

## ГЛАВА 5. СИСТЕМА ГРУНТ

### 5.1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**Редактор грунта** предназначен для автоматизированного создания модели грунта и расчета параметров упругого основания: для фундаментных плит это коэффициенты постели  $C_1$ ,  $C_2$ ; для свай это расчет жесткостей, несущей способности на сжатие и на выдергивание.

В одной расчетной модели может быть задан или плитный фундамент, или свайный. Совмещение этих фундаментов не реализовано.

При разработке **Редактора грунта** учитывались требования следующих нормативных документов:

- СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений.
- СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.
- СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений.
- СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений.
- ДБН В.2.1-10:2009. Основания и фундаменты сооружений.
- ДБН В.2.1-10:2009 (Изм.№1 для свай).

**Редактор грунта** и редактор формирования расчетной модели взаимосвязаны. В редакторе формирования расчетной модели создается конечно-элементная модель фундамента с нагрузкой  $P_z$  на уровне подошвы фундамента (см. п. 2.11.9). Нагрузка, приложенная на каждый элемент, моделирующий фундаментную плиту, передается в **Редактор грунта**. Типы элементов, на которые может назначаться  $P_z$ , могут быть либо стержневыми, либо пластинчатыми (для фундаментных плит), или одноузловыми (для свай).

Чтобы одноузловой элемент стал сваей, ему, кроме  $P_z$ , нужно назначить сечение-сваю.

Одноузловые элементы-сваи можно объединять в группы, такие как кусты свай или условные фундаменты.

В **Редакторе грунта** задается информация, относящаяся к инженерно-геологическим условиям строительной площадки: свойства грунтов основания, расположение скважин, нагрузки от соседних фундаментов. Задаются параметры и нормативны расчета. Результаты работы **Редактора грунта** автоматически переносятся в редактор формирования расчетной модели (см. п. 5.2.5). После выполнения расчета пользователь имеет возможность пересчитывать значения коэффициентов постели  $C_1$  и  $C_2$  для плит или жесткостей для свай на фактическую нагрузку (см. п. 5.4).

Средством контроля заданных параметров являются геологические **Разрезы**, построенные в любом месте площадки строительства (см. п. 5.2.3).

Расчет коэффициентов постели производится на основании модели линейно упругого полупространства, которая применяется при вычислении осадок основания, а также моделей основания, предложенных Винклером-Фуссом и Пастернаком [5.3].

Результаты расчета могут быть представлены как в графическом, так и в табличном виде (см. п. 5.2.5).

#### 5.1.1 Назначение исходных данных для расчета фундаментов

Чтобы элемент расчетной схемы стал фундаментной плитой, ему нужно:

- Назначить упругое основание (см. 2.11.9) с заданный в нем  $P_z$  и отметкой **Уточнить по модели грунта**.
- Для стержневых элементов, если нет отметки **Ширина из сечения**, — задать ширину, в противном случае задать стержню сечение.

Чтобы одноузловой элемент 57 типа стал сваей, ему нужно:

- Назначить элементу упругое основание (см. 2.11.9) с типом 57 (одноузловой элемент упругой связи).
- Задать в упругом основании  $R_z$  и отметить **Уточнить по модели**.
- Назначить элементу сечение **Свая (упругая связь)**.

Сечение **Свая (упругая связь)** создается в Редакторе сечений/жесткостей (см. 2.13)

Нажмите в окне редактора кнопку **Специальные сечения** и выберите элемент **Свая (упругая связь)**, после чего в редакторе появится окно параметров выбранного сечения (рис. 5.1):

Специальные сечения : Свая (упругая связь) : Свая (упругая связь)

Имя:  Описание:

Свая (упругая связь)

Параметры жесткости КЭ

Погонная жесткость связи на растяжение-сжатие вдоль глобальной/локальной оси узла, тс/м			Погонная жесткость связи на поворот вокруг глобальной/локальной оси узла, тс*м		
Rx	Ry	Rz	Rux	Ruy	Ruz
<input checked="" type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 0	<input checked="" type="checkbox"/> 0

Конструктивное решение сваи:

Поперечное сечение сваи:

Использовать условную ширину  $b_p$   
 Нижний конец сваи:  
 Открытый конец сваи  Пята сваи с уширением  
 Закрытый конец сваи Диаметр уширения  $d_b$   0 м

Параметры расчета сваи

Длина	L	6 м
Количество участков разбиения	n	10
Модуль упругости ствола	E	3.06E+06 тс/м <sup>2</sup>
Коэффициент Пуассона	$\nu$	0.2
Глубина от поверхности земли, на которой не учитывается сопротивление грунта по боковой поверхности (при сейсмическом воздействии)	$h_d$	<input type="checkbox"/> 0 м
Объемный вес	$\gamma$	2.5 тс/м <sup>3</sup>
Способ погружения свай	1.Погружение сплошных и полых с закрытым нижним концом свай механич...	
Тип конструкции	1.Фундаменты под конструкции, за исключением п.2 и п.3 (см ниже)	
Коэффициент условий работы для определения $F_d$ (сжатие)	$\gamma_c$	2. $\gamma_c = 1$ в остальных случаях
Коэффициент условий работы для определения $F_{du}$ (выдергивание)	$\gamma_c$	3. $\gamma_c = 1$ для больших переходов, если вес свай и ростверка равн...
Коэффициент надежности по грунту	$\gamma_k$	1.4
Несущая способность (сжатие)	$F_d$	<input checked="" type="checkbox"/> 0 тс
Несущая способность (выдергивание)	$F_{du}$	<input checked="" type="checkbox"/> 0 тс

Вычисление жесткости одиночной сваи

Рис. 5.1. Сечение **Свая**

В редакторе указываются характеристики сваи, способ ее погружения, тип конструкции, в которой она состоит, и пр.

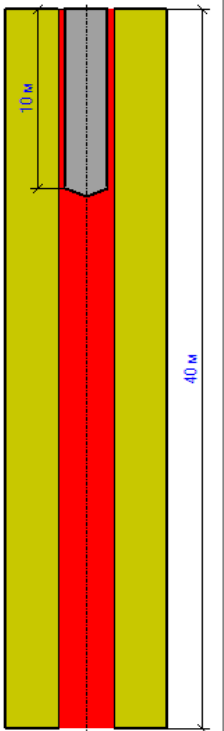
Установка флажков в столбцах **Rx**, **Ry**, **Rz**, **Rux**, **Ruy**, **Ruz**, **hd**, **Fd** и **Fdu** указывает программе, что значения в этих полях будут рассчитываться и заполнятся программой. В противном случае программа будет использовать значение, заданное пользователем в соответствующем поле. Расчет жесткости сваи, глубины **hd** и несущей способности сваи на сжатие и выдергивание можно выполнить в этом редакторе, нажав кнопку **Вычисление жесткости одиночной сваи** (см. 5.1.2), или в редакторе грунта (см. 5.2).

### 5.1.2 Расчет жесткости одиночной сваи

Если в окне редактора **Свая (упругая связь)** нажать кнопку **Вычисление жесткости одиночной сваи**, появится окно с закладками (рис. 5.2):

Вычисление жесткости одиночной сваи

Геология    Параметры    Результат





Геология		
Количество слоёв грунта	n	1
Характеристики слоя		
Текущий номер	i	1
Цвет		
Толщина	$h_i$	40 м
Модуль деформации	$E_i$	2753.2 тс/м <sup>2</sup>
Коэффициент Пуассона	$\nu_i$	0.35
Число пластичности	$I_{p_i}$	0
Природная влажность	w	0.2
Удельное сцепление	$c / i$	2.65 тс/м <sup>2</sup>
	$c // i$	2 тс/м <sup>2</sup>
Угол внутреннего трения	$\varphi / i$	21.7 °
	$\varphi // i$	18 °
Удельный вес	$\gamma / i$	1.87 тс/м <sup>3</sup>
	$\gamma // i$	1.87 тс/м <sup>3</sup>
Вода	<input type="checkbox"/>	
Коэффициент пропорциональности	$K_i$	1811 тс/м <sup>4</sup>
Тип грунта		

Рис. 5.2. Вычисление жесткости одиночной сваи

На закладке **Геология** задаются слои грунта, каждый со своими характеристиками. На закладке **Параметры** задаются нормы и параметры расчета сваи: сейсмичность/повторяемость, глубина погружения сваи в грунт, коэффициенты условий работы и коэффициенты надежности, расчетное сопротивление под пятой, вертикальная и горизонтальная нагрузка. Кнопка **Вычислить** запускает расчет. Результат выводится на закладку **Результат**.

## 5.2 РЕДАКТОР ГРУНТА

Чтобы вызвать **Редактор грунта**, воспользуйтесь командой **Редакторы** ⇌ **Редактор грунта** или кнопкой  на панели инструментов.

Пространство экрана в **Редакторе грунта** разделено на 3 части. В основной части экрана расположен **Двумерный графический редактор** (п. 2.12, Глава 2). Внизу экрана находится таблица **Характеристики грунтов** либо, в случае выполнения геологического разреза, **Разрез**. Слева отображаются панели создания/редактирования скважин или нагрузок, а также панели визуализации локальных результатов расчета.

В начальном окне загрузки в поле двумерного графического редактора отображается план площадки строительства с перенесенными из режима формирования расчетной схемы нагрузками  $P_z$ . В этом поле задаются расположение **Скважин** и дополнительные нагрузки от соседних фундаментов.

### 5.2.1 Характеристики грунтов

Таблица исходных данных **Характеристики грунтов** относится к инженерно-геологическим условиям. Здесь задаются инженерно-геологические элементы (ИГЭ) грунтового массива, входящие в геологический разрез **Скважин**.

На рис. 5.3 представлена Таблица по умолчанию Характеристики грунтов.

