

ГЛАВА 5. СИСТЕМА ГРУНТ

Общие положения

Редактор грунта предназначен для автоматизированного создания модели грунта и расчета параметров упругого основания: для фундаментных плит это коэффициенты постели $C1$, $C2$ и расчетное сопротивление; 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.
- СП 24.13330.2011 (Изм.№1,2,3) Свайный фундамент.
- ДБН В.2.1-10:2009. Основания и фундаменты сооружений.
- ДБН В.2.1-10:2009 (Изм.№1 для свай).
- СН РК EN 1997-1: 2004/2011 (НТП РК 07-01.4-2012). Геотехническое проектирование.
- EN 1997-1:2004. Еврокод 7. Грунты.

Редактор грунта и редактор формирования расчетной модели взаимосвязаны. В редакторе формирования расчетной модели создается конечно-элементная модель фундамента с нагрузкой Pz 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 Pz , могут быть либо стержневыми, либо пластинчатыми (для фундаментных плит), или одноузловыми и архитектурными (для свай). Чтобы одноузловой элемент стал сваей, ему, кроме Pz , нужно назначить сечение-сваю.

Одноузловые элементы-сваи и архитектурные сваи можно объединять в группы, такие как **Свайный куст** или **Условный фундамент**. А пластинчатые элементы в группу **Плитный фундамент** (см. п. 2.11.14.)

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. 5.2.8). После выполнения расчета пользователь имеет возможность пересчитывать значения коэффициентов постели $C1$ и $C2$ 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.

5.1 НАЗНАЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТОВ

Чтобы элемент расчетной схемы стал фундаментной плитой, ему нужно:

- Назначить упругое основание (см. п. 2.11.9) с заданный в нем Pz и отметкой

Уточнить по модели грунта.

- Для стержневых элементов, если нет отметки **Ширина из сечения**, — задать ширину, в противном случае задать стержню сечение.

Чтобы КЭ 57 стал сваей, ему нужно:

- Назначить упругое основание (**Элементы упругой сваи**);
- Задать в упругом основании Pz и отметить **Уточнить по модели грунта**;
- Назначить элементу сечение **Свая (упругая связь)**.

5.1.1 Сечение Свая (упругая связь)

Сечение **Свая (упругая связь)** создается в **Редакторе сечений/жесткостей** (см. п. 2.13). Нажмите в окне редактора кнопку **Специальные** и выберите элемент **Свая (упругая связь)**, после чего в редакторе появится окно параметров выбранного сечения (рис. 5.1).

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

Установка флажков в столбцах R_x , R_y , R_z , R_{ux} , R_{uy} , R_{uz} , h_d , F_d и F_{du} 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 h_d и несущей способности сваи на сжатие и выдергивание можно выполнить в этом редакторе, нажав кнопку **Вычисление жесткости одиночной сваи** (см. п. 5.1.2), или в **Редакторе грунта** (см. п. 5.2).

При установке флажка **Использовать условную ширину b_p** используется значение b_p — условная ширина сваи (м), принимаемая равной: для свай с диаметром стволов 0,8 м и более $b_p = d + 1$, а для остальных размеров сечений свай $b_p = 1,5d + 0,5$ (м).

В разделе **Сопряжение сваи с ростверком** необходимо указать тип примыкания сваи к ростверку и задать величину **Половина толщины ростверка**. Если выбрать **Шарнирное примыкание**, то для одноузловых конечных элементов жесткости по угловым направлениям будут обнулены, а при моделировании свай цепочкой стержней будут установлены шарниры по угловым степеням свободы.

В разделе **Нижний конец сваи** путем установки соответствующего переключателя задается вид конца сваи — открытый или закрытый. Чтобы задать пяту с уширением, необходимо ввести величину диаметра уширения d_b ($d_b \geq D$ — для круглого/кольцевого сечения; $d_b \geq \max \{h; b\}$ — для прямоугольного сечения). После чего станет доступным флажок **Пята с уширением**, который нужно установить. Далее можно задать величину

коэффициента условий работы под уширением γ_{cR} (γ_{RR}) (п. 7.2.6 СП 24.13330.2011, п. Н.3.1 ДБН В.2.1-10:2009) либо в раскрывающемся списке выбрать тип устройства уширения и коэффициент введется автоматически. Для буронабивных свай можно задать высоту уширения h , для этого необходимо установить флажок **Высота**.

