.min 5.2 м

k 0.5

Расчетная модель основания

Объемные КЭ

5 Число слоев

Опции для расчета

0.25 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 Пуассон [-]	Удельн. вес [кН/...]	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					

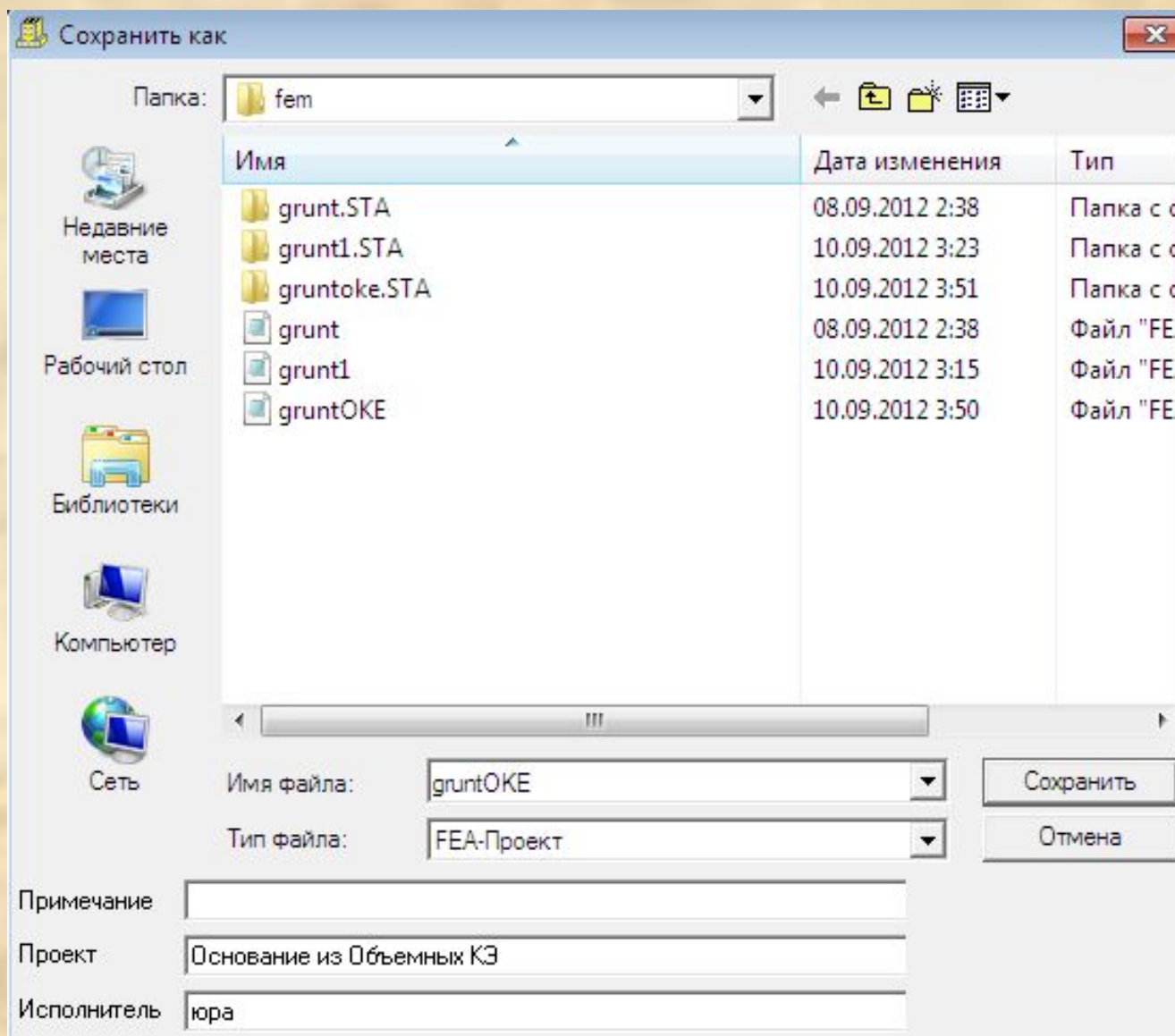
Удалить Очистить

Использовать абсолютные отметки Отметка подошвы фундамента 152

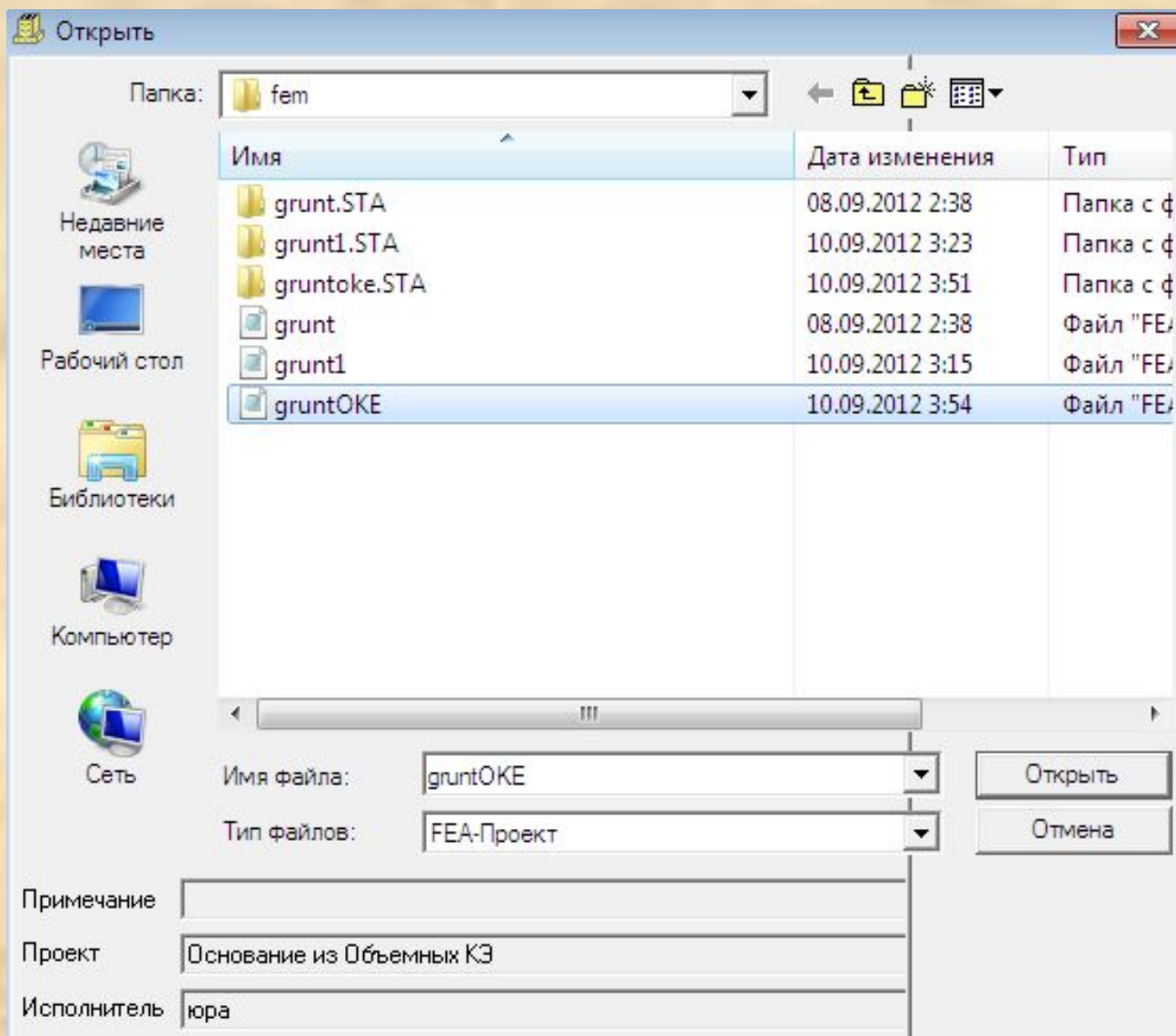
После окончания выполнить статический расчет