№ ИГЭ	Усл. обоз.	Наименование грунта	Насыпной грунт	Цвет	Модуль деформации, тс/м <sup>2</sup>	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, тс/м <sup>3</sup>		Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, доли	Показатель текучести	Вода	Число пластичности	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, тс/м <sup>2</sup>		Угол внутреннего трения, °		Метод статич. зондирования	Коэффициент пропорциональности К, тс/м <sup>4</sup>	Тип грунта для свайного основания
							γ I	γ II							c I	c II	φ I	φ II			
1		Насыпной	<input checked="" type="checkbox"/>		1000	0.30	1.77	1.8	5	0.05	0.200	<input type="checkbox"/>	9.00	0.700	0.33	0.5	14.55	16	<input checked="" type="checkbox"/>	7647.9	1. Крупнообломочный грунт с песчаным заполнителем, K=5098.581+10197.16 тс/м <sup>4</sup>
2		Песок пылеватый	<input type="checkbox"/>		1800	0.30	1.72	1.75	5	0.25	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>	0.00	0.540	0.07	0.1	28.18	31	<input type="checkbox"/>	13256	2. Песок плотный гравелистый, e<0.55, K=13256.31 тс/м <sup>4</sup>
3		Супесь	<input type="checkbox"/>		2000	0.30	1.79	1.82	5	0.26	0.500	<input checked="" type="checkbox"/>	4.00	0.720	0.53	0.8	19.13	22	<input type="checkbox"/>	968.73	13. Супесь пластичная, 0<IL<1, K=713.8013+1223.659 тс/м <sup>4</sup>
4		Суглинок тугопластичный	<input type="checkbox"/>		1800	0.35	1.83	1.87	5	0.17	0.260	<input type="checkbox"/>	10.00	0.680	1.33	2	15.65	18	<input type="checkbox"/>	1811	16. Суглинок тугопластичный, 0.25<IL<0.5, K=1223.659+1835.489 тс/м <sup>4</sup>
5		Глина полутвердая	<input type="checkbox"/>		2200	0.42	1.88	1.92	5	0.02	0.150	<input type="checkbox"/>	24.00	0.800	3.33	5	13.91	16	<input type="checkbox"/>	1468.4	20. Глина полутвердая, 0<IL<0.25, K=1223.659+1835.489 тс/м <sup>4</sup>
< ... >																					

Рис. 5.3. Таблица по умолчанию Характеристики грунтов

Таблица по умолчанию Характеристики грунтов содержит пять строк. В них приведены наиболее часто встречающиеся грунты с осредненным значением их характеристик [5.2]. В случае необходимости к Таблице по умолчанию можно вернуться щелчком на закладке Характеристики грунтов через контекстное меню.

### Создание ИГЭ

Для создания нового ИГЭ необходимо перейти на пустую строку в конце таблицы. Правила заполнения столбцов таблицы:

- Номер ИГЭ — присваивается автоматически после ввода полной информации.
- Условное обозначение ИГЭ — произвольный текст. Как правило, совпадает с обозначением, предложенным геологами в инженерно-геологическом описании площадки строительства.
- Наименование грунта — для каждой строки название грунта уникально. В случае совпадения наименования грунта программа автоматически модифицирует текст.
- Насыпной грунт — используется при планировке подсыпки.
- Цвет ИГЭ. Редактируется щелчком мыши по ячейке.
- Модуль деформации по ветви первичного нагружения E.
- Коэффициент Пуассона ν.
- Нормативный удельный вес грунта γ двух типов I и II.
- Коэффициент перехода ко второму модулю деформации — коэффициент перехода от модуля деформации по ветви первичного нагружения к модулю деформации по ветви вторичного нагружения. По умолчанию равен 5.
- Природная влажность ω.
- Показатель текучести I<sub>L</sub>.
- Вода — если задана данная отметка, программа учитывает взвешивающее действие воды:

при степени влажности грунта  $S_r \neq 1$ :

$$\gamma_{взв} = \frac{\gamma_s - \gamma_\omega}{1 + e} \quad (5.1)$$

при степени влажности грунта  $S_r = 1$ :

$$\gamma_{взв} = \gamma_s - \gamma_\omega; \quad (5.2)$$

где:

$$S_r = \frac{\omega \cdot \gamma_s}{e \cdot \gamma_\omega}; \quad (5.3)$$

$$\gamma_s = \frac{\gamma(1 + e)}{1 + \omega}; \quad (5.4)$$


- число пластичности;
- коэффициент пористости e;
- удельное сцепление cI и cII;
- угол внутреннего трения φI и φII;
- метод статического зондирования для свайного основания;

- коэффициент пропорциональности  $K$  для свайного основания;
- тип грунта для свайного основания.

### Редактирование ИГЭ

Удаление ИГЭ выполняется путем выделения строки с его описанием и нажатия клавиши **Del**.

Редактирование наименования и характеристик грунта выполняется путем указания курсором на нужную ячейку с последующим вводом данных.


 ПК ЛИРА выполняет автоматический контроль характеристик грунтов по их граничным значениям [5.2].

В случае визуализации в нижней части экрана геологического **Разреза** переход к таблице **Характеристики грунтов** осуществляется через закладку, расположенную внизу экрана.

## 5.2.2 Скважины, нагрузки

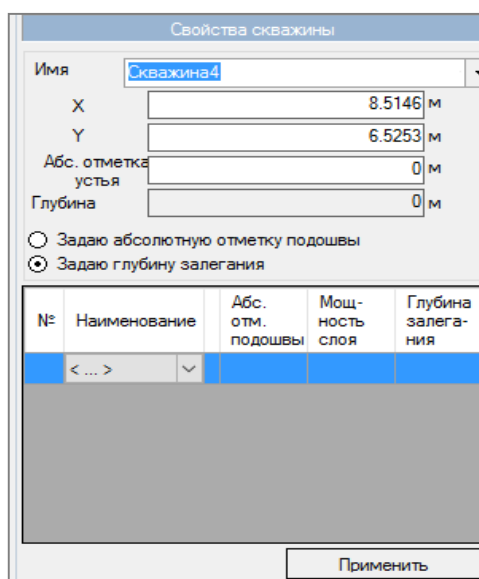
### Скважины

Перед заданием скважин необходимо задать все необходимые грунты в таблице **Характеристики грунтов**.

Для создания скважины нажмите кнопку  **Скважина** на вертикальной панели инструментов. Затем укажите курсором мыши на схеме **Двумерного графического редактора** положение скважины и дважды щелкните мышью. В левой части экрана появится панель **Свойства скважины** (рис. 5.4).

Здесь можно уточнить характеристики скважины:

- **Имя;**
- **X, Y** — координаты X, Y устья скважины на схеме (площадке строительства);
- **Абс. отметку устья** — абсолютную отметку устья.



№	Наименование	Абс. отм. подошвы	Мощ-ность слоя	Глубина залегания
<...>				


Рис. 5.4. Панель **Свойства скважины**

Внизу панели расположена таблица геологического **Разреза** скважины, каждая строка которой определяет слой грунта. Таблица состоит из 6 столбцов:

- **№** — номер ИГЭ скважины, присваивается при создании слоя.
- **Наименование** — название грунта, соответствует наименованию грунта из таблицы **Характеристики грунтов**. Выбирается из раскрывающегося списка.
- **Цвет** — цвет слоя грунта, соответствует цвету грунта из таблицы **Характеристики грунтов**. Присваивается автоматически после выбора слоя грунта.
- **Абс. отм. подошвы** — абсолютная отметка подошвы слоя. Задается в случае выбора отметки **Задаю автоматическую отметку подошвы**, в противном случае вычисляется автоматически.
- **Мощность слоя** — мощность слоя, вычисляется автоматически.
- **Глубина залегания** — глубина залегания подошвы слоя. Задается в случае выбора отметки **Задаю глубину залегания**, в противном случае вычисляется автоматически.

Для добавления слоя грунта в таблицу выбираем его в раскрывающемся списке с обозначением <...> столбца **Наименование**. Затем указываем глубину или абсолютную отметку подошвы слоя и нажимаем клавишу **Enter**.

Кнопка **Применить** служит для немедленного запоминания и применения характеристик скважины в проекте.


 *Положение скважин на схеме модели грунта можно менять в **Двумерном графическом редакторе** средствами копирования, переноса и т.д., или на панели **Свойства скважины**, изменяя координаты **X, Y**.*

### Нагрузки

В модели грунта существуют два вида нагрузок:

- нагрузки на элементы, моделирующие фундаментную плиту (плиты, стержни или сваи);
- нагрузки от соседних фундаментов.

Первый вид нагрузок связан с расчетной схемой и задается в режиме **Упругое основание** в редакторе формирования расчетной модели. Эти нагрузки отображаются на схеме редактора в соответствии с координатами расчетной схемы и автоматически переносятся в **Редактор грунта** в виде проекции на плоскость  $XOY$ .

 *Переносятся только те элементы, нормаль к плоскости которых наклонена к вертикали от 0 до 20 градусов, не более. Кроме того, стержням и одноузловым элементам должно быть назначено сечение.*

В **Редакторе грунта** нагрузки на элементы, моделирующие фундаментную плиту или сваи, не могут изменить свои координаты по **X** и **Y**.


Нагрузки от соседних фундаментов создаются и редактируются в **Редакторе грунта**, по правилам редактирования графических объектов в **Двумерном графическом редакторе**. После создания эти графические объекты автоматически становятся нагрузками.

Для редактирования **Свойств нагрузок** выделяем их на схеме редактора. Выделить можно сразу несколько разнотипных нагрузок. В левой части экрана появится панель **Свойства нагрузки** (рис. 5.5):

Здесь можно выбрать конкретную нагрузку в раскрывающемся списке нагрузок, отмеченных на схеме, задать/изменить для этой нагрузки **Имя**, абсолютную отметку и величину **Pz**.


Слой грунта	Мощность
Нет	0 м

Рис. 5.5. Панель Свойства нагрузки

 *Изменение значения абсолютной отметки одного элемента фундаментной плиты или сваи приводит к автоматическому изменению отметок остальных ее элементов. При этом относительные координаты по вертикали между элементами фундаментной плиты сохраняются.*

Для нагрузок на элементы фундаментной плиты можно задать **Грунтовую подушку**.  
Для этого:


1. На схеме редактора выделяем элементы фундаментной плиты, под которой будет грунтовая подушка.
2. Выбираем переключатель **Грунтовая подушка** на панели **Свойства нагрузки**.
3. В таблице ниже, в раскрывающемся списке, выбираем **Слой грунта**, являющийся грунтовой подушкой для отмеченных элементов.
4. Задаем его **Мощность**.
5. Нажимаем клавишу **Enter**.

 *При расчетах C1 и C2 грунтовая подушка имеет приоритет перед насыпным грунтом и слоями грунта, определенными по информации из геологических разрезов скважин.*

Кнопка **Применить** служит для немедленного запоминания и применения характеристик нагрузки в проекте.

### 5.2.3 Геологические разрезы

Геологический **Разрез** выполняется по заданной пользователем линии на схеме **Двумерного графического редактора**. Разрез может быть выполнен, если на схеме задана хотя бы одна скважина. Разрез можно выполнить как для вертикальной плоскости, так и для горизонтальной.