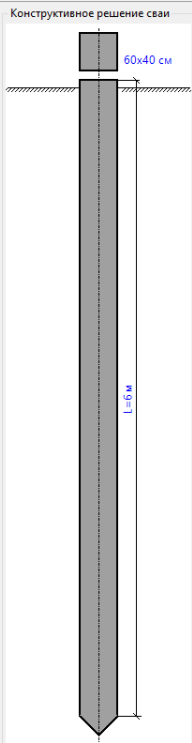
Специальные сечения : Свая (упругая связь) : Свая (упругая связь)

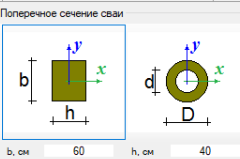
Имя: Описание:

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 свай: 

Поперечное сечение свай: 

Использовать условную ширину br:

Сопряжение свай с ростверком: Шарнирное Жесткое Половина толщины ростверка: см

Нижний конец свай: $\gamma_{cR}, (\gamma_{RR})$ 1.3 Камбиплатное

Открытый конец свай Плита с уширением Диаметр уширения d_b см

Закрывающий конец свай Высота h см

Параметры расчета свай

Параметр	Значение
Тип свай	Забивные, вдавливаемые всех видов и свай-оболочки, погр
Длина L	6 м
Глубина от поверхности земли, на которой при сейсмическом воздействии не учитывается сопротивление грунта по боковой поверхности h_d	<input type="checkbox"/> 0
Количество участков разбивки n	10
Модуль упругости ствола E	3.06E+06 тс/м ²
Коэффициент Пуассона ν	0.2
Объемный вес γ	2.5 тс/м ³
Способ погружения свай	1. Погружение сплошных и полых с закрытым нижним конц
Высота грунтового ядра от подошвы свай h_y	0 м
Тип конструкции	1. Фундаменты под конструкции, за исключением п.2 и п.3 (см. н
Коэффициент условий работы для определения F_d (сжатие) γ_c	2. $\gamma_c = 1$ в остальных случаях
Коэффициент условий работы для определения F_{du} (выдергивание) γ_c	3. $\gamma_c = 1$ для больших переходов, если вес свай и рост
Доля от общей нагрузки, воспринимаемая пятой свай η	1
Несущая способность по грунту (сжатие) F_d	<input checked="" type="checkbox"/> 0 тс
Осадка по результатам полевых испытаний (сжатие) S_d	<input type="checkbox"/> 0 мм
Несущая способность по грунту (выдергивание) F_{du}	<input checked="" type="checkbox"/> 0 тс
Осадка по результатам полевых испытаний (выдергивание) S_{du}	<input type="checkbox"/> 0 мм

Архитектурная свая моделируется: одноузловым элементом стержнями эквивалентной жесткости

Установленный флажок предполагает вычисление соответствующего значения, а его отсутствие - ручной ввод этого значения

Параметры расчета арматуры свай

Вычисление жесткости одиночной свай

Рис. 5.1. Сечение Свая (упругая связь)

Параметры расчета арматуры свай

Армирование	Привязка центра тяжести арматуры к	Способ наращивания арматуры
<input checked="" type="radio"/> Несимметричное	Верхней 5 <input type="text" value=""/> см	<input checked="" type="radio"/> по проценту от
<input type="radio"/> Симметричное	Нижней 5 <input type="text" value=""/> см	<input type="radio"/> по диаметру
<input type="radio"/> Пользовательское	Боковой 5 <input type="text" value=""/> см	