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

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

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

Выбор типа решателя

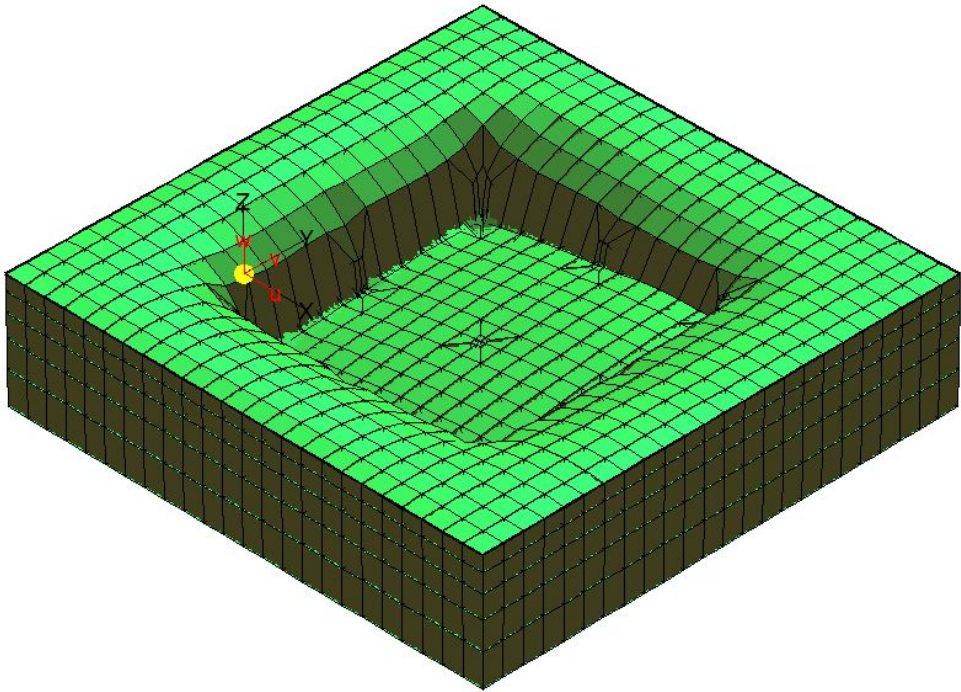
- Профильный
- Разреженный
- Фронтальный

OK

Отменить

Шаг 21. 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
Коэф. Сист. Frame Ver
Iso FI S W
Ux Uy Uz Rx Ry Rz
Rtot Utot
Комбинация 1
Мах перемещение = 45.6283 мм в узле 2
<X-Y-Z-Координаты>