Для построения вертикального разреза нажмите на панели инструментов **Редактора грунта** кнопку  **Вертикальный разрез**. Затем укажите мышью на поле **Двумерного графического редактора** положение первой точки на линии разреза. Зафиксируйте точку

щелчком мыши. Перемещая мышь в нужном направлении линии разреза, зафиксируйте вторую точку линии щелчком мыши. На схеме появится красная линия, по которой выполняется геологический **Разрез** (рис. 5.6):

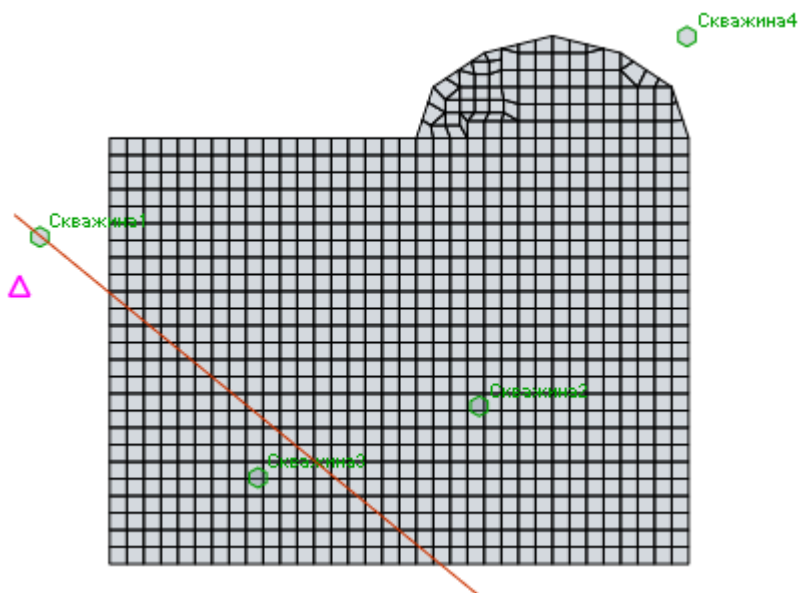


Рис. 5.6. Построение геологического разреза

Сам разрез отобразится внизу экрана в закладке **Разрез** (рис. 5.7):

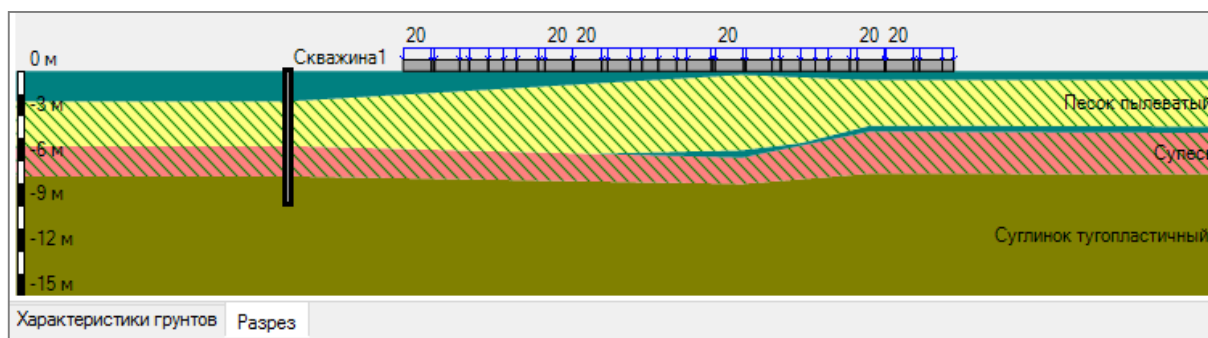



Рис. 5.7. Вертикальный разрез

На **Разрезе** отображаются:

- слои грунта в цветах из таблицы **Характеристики грунтов**;
- **Скважины**, если через них прошел **Разрез**;
- нагрузки, если через них прошел **Разрез**;
- шкала глубины, в единицах длины;
- названия некоторых слоев грунта;
- грунтовая подушка, если она есть.

Для построения горизонтального среза нажмите на панели инструментов **Редактора грунта** кнопку  **Горизонтальный срез**. Слева от окна графического редактора появится ползунок, позволяющий регулировать глубину, на которой выполняется срез. Сам срез будет показан в окне графического редактора (рис. 5.8), где различные зоны среза будут окрашены в цвет, который соответствует грунту на этой глубине.

Ширина скважин и толщина нагрузок условна. Остальные размеры соответствуют масштабу схемы. Водонасыщенные слои отмечены штриховкой.



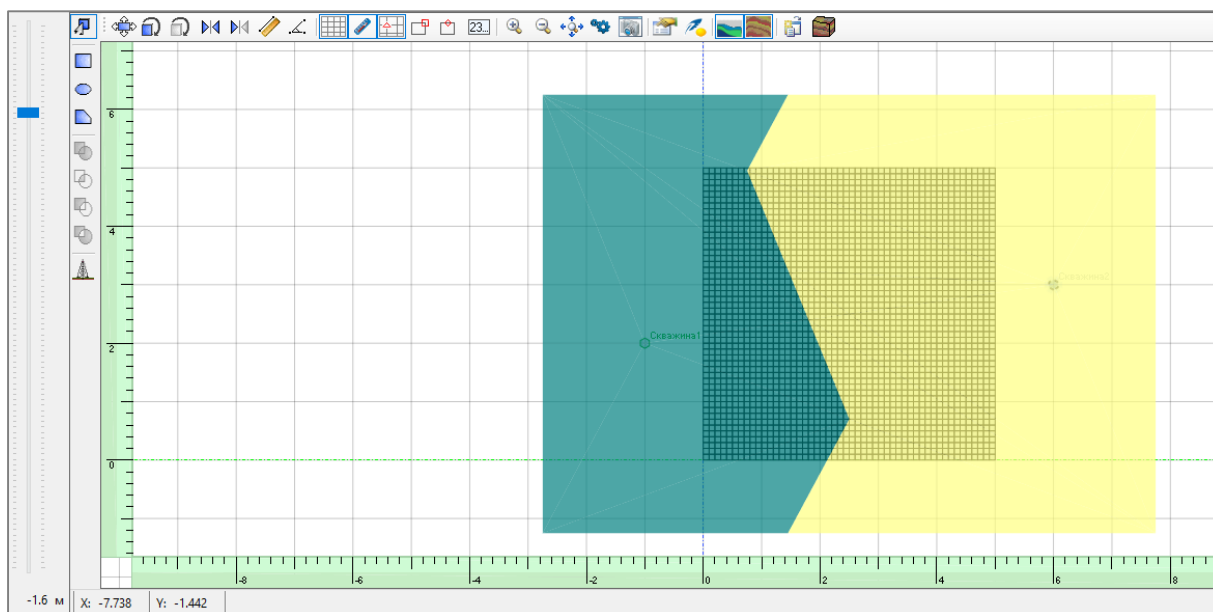


Рис. 5.8. Горизонтальный срез

В контекстном меню на закладке **Разрез** доступны следующие пункты:

- **Отметить скважину / Добавить скважину;**
- **Измерить расстояние / Закончить измерять расстояние;**
- **Экспортировать текущий разрез в файл \*.fer;**
- **Скопировать изображение разреза в файл;**
- **Отменить;**
- **Сбросить все изменения.**

Пункт меню **Отметить скважину** позволяет начать процесс добавления скважины на основании данных **Разреза**. После выбора этого пункта, перемещая мышью, можно выбрать положение скважины на разрезе (показано красной вертикальной линией). Одновременно, на схеме **Редактора грунта** показывается положение этой же скважины в виде черного шестиугольника. Завершить процесс добавления можно, выбрав в контекстном меню пункт **Добавить скважину** (скважина добавляется на схеме редактора) или выбрать пункт **Отменить** (тогда скважина не будет добавлена).

Пункт **Измерить расстояние / Закончить измерять расстояние** позволяет приблизительно проставить горизонтальные расстояния на вертикальном разрезе. Команда **Сбросить все изменения** — сбрасывает проставленные расстояния.


Пункт меню **Экспортировать текущий разрез в файл \*.fer** экспортирует **Разрез** в файл проекта ПК ЛИРА.

Пункт меню **Скопировать изображение разреза в файл** позволяет сохранить изображение разреза, как оно есть, в файл, для последующего использования его в **Отчетах**.

Пункт меню **Отменить** — отмена для команд **Отметить скважину / Добавить скважину** и **Измерить расстояние / Закончить измерять расстояние**.

Планировка на **Разрезе** не показывается.

### 5.2.4 Объемная модель грунта

Кнопка  на панели инструментов двумерного графического редактора служит для построения объемной модели грунта.

После нажатия указанной кнопки в левой части редактора грунта появляется дополнительная панель **Свойства объемной модели грунта** (рис. 5.9).



Данная функция позволяет на основании заданных скважин, отступов от плана здания или сооружения и заданной глубины построить 3D-модель грунтового основания, используя заданные параметры триангуляции в плане и по глубине. Построенную 3D-модель грунтового основания можно непосредственно присоединить к главной модели либо сохранить в файле.

### 5.2.5 Расчет

Исходными данными для **Расчета** упругого основания являются:

- перенесенная из **Исходных данных** схема элементов, моделирующих фундаментные плиты или сваи с нагрузками **Pz**;
- дополнительные **Нагрузки** на грунт (в случае необходимости), их расположение, величины и отметки плоскости приложения;
- модель грунта, содержащая описание **Характеристик грунтов** (ИГЭ) и сведения о **Скважинах** — их расположение и геология.

#### Нормы и характеристики расчета

При щелчке на кнопке  или кнопке  на панели инструментов **Редактора грунта** появится диалоговое окно **Установить нормы и характеристики расчета**, состоящее из трех вкладок:

- Общие
- Плиты
- Сваи

Вкладка **Общие** (рис. 5.10) предназначена для задания следующих параметров:

- Выбора **Модели расчета** упругого основания для заданной модели грунта. В программе реализованы 3 модели основания — модель Пастернака (расчет по **Методу 1**), модель Винклера-Фусса (расчет по **Методу 2**) и модифицированная модель Пастернака (расчет по **Методу 3**).

- Задания **Коэффициента глубины сжимаемой толщи  $\lambda$** . Параметр  $\lambda$  определяет условие поиска нижней границы сжимаемой толщи  $H_c$ . Используется в формуле  $\sigma_{zp} = \lambda * \sigma_{zq}$ , где  $\sigma_{zp}$  — дополнительное вертикальное нормальное напряжение от внешней нагрузки,  $\sigma_{zq}$  — вертикальное нормальное напряжение от собственного веса грунта.

- **Дополнительное постоянное напряжение по всей глубине**. Задание значения дополнительного напряжения, которое будет добавляться к напряжениям, возникающим от приложенных нагрузок, в любой точке сжимаемой толщи.