Проверка арматуры производится только для пользовательского армирования

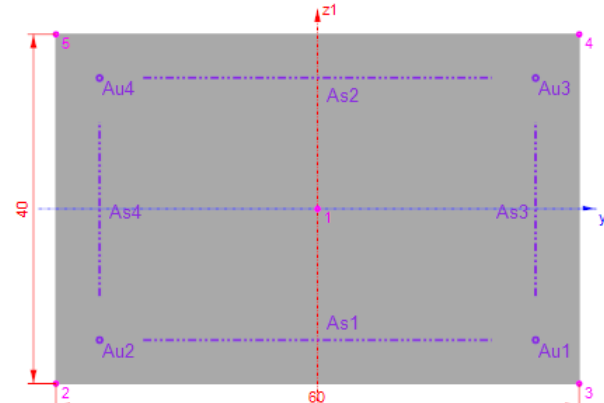


Рис. 5.2. Параметры расчета арматуры свай

Армирование сваи можно задать в раскрывающейся вкладке **Параметры расчета арматуры сваи** данного окна (рис. 5.2). Вид таблицы параметров будет изменяться в зависимости от выбранного типа армирования:

- Несимметричное;
- Симметричное;
- Пользовательское.

5.1.2 Расчет жесткости одиночной сваи

Если при вычислении жесткостей КЭ 57 будет использована модель расчета **Одиночная свая**, нужно нажать кнопку **Вычисление жесткости одиночной сваи**, после чего откроется одноименное диалоговое окно (рис. 5.3).

Данное диалоговое окно содержит три вкладки (**Параметры**, **Геология**, **Результат**), где задается геология грунта, окружающего сваю, и дополнительные параметры для расчета.

На вкладке **Параметры** задаются нормы и параметры расчета сваи: сейсмичность/повторяемость, глубина погружения сваи в грунт, коэффициенты условий работы и коэффициент надежности, вертикальная и горизонтальные нагрузки, а также расчетные моменты (рис. 5.3).

Вычисление жесткости одиночной сваи ✕

Параметры | Геология | Результат

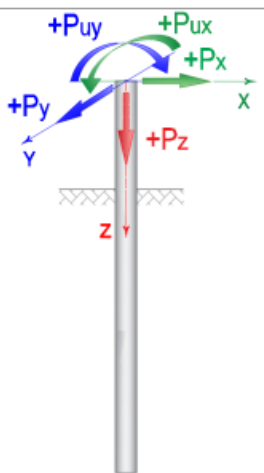
Параметры расчета			
	Нормы	Российская Федерация: СП 24.13330.20*	
Расчетная сейсмичность/повторяемость		отсутствует	
Глубина погружения сваи в грунт	l	6 м	
Коэффициент условий работы (Прил.В, п.В.6)	γ_{cz}	1	
Коэффициент надёжности по грунту (п. 7.1.11)	γ_{cg}	1.4	
Коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности (Табл.П.1.5 и П.1.6)	k_f	0.5	
Коэффициент условий работы грунта под пятой (Табл.П.1.7 и П.1.8)	k_p	1	
	Вертикальная нагрузка	P_z	10 тс
	Горизонтальная расчетная сила от полных нагрузок вдоль локальной оси узла	P_x	0 тс
P_y		0 тс	
Расчетный момент от полных нагрузок вокруг локальной оси узла	P_{ux}	0 тс*м	
	P_{uy}	0 тс*м	
Горизонтальная расчетная сила от постоянных нагрузок вдоль локальной оси узла	$P_{x,c}$	0 тс	
	$P_{y,c}$	0 тс	
Расчетный момент от постоянных нагрузок вокруг локальной оси узла	$P_{ux,c}$	0 тс*м	
	$P_{uy,c}$	0 тс*м	

Рис. 5.3. Вычисление жесткости одиночной сваи вкладка **Параметры**

В зависимости от выбранного нормативного документа в раскрывающемся списке **Нормы** (рис. 5.4), на данной вкладке будут отображены те или иные параметры расчета.