Вкладка **Плиты** позволяет задать следующие параметры (рис. 5.11):

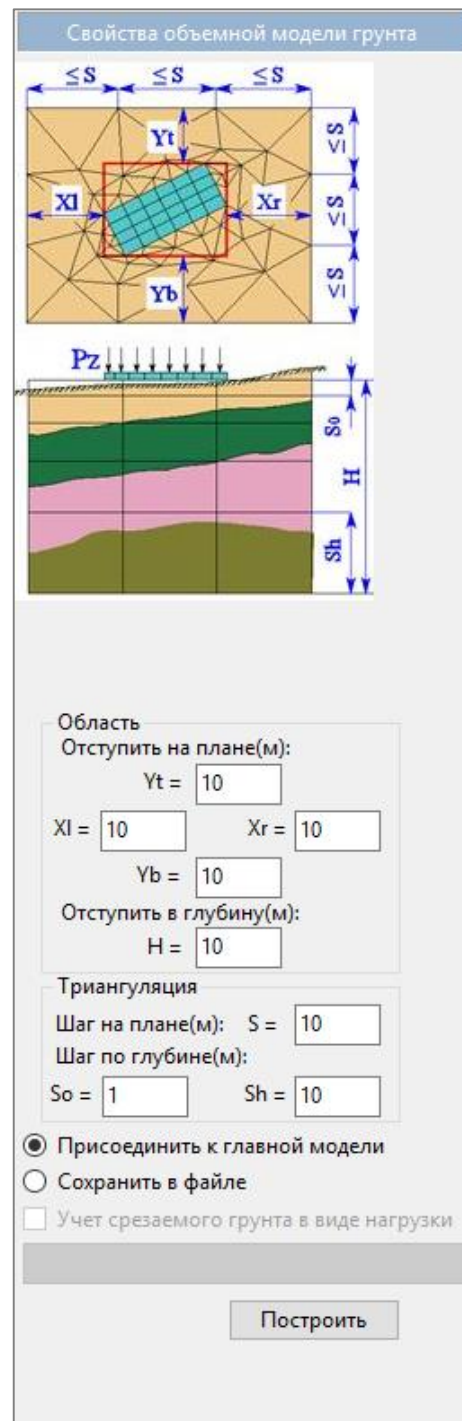


Рис. 5.9. Свойства объемной модели грунта

- **Выбор норм** — выбор нормативного документа, на основании которого будут вычисляться глубина сжимаемой толщи и осадки фундамента. Выбор производится путем установки соответствующего переключателя.
- **Рассчитывать коэффициент  $C_2$**  — при установке данного флажка рассчитывается коэффициент постели  $C_2$ .
- **Минимальная глубина сжимаемой толщи.** Этой величиной ограничивается минимальное значение глубины сжимаемой толщи. Значение может быть учтено при расчете по любым нормам. Допускается задавать равным нулю.
- **Учитывать вес грунта выше отметки приложения нагрузки** — при установке данного флажка учитывается вес грунта выше отметки приложения нагрузки (выше подошвы фундамента).
- **При расчете осадки фундаментов, возводимых в котлованах глубиной менее 5 метров,** учитывать второе слагаемое в приведенных формулах выбранных нормативных документах. При расчете осадки фундаментов, возводимых в котлованах глубиной менее 5 м, допускается в формуле не учитывать второе слагаемое. При установке флажка происходит учет разуплотнения грунта вследствие разработки котлована.

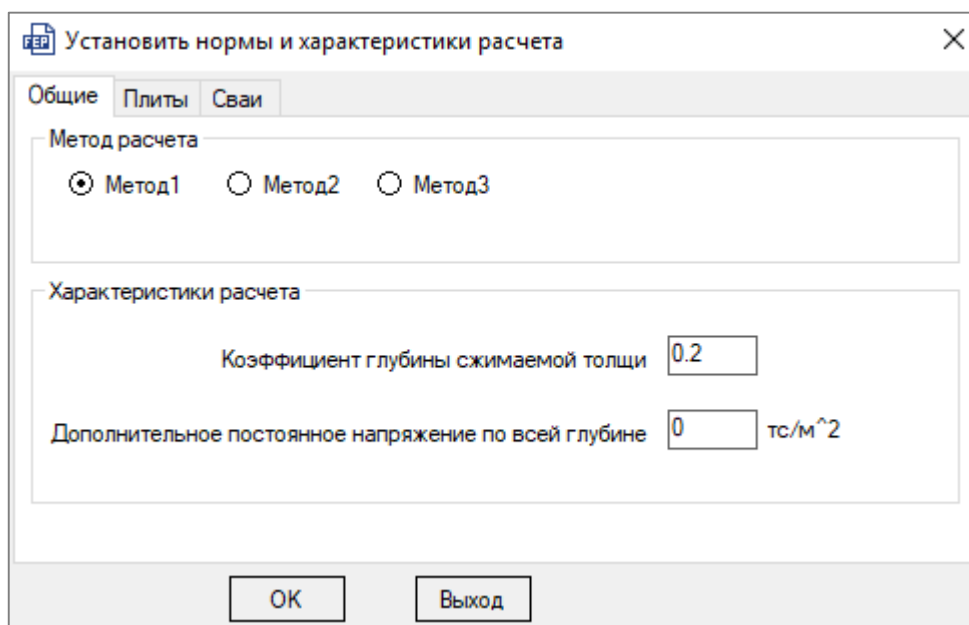


Рис. 5.10. Окно Установить нормы и характеристики расчета, вкладка Общие

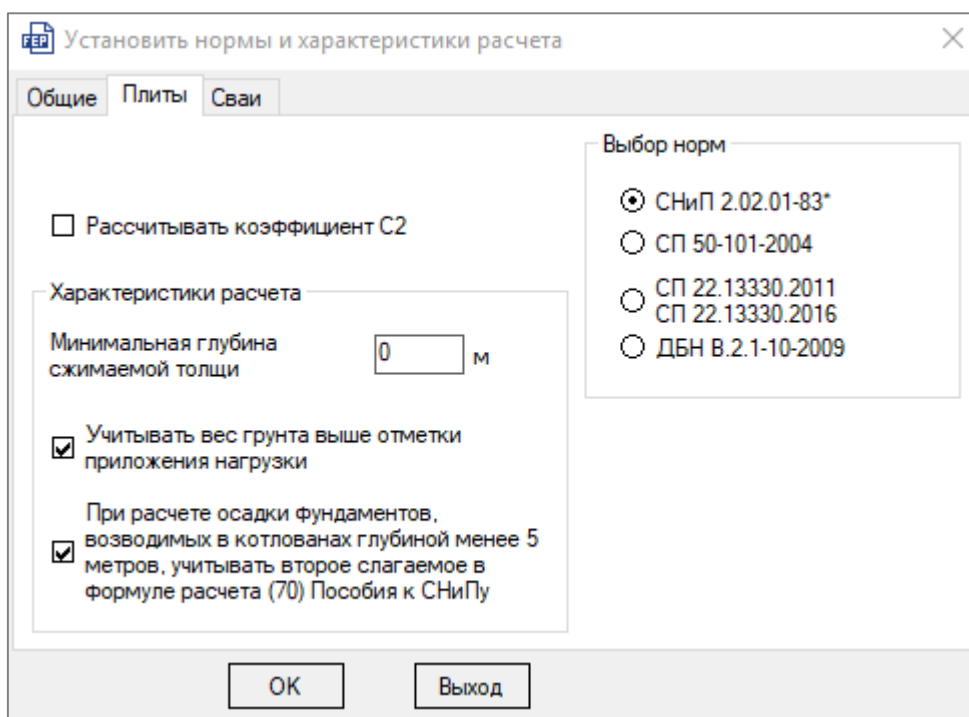


Рис. 5.11. Окно **Установить нормы и характеристики расчета**, вкладка **Плиты**

Вкладка **Сваи** (рис. 5.12) предназначена для выбора нормативного документа, по которому будет произведен расчет, а также различных коэффициентов, доступность которых зависит от выбранных норм. Расчет производится как для одиночных свай, так и для свай, объединенных в свайные кусты и в условный фундамент с учетом сейсмичности.

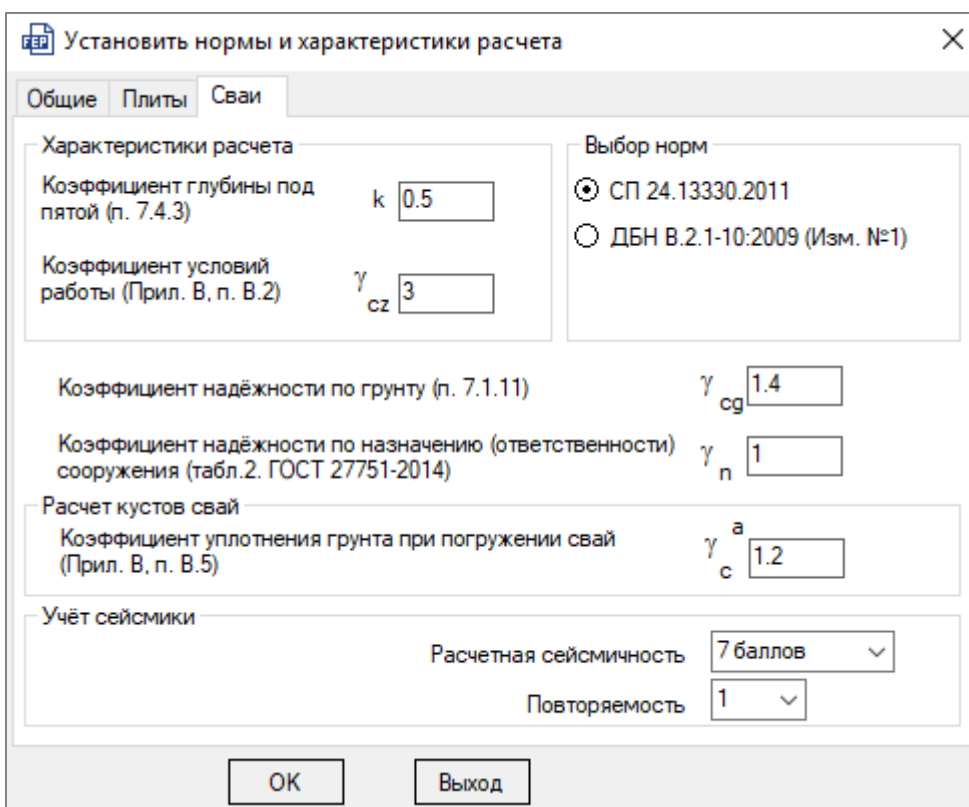


Рис. 5.12. Окно **Установить нормы и характеристики расчета**, вкладка **Сваи**

## Вычисление коэффициентов постели C1, C2

Существует множество моделей грунтового основания. На сегодняшний день, к сожалению, нет единого мнения об их применении в каждом конкретном случае. В программе реализованы 3 основных модели основания — модель Пастернака (расчет по **Методу 1**), модель Винклера-Фусса (расчет по **Методу 2**) и модифицированная модель Пастернака (расчет по **Методу 3**).

### Метод 1. Модель основания Пастернака

#### Вычисление коэффициента постели C1

По физическому смыслу коэффициент постели C1 означает величину усилия в тонна-силах, которое необходимо приложить к 1 м<sup>2</sup> поверхности основания, чтобы последнее осело на 1 м. Размерность C1 — тс/м<sup>3</sup>.

Значение коэффициента постели C1 в расчетной точке с координатами (x, y) определяется по формуле:

$$C1 = \frac{E_0}{H_c(1 - 2\nu_0^2)}, \quad (5.5)$$

где:

$E_0$  — усредненный модуль деформации;

$H_c$  — глубина сжимаемой толщи;

$\nu_0$  — усредненный коэффициент Пуассона.

#### Вычисление глубины сжимаемой толщи Hc

В соответствии с нормативными документами [5.1, 5.4–5.7], для расчета  $H_c$  используется расчетная схема в виде линейно-деформируемого полупространства.

В расчетной точке с координатами (x, y) на глубине  $z_j$  от каждой k-й внешней нагрузки на грунт вычисляются суммарные дополнительные вертикальные напряжения  $\sigma_{zpj} = \sum \sigma_{zpj_k}$  и вертикальные напряжения от собственного веса грунта  $\sigma_{zg_j}$ .

Если, начиная с глубины  $z_j$  и ниже, выполняется условие

$$\sigma_{zpj} < \lambda \sigma_{zg_j}, \quad (5.6)$$

то фиксируется глубина сжимаемой толщи  $H_c = z_j$ .

Важным параметром для проверки соотношения дополнительного вертикального напряжения  $\sigma_{zpj}$  и напряжения от собственного веса  $\sigma_{zg_j}$  является коэффициент глубины сжимаемой толщи  $\lambda$ , который задается в окне **Установить нормы и характеристики**.

В зависимости от выбранных норм, значение  $\lambda$  принимается по умолчанию:

- 0,2 по нормам [5.7, п. 6, Приложение 2].

Если нижняя граница сжимаемой толщи  $H_c$  находится в слое грунта с  $E < 5\text{МПа}$  или такой грунт залегает непосредственно ниже  $H_c$ , то происходит пересчет  $H_c$  на значение  $\lambda = 0,1$ . В этом случае после выполнения расчета появится сообщение (рис. 5.13):

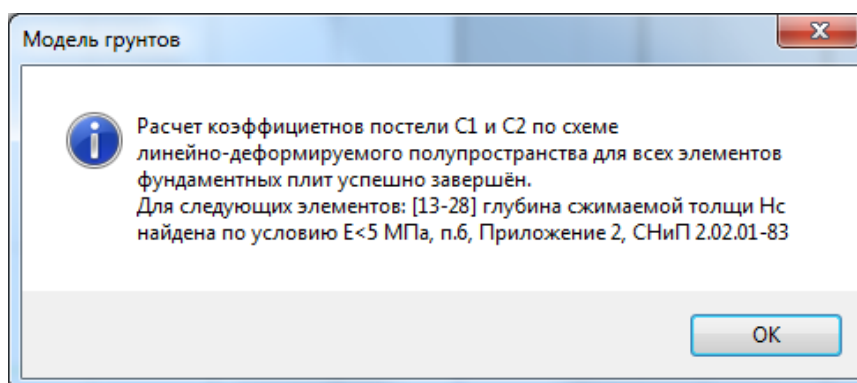


Рис. 5.13

- 0,5 по нормам [5.5, п. 5.5.41].

Если нижняя граница сжимаемой толщи  $H_c$  находится в слое грунта с  $E < 5 \text{ МПа}$  или такой грунт залегает непосредственно ниже  $H_c$ , то этот слой включается в сжимаемую толщину, а  $H_c$  принимается равным минимальному из значений, соответствующих подошве слоя или глубине, где выполняется условие:

$$\sigma_{zp_j} < 0.1\sigma_{zg_j} \quad (5.7)$$

На экране появится сообщение (рис. 5.14):

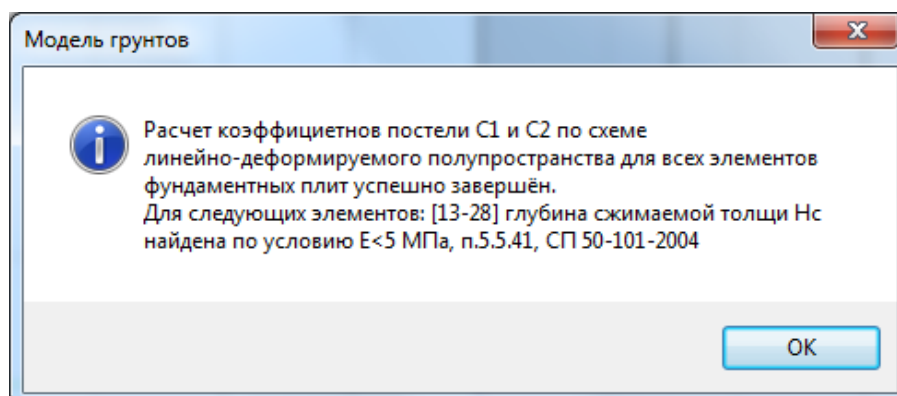


Рис. 5.14

- 0,5 по нормам [5.6, п. 5.6.41].

Если нижняя граница сжимаемой толщи  $H_c$  находится в слое грунта с  $E \leq 7 \text{ МПа}$  или такой грунт залегает непосредственно ниже  $H_c$ , то этот слой включается в сжимаемую толщину, а  $H_c$  принимается равным минимальному из значений, соответствующих подошве слоя или глубине, где выполняется условие:

$$\sigma_{zp_j} < 0.2\sigma_{zg_j} \quad (5.8)$$

На экране появится сообщение (рис. 5.15):

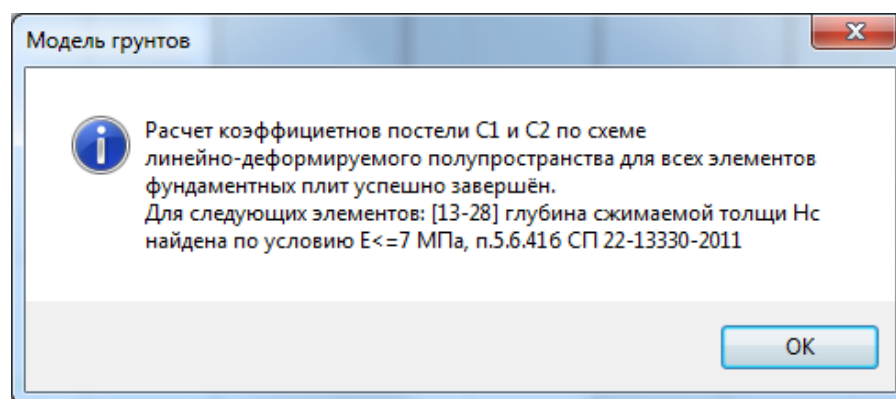


Рис. 5.15

- 0,5 по нормам [5.1].

Расчет аналогичен нормам [5.5]. На экране появится сообщение (рис. 5.16):

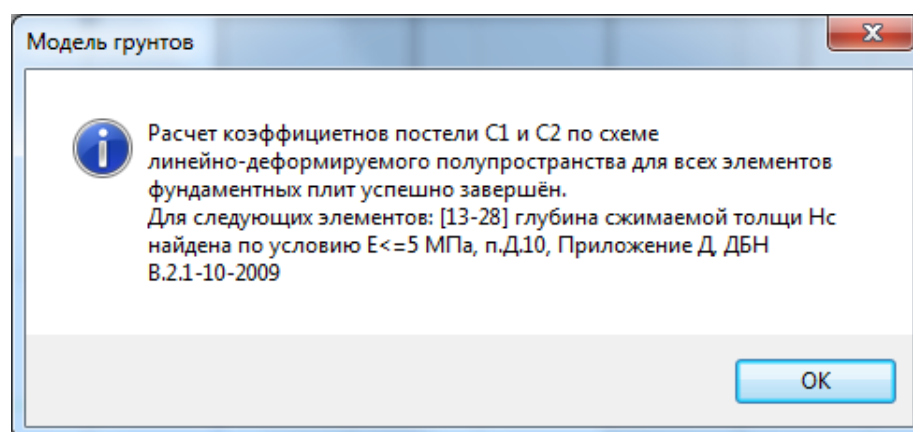


Рис. 5.16

Так как расчет производится по схеме линейно-деформируемого полупространства (ЛПП), то по всем нормам для каждого ИГЭ контролируется модуль деформации E. В случае, если  $E \geq 100 \text{ МПа}$ :

- по нормам [5.7, п. 2.40а] после нахождения Hc производится проверка применимости схемы линейно-деформируемого слоя:

$$h_{zj} \geq H_c \left( 1 - \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}} \right), \quad (5.9)$$

где:  $E_2$  — модуль деформации грунта, подстилающего слой с  $E \geq 100 \text{ МПа}$ . В случае выполнения проверки по формуле (5.9), расчет будет произведен, однако следует самостоятельно проверить условия п. 2.40б на допустимость расчета по схеме ЛПП. После завершения расчета на экране появится сообщение (рис. 5.17):



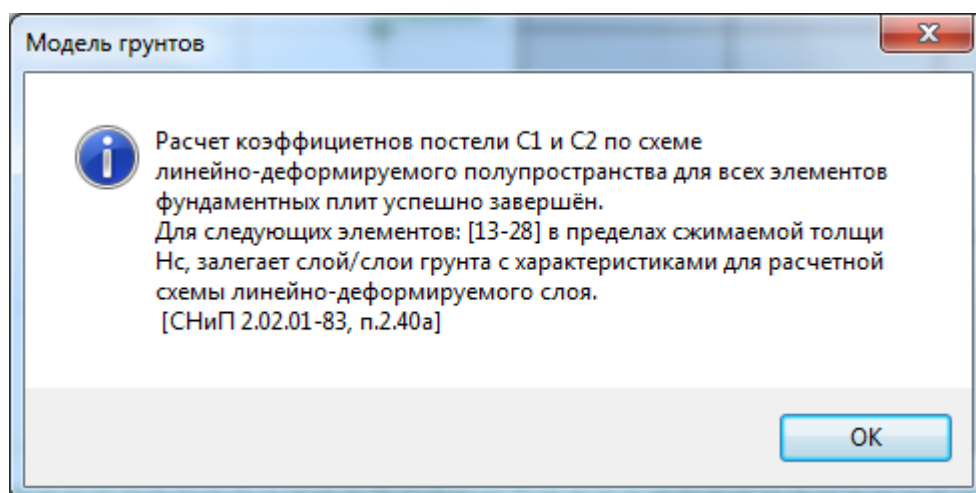


Рис. 5.17

Если проверка по формуле (5.9) не выполняется, расчет завершается стандартным сообщением (рис. 5.14).