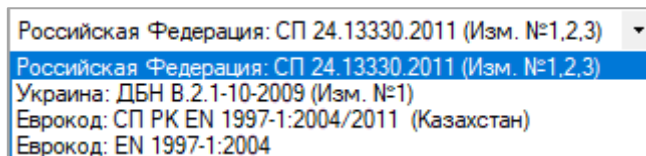


Рис. 5.4. Раскрывающийся список **Нормы**

На вкладке **Геология** (рис. 5.5) задаются слои грунта, каждый со своими характеристиками.

Вычисление жесткости одиночной сваи

Параметры Геология Результат

Геология		
Количество слоёв грунта	n	1
Характеристики слоя		
Текущий номер	i	1
Цвет		
Толщина	h_i	10 м
Модуль деформации	E_i	1800 тс/м ²
Коэффициент Пуассона	ν_i	0.35
Число пластичности	I_{Pi}	10
Природная влажность	w	0.2
Удельное сцепление	c / i	1.33 тс/м ²
	$c // i$	2 тс/м ²
Угол внутреннего трения	φ / i	15.65 °
	$\varphi // i$	18 °
Удельный вес	γ / i	1.83 тс/м ³
	$\gamma // i$	1.87 тс/м ³
Вода	<input type="checkbox"/>	
Показатель текучести	IL_i	0.26
Коэффициент пористости	e_i	0.68
Метод статического зондирования	<input type="checkbox"/>	
Коэффициент пропорциональности	K_i	1811.02 тс/м ⁴
Тип грунта		16. Суглинок тугопластичный, 0.25<
Сопротивление скального грунта по боковой	R_{si}	90.7547 тс/м ²
Сопротивление скального грунта под пятой сваи	R	2039.43 тс/м ²

Вычислить

Рис. 5.5. Вкладка **Геология**

Кнопка **Вычислить** запускает расчет. Результаты расчета отображаются на вкладке **Результат** (рис. 5.6).

Погонная жесткость сваи на растяжение-сжатие вдоль глобальной/локальной оси, тс/м		
R _x	R _y	R _z
1593.61	1909.77	7613.16
Погонная жесткость сваи на поворот вокруг глобальной/локальной оси, тс*м		
R _{ux}	R _{uy}	R _{uz}
7605.68	4171.66	2846.81
Несущая способность сваи (сжатие), тс	Коэффициент использования по F _d (сжатие)	Осадка сваи, мм
F _d	K	S
131.459	0.106497	1.31352
Несущая способность сваи (выдергивание), тс	Коэффициент использования по F _{du} (выдергивание)	Глубина от поверхности земли, на которой при сейсмическом воздействии не учитывается
F _{du}	K _u	hd
-36.8382	0	0
Устойчивость основания, окружающего сваю (СП 24.13330.2011)		
Коэффициент деформации п.7.1.8, 1/м	Глубина условного защемления, м	
$\alpha_{\epsilon_x} / \alpha_{\epsilon_y}$	l_{1x} / l_{1y}	
0.763196 / 0.618376	2.62056 / 2.62056	
Расчетное давление на грунт по боковой поверхности сваи, тс/м ²	Предельное давление на грунт по боковой поверхности сваи, тс/м ²	Расчетная глубина, м
$\sigma_{1x} / \sigma_{1y}$	$\sigma_{1ux} / \sigma_{1uy}$	z _{1x} /z _{1y}
-/-	-/-	1.11374 / 1.11374
$\sigma_{2x} / \sigma_{2y}$	$\sigma_{2ux} / \sigma_{2uy}$	z _{2x} /z _{2y}
-/-	-/-	-/-

Рис. 5.6. Вкладка **Результат**

Чтобы перенести вычисленные параметры в диалоговое окно **Свая (упругая связь)**, нажмите кнопку **Применить**. Значения переносятся для тех параметров, для которых были предварительно установлены флажки в диалоговом окне параметров сваи.

По результатам расчета одиночной сваи имеется возможность документирования результатов. Нажмите на кнопку **Отчет**, чтобы сформировать и сохранить файл отчета.