- по нормам [5.5, п. 5.5.41], [5.6, п. 5.6.41]  $H_c$  допускается принимать до кровли грунта с  $E \geq 100 \text{ МПа}$ . Расчет продолжится после нажатия на кнопку: **Да** —  $H_c$  принимается до кровли этого грунта, **Нет** —  $H_c$  принимается из условия формулы (5.6) (рис. 5.18):

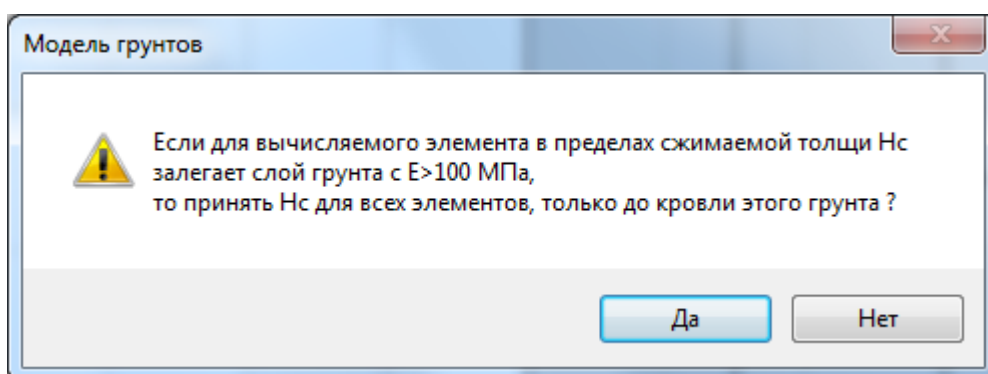


Рис. 5.18

- по нормам [5.1, п. Д10, Приложение 10] расчет производится аналогично [5.5, п. 5.5.41], [5.6, п. 5.6.41] (рис. 5.19):

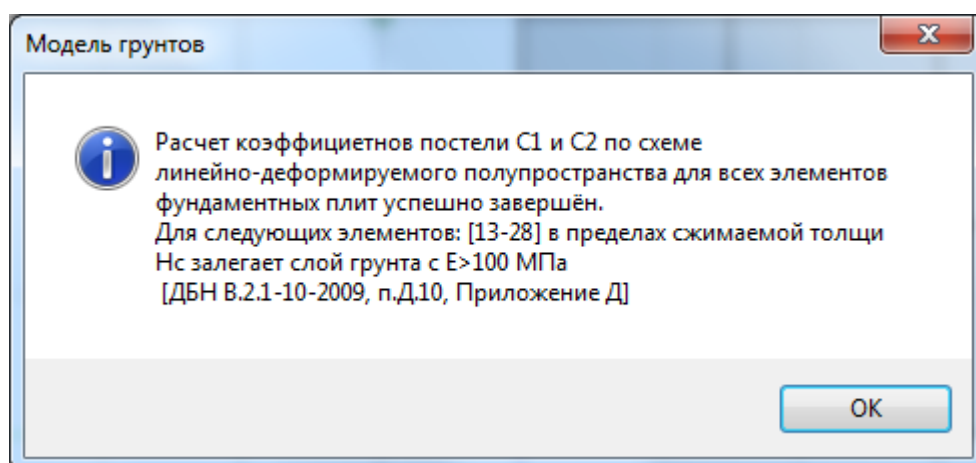


Рис. 5.19



*Вычисление усредненного модуля деформации  $E_0$* 


Усредненный модуль деформации  $E_0$  в расчетной точке с координатами (x,y) в пределах сжимаемой толщи  $H_c$  определяется в соответствии с [5.7, п.11, Приложение 2], [5.5, п. 5.5.45], [5.6, п. 5.6.49, примечание 2], [5.1, п. Д13, Приложение Д,] по формуле:

$$E_0 = \frac{\sum \sigma_{z_{p_{jk}}} h_j}{\sum \frac{\sigma_{z_{p_{jk}}} h_j}{E_j}} \quad (5.10)$$

*Вычисление усредненного коэффициента Пуассона  $\nu_0$* 

Усредненный коэффициент Пуассона  $\nu_0$  определяется в соответствии с [5.7, п.11, Приложение 2], [5.5, п. 5.5.45], [5.1, п. Д13, Приложение Д,] по формуле:

$$\nu_0 = \frac{\sum \nu_j h_j}{H_c} \quad (5.11)$$

 Можно учесть **Дополнительное постоянное напряжение** по всей глубине от сплошной распределенной нагрузки  $q$  (см. [5.4, п. 2.216], [5.5, п. 5.5.39], [5.6, п. 5.6.39], [5.1, п. Д, Приложение Д]) и **Минимальную глубину сжимаемой толщи** (см. [5.5, 5.5.41], [5.6, п. 5.6.41], [5.1, п. Д10]).

*Вычисление коэффициента постели  $C_2$* 

Значение коэффициента постели  $C_2$  в расчетной точке с координатами (x, y) определяется по формуле:

$$C_2 = \frac{E_0 H_c}{6(1 + \nu_0)} \quad (5.12)$$

При успешном завершении расчета (кроме описанных выше случаев) на экране появится сообщение (рис. 5.20):

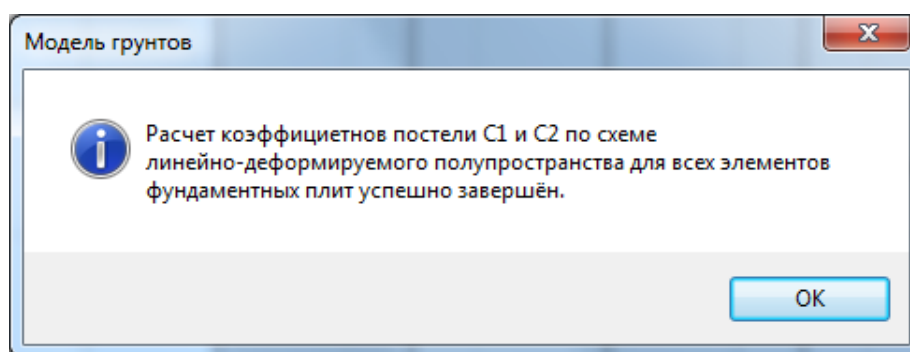


Рис. 5.20

**Метод 2. Модель основания Винклера-Фусса***Вычисление коэффициента постели  $C_1$* 

Согласно гипотезе Винклера коэффициент постели  $C_1$  в расчетной точке с координатами (x, y) равен отношению значения  $P_z$  равномерно распределенной нагрузки в этой точке к ее осадке s:


$$CI = \frac{P_z}{s} \quad (5.13)$$


#### Вычисление осадки $s$

Осадка основания фундамента  $s$  в соответствии с [5.4, п. 2.227], [5.5, п. 5.5.31], [5.6, п. 5.6.31], [5.1, п. Д1, Приложение Д] определяется методом послойного суммирования по формуле:

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i})h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zy,i}h_i}{E_{e,i}}, \quad (5.14)$$

где:  $\beta$  — безразмерный коэффициент, равный 0,8;  $\sigma_{zy,i}$  — среднее значение вертикального напряжения в  $i$ -м слое грунта от собственного веса, выбранного при отрывке котлована грунта,  $E_{e,i}$  — модуль деформации  $i$ -го слоя грунта по ветви вторичного нагружения;  $n$  — число слоев грунта, с учетом их дробления на подслои в пределах сжимаемой толщи  $H_c$ .

 Так как при расчете осадки  $s$  фундаментов, возводимых в котлованах глубиной менее 5 м, допускается в формуле (5.14) не учитывать второе слагаемое (см. [5.4, п. 2.227.], [5.5, п. 5.5.34], [5.6, п. 5.6.34], [5.1, п. Д4, Приложение Д]), то можно сделать соответствующую пометку в окне **Установить нормы и характеристики расчета** и произвести расчет без учета второго слагаемого.

 Для норм [5.7, п. 2, Приложение 2] допускается для фундаментов шириной  $b \geq 10$  м не учитывать собственный вес грунта на уровне подошвы фундамента. Сделать соответствующую пометку можно на панели **Установить нормы и характеристики расчета** — **Учитывать вес грунта выше отметки приложения нагрузки**.

#### Вычисление коэффициента постели $C2$

Значение коэффициента постели  $C2$  в расчетной точке с координатами  $(x,y)$  определяется по формуле:

$$C2 = C1 \cdot \frac{H_c^2(1 - 2\nu_0^2)}{6(1 + \nu_0)} \quad (5.15)$$

### Метод 3. Модифицированная модель Пастернака

#### Вычисление коэффициента постели $C1$

Для определения коэффициента постели  $C1$  так же, как и для **Метода 1**, используется формула (5.5). Отличие состоит в том, что для определения среднего модуля деформации  $E_0$  вводится поправочный коэффициент  $k_i$  к величине модуля деформации  $E_i$   $i$ -го подслоя. Этот коэффициент изменяется от  $k_1=1$  на уровне подошвы фундамента до  $k_n=12$  на уровне уже вычисленной границы сжимаемой толщи  $H_c$ . Принято, что коэффициент  $k$  изменяется по закону квадратной параболы:

$$k_i(z) = \frac{11z^2}{H_c^2} + 1 \quad (5.16)$$

Кроме того, принимается, что дополнительное вертикальное напряжение по глубине распределено равномерно. Тогда:

$$E_0 = \frac{H_c}{\sum \frac{h_j}{k_i E_i}} \quad (5.17)$$

Коэффициент  $k$  вводится и при определении осадки:


$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i}) h_i}{k_i E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zy,i} h_i}{k_i E_{e,i}} \quad (5.18)$$

*Вычисление коэффициента постели  $C_2$*


Значение коэффициента постели  $C_2$  определяется аналогично **Методу 2** по формуле (5.15).

### 5.2.6 Результаты расчета

После выполнения расчета для каждого элемента фундаментной плиты можно посмотреть результаты. Для этого выберите на схеме нужные элементы. Слева появится панель **Свойства нагрузки** с исходными и расчетными данными, а также эпюрами напряжений (рис. 5.21).

 Если выбраны несколько элементов фундаментной плиты, то их имена заносятся в раскрывающийся список вверху панели, в котором можно выбрать конкретный элемент.

На рис. 5.21 показан пример панели **Свойств нагрузки** для элемента фундаментной плиты. В нижней части панели показаны результаты расчета. Ширина и высота элемента условны, остальные размеры соответствуют масштабу рисунка. Цвета слоев грунта соответствуют их цветам в таблице **Характеристики грунтов**. Водонасыщенные слои штрихуются.

На рис. 5.21 кнопка  позволяет скопировать изображение эпюр напряжений в файл для последующего использования его в документировании.

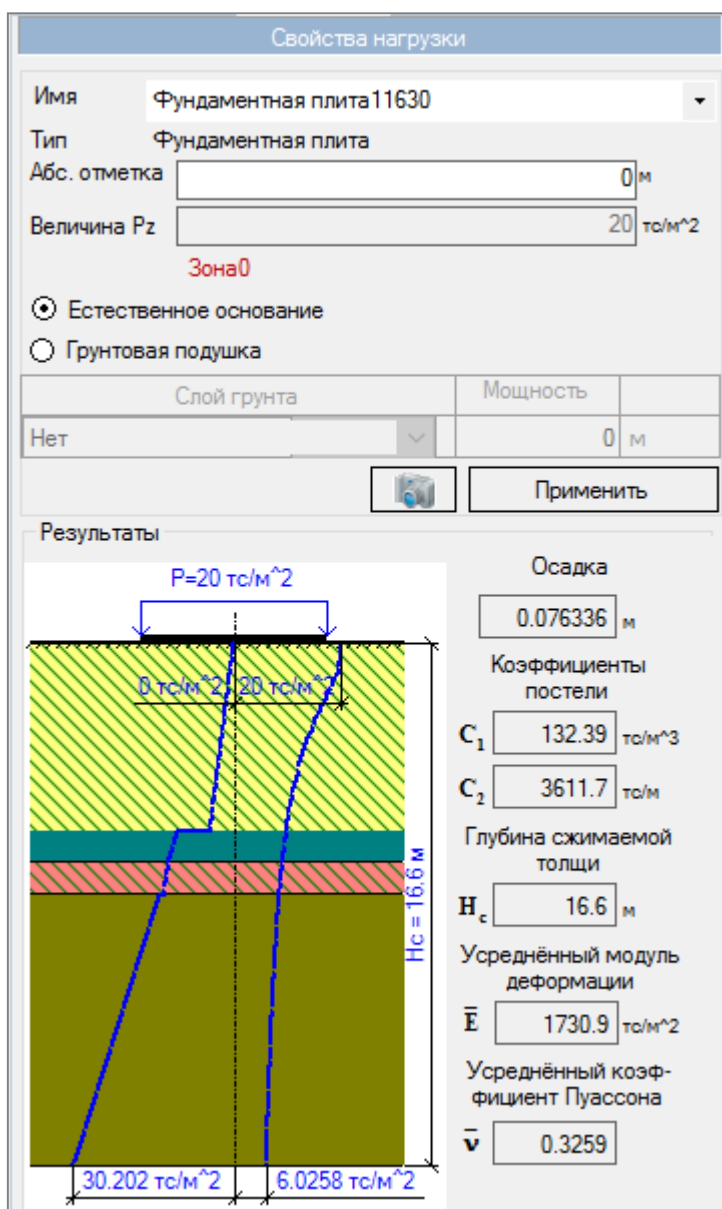


Рис. 5.21. Свойства нагрузки


### 5.2.6 Импорт модели грунта

Импорт модели грунта можно осуществлять из двух типов файлов:

- файлы \*.dxf с замкнутыми полигонами;
- файлы модели ЛИРА (\*.fer), в которых сохранена модель грунта.

#### Импорт файла \*.dxf с замкнутыми полигонами

##### Способ 1

Нажав кнопку  (**Свойства**), а затем выбрав закладку **Импорт**, задайте масштабный коэффициент для изменения размеров импортируемых полигонов из файлов \*.dxf (рис. 5.22):

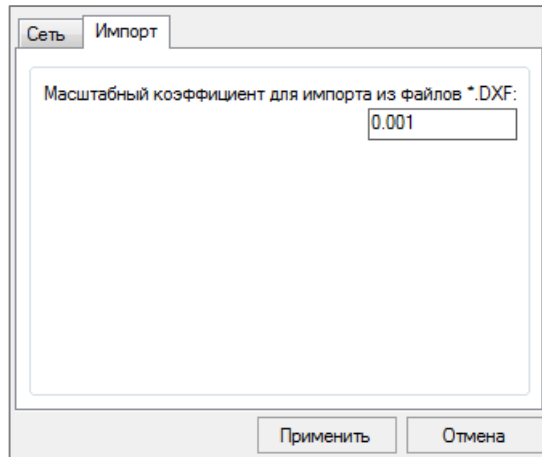



Рис. 5.22


При щелчке на кнопке **Применить** импорт начнется немедленно.

#### Способ 2

Нажмите в верхнем ряду кнопок **Редактора грунта** кнопку  (**Импортировать модель грунта из файла**). Появится стандартное окно открытия файла. Выберите файл \*.dxf для импорта.

Замкнутые полигоны из файла \*.dxf импортируются отдельно по принципу: один полигон — одна нагрузка от соседнего фундамента. Если необходимо, их можно в дальнейшем объединить в одну нагрузку с помощью средств **Двумерного графического редактора**.

#### Импорт файла модели ЛИРА (\*.fer), в котором сохранена модель грунта

Нажмите в верхнем ряду кнопок **Редактора грунта** кнопку . Выберите файл для импорта \*.fer. Если в файле нет данных для импорта, на этом операция закончится. В противном случае появится окно (рис. 5.23):

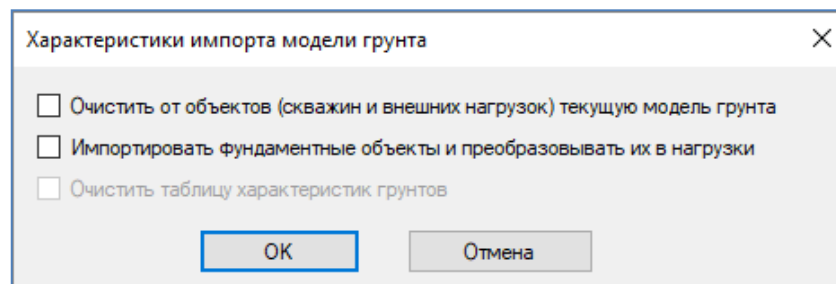


Рис. 5.23

Здесь:

- **Очистить от объектов (скважин и внешних нагрузок) текущую модель грунта** — выбор означает, что перед импортом все объекты текущей модели грунта (**Нагрузки и Скважины**, но не таблица **Характеристики грунтов**) удаляются. То есть объекты из импортируемой модели замещают существующие.

- **Импортировать фундаментные объекты и преобразовывать их в нагрузки** — выбор означает, что все найденные в импортируемом файле нагрузки на элементы фундаментной плиты преобразуются в нагрузки от соседних фундаментов по контурам исходных объектов. В противном случае нагрузки на фундаментные объекты не импортируются.

- **Очистить таблицу характеристик грунтов** — выбор означает, что перед импортом нужно очистить таблицу характеристик грунтов в текущей модели. Данный флажок стано-

вится доступным, если установлен флажок **Очистить от объектов (скважин и внешних нагрузок) текущую модель грунта**.

По окончании импорта на экране редактора появляются контуры импортируемых объектов, выделенные красным цветом. В случае необходимости местоположение импортируемых объектов можно отредактировать средствами **Двумерного графического редактора** или отменить импорт, нажав клавишу **Esc**.




Из файлов \*.fer импортируется:

- таблица **Характеристики грунтов** — ИГЭ из импортируемой таблицы добавляются в конец существующей таблицы;


- **Скважины**;
- **Нагрузки** от соседних фундаментов;
- нагрузки на элементы фундаментной плиты **Pz** — только если в окне (рис. 5.23) установлен флажок **Импортировать фундаментные объекты и преобразовывать их в нагрузки**.

### 5.3 Визуализация результатов расчета

Визуализация/просмотр результатов расчета возможна после выполнения расчета в **Редакторе грунта**. В режиме формирования расчетной модели можно визуализировать результаты в трех вариантах:

- **Информация об элементе или узле**, кнопка ;
- **Упругое основание**, кнопка ;
- **Анализ модели**, кнопка .

#### Просмотр результатов в режиме Информация об элементе или узле

Нажмите кнопку  и выберите на схеме элемент для просмотра результата. Слева появится панель **Информация об элементе или узле** с исходными и рассчитанными данными выбранного элемента (рис. 5.24). На этой панели откройте пункт **Упругое основание**, затем откройте свойство **Тип** и, если расчет коэффициентов постели был ранее выполнен, то будет показано значения **C1** и **C2** для этого элемента. Для стержней визуализируются значения коэффициентов постели, действующих в двух направлениях: вдоль оси **Z1** местной системы координат — **C1** и **C2** (вертикальный отпор грунта), и вдоль оси **Y1** местной системы координат — **yC1** и **yC2** (горизонтальный отпор грунта). Коэффициенты **yC1** и **yC2** задаются пользователем и визуализируются только в этом случае. Кроме этого для стержней выдается информация о ширине и глубине осадочной лунки и политика назначения размеров стержня — из **Сечений** либо задана пользователем (рис. 5.25).

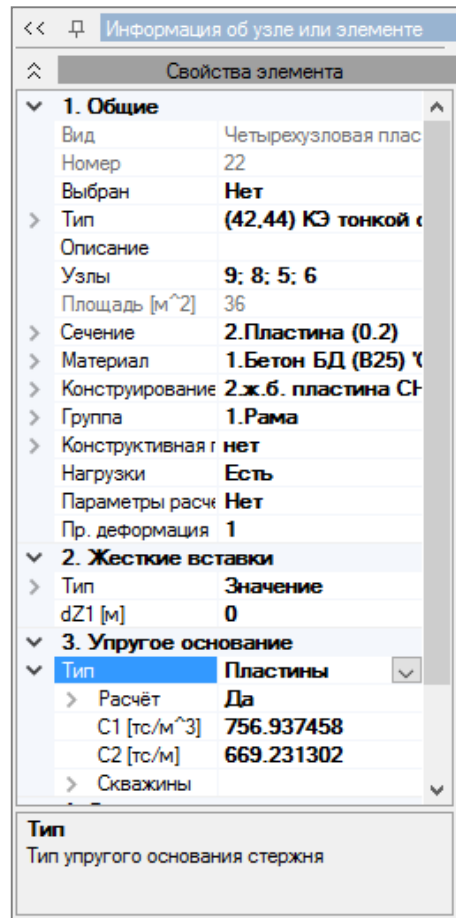


Рис. 5.24

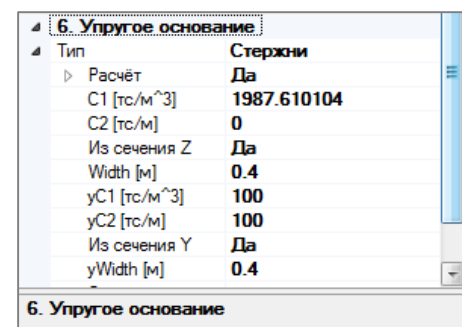



Рис. 5.25

## Визуализация результатов в режиме Упругое основание

Нажмите кнопку , слева появится панель **Задать упругое основание** (рис. 5.26). Откройте вкладку **Визуализация**.