5.1.3 Расчет осадки одиночной висячей сваи по СП 24.13330.2011 "Свайные фундаменты"

При расчете приняты следующие допущения:

1. Выполняется условие:

$$\begin{cases} \frac{1}{d} > 5 \\ \frac{G_1 l}{G_2 d} > 1 \end{cases},$$

где l — длина сваи;

d — расчетный диаметр ствола сваи.

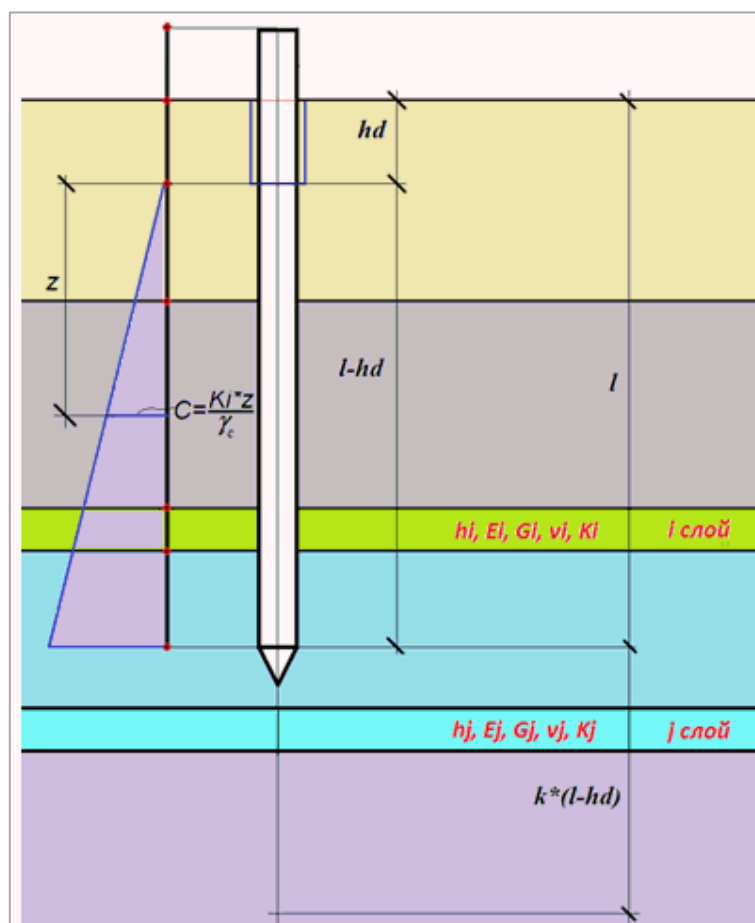


Рис. 5.7. Размеры на схеме

Для свай некруглого сечения: $d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$ (A — площадь поперечного сечения сваи);

G_1 — усредненный модуль сдвига для всех слоев грунта в пределах глубины погружения сваи:

$$G_1 = \frac{\sum_i^n G_i \cdot h_i}{1 - h_d}, \quad G_i = \frac{E_i}{2(1 + \nu_i)},$$

G_2 — усредненный модуль сдвига для всех слоев грунта в пределах kl от пяты сваи, т.е. на глубинах от l до kl (коэффициент k задается в опции **Сечение**):

$$G_2 = \frac{\sum_j^m G_j \cdot h_j}{k(1 - h_d)}, \quad G_j = \frac{E_j}{2(1 + \nu_j)},$$

где h_d — глубина, до которой не учитывают сопротивление грунта на боковой поверхности сваи при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмических воздействий.

2. Под нижними концами свай отсутствуют глинистые грунты текучей консистенции, органоминеральные и органические грунты.

Осадка одиночной сваи без уширения пяты вычисляется:

$$s = \beta \frac{P_z}{G_1(1 - h_d)},$$

где

$$\beta = \frac{\beta'}{\lambda_1} + 0.5 \frac{1 - (\beta'