На этой вкладке можно:

- выбрать, какие конечные элементы будут визуализироваться;
- нажимая одну из кнопок **C1**, **C2**, **C1y**, **C2y** или **Pz**, можно увидеть в режиме формирования расчетной модели распределение по элементам значений коэффициентов постели C1 и C2 или значений нагрузки Pz (рис. 5.27).

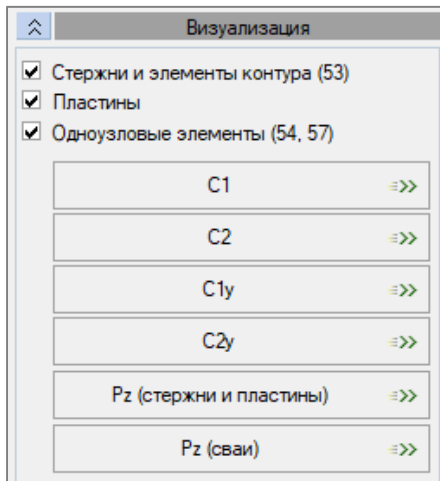


Рис. 5.26

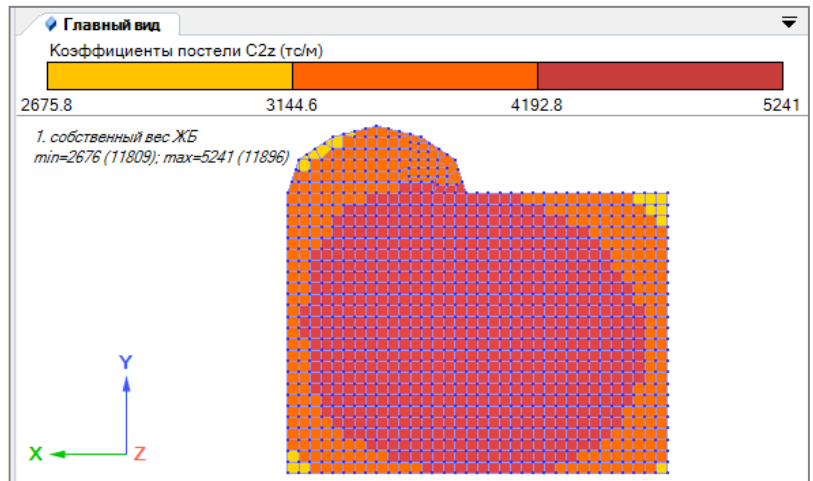



Рис. 5.27

## Визуализация результатов в режиме Анализ модели

Нажмите кнопку , слева появится панель **Анализ модели** (рис. 5.28).

В раскрывающейся вкладке **Упругое основание** доступны характеристики, которые можно визуализировать.

Все эти данные отображаются в виде распределения значений по элементам. Чтобы показать относительную разность осадок, для начала нужно выбрать на схеме реперный элемент, относительно которого эта разность рассчитывается. Для этого:

1. Установите курсор мыши на нужном элементе.
2. Правой кнопкой мыши вызовите контекстное меню.
3. Выберите пункт меню **Реперный элемент относительной разности осадок**.
4. Активизируется кнопка **Относительная разность осадок**. В окне под кнопкой будет указан номер этого элемента (рис. 5.28).

5. Нажмите кнопку **Относительная разность осадок** и получите на схеме распределение относительных разностей осадок по элементам (рис. 5.29). Реперный элемент на схеме показан белым цветом.

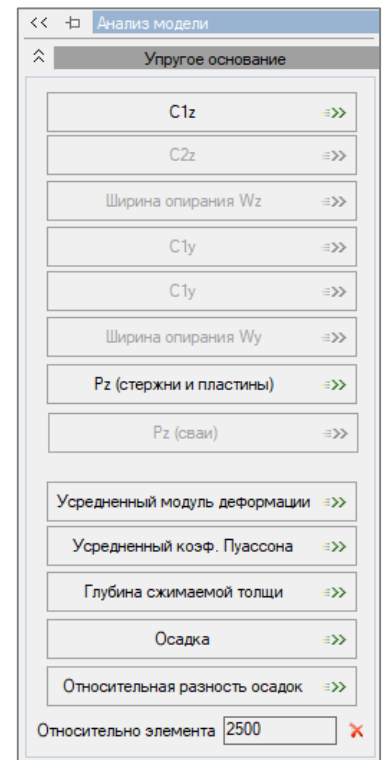




Рис. 5.28

 Изменить реперный элемент можно с помощью команды **Реперный элемент относительной разности осадок** контекстного меню. Если данная команда не выбрана или же при ее выборе ничего не происходит, значит у этого элемента либо нет данных об осадке, либо он не принадлежит к упругому основанию, либо выбран узел, а не элемент фундаментной плиты.

Убрать реперный элемент можно, нажав кнопку  (рис. 5.28)

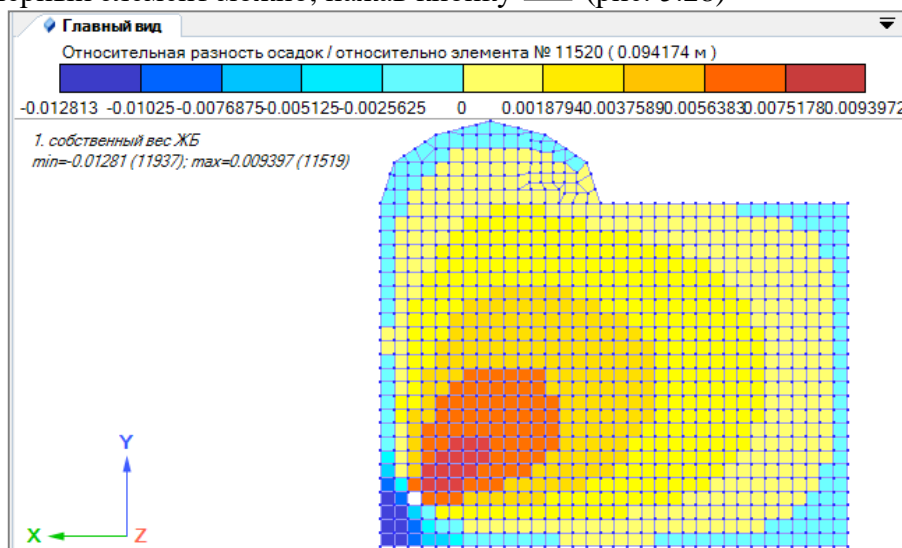





Рис. 5.29

#### 5.4 ПЕРЕСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОСТЕЛИ НА НОВУЮ НАГРУЗКУ


Уточнять коэффициенты постели  $C_1$  и  $C_2$  на приложенную фактическую нагрузку можно только после получения результатов расчета расчетной схемы.

##### Приложить отпор грунта

Преобразование отпора грунта  $R_z$  в нагрузку  $P_z$  выполняется в следующей последовательности:

1. Перейти в **Результаты расчета**.
2. Задать текущим нужное загрузжение или РСН.
3. Вывести на экран **Результаты по пластинам** (кнопка ) либо **Результаты по стержням** (кнопка ) , либо **Результаты по спец. элементам** (кнопка ) .

4. Отобразить на экране отпор грунта, нажав на кнопку **Усилие  $R_z$**  либо **Усилие  $R_y$**  для стержней, либо выбрать одно из усилий для одноузлового элемента сваи (рис. 5.30).

5. Перейти в режим **Преобразование результатов в исходные данные**, кнопка  .
6. На панели **Преобразовать результаты в исходные данные** открыть вкладку

##### Преобразование в $P_z$ .

7. При преобразовании РСН сделать выбор в раскрывающемся списке **Тип сочетания** (рис. 5.31).
8. При необходимости откорректировать **Коэффициент преобразования**.
9. На вкладке **Политика преобразования** при помощи соответствующих переключателей указать элементы (выбранные или все), для которых предполагается выполнить перерасчет.
10. Выполнить преобразование, нажав на кнопку **Преобразовать**.



На экран выводится сообщение о количестве измененных элементов, суммарной площади измененных элементов, суммарной нагрузке до и после изменения, а также процент изменения нагрузки и изменение положения центра сил (рис. 5.32).

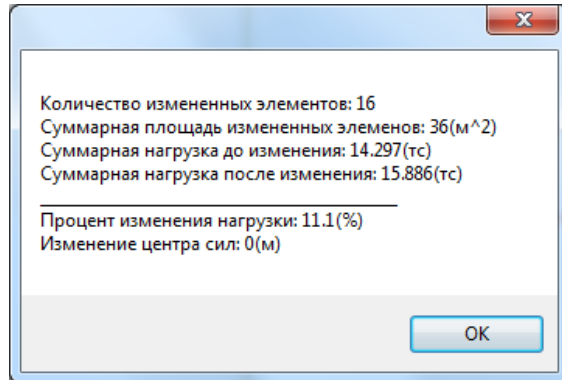


Рис. 5.32

После нажатия кнопки **ОК** значения нагрузки  $P_z$  (заданные для работы в **Редакторе грунта**) будут заменены на значения отпора  $R_z$ . Для элементов, где присутствует отрыв от грунтового основания (положительное значение  $R_z$ ),  $R_z$  при переносе обнуляется.

Для выполнения перерасчета необходимо вернуться в **Исходные данные** и выполнить команду **Расчет** ⇌ **Запустить расчет**. На экране появится сообщение (рис. 5.33):

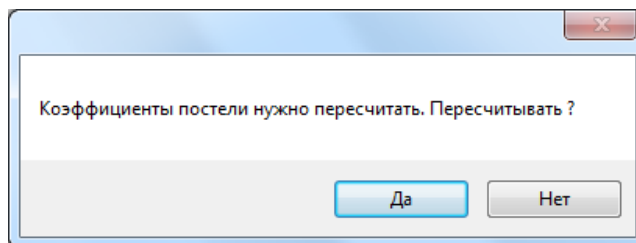


Рис. 5.33

После нажатия кнопки **Да** коэффициенты постели  $C_1$ ,  $C_2$  будут пересчитаны, а расчет продолжен на измененное упругое основание.

После выполнения повторного расчета и анализа сообщения о преобразовании отпора грунта в нагрузки расчет коэффициентов постели можно продолжить до получения желаемой точности.



Рис. 5.30

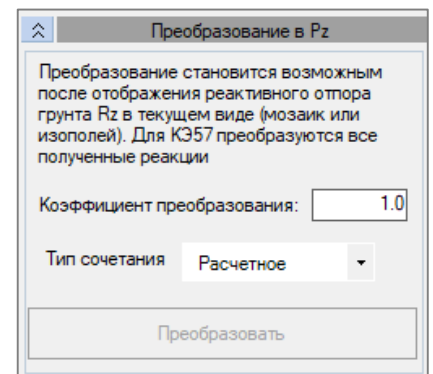


Рис. 5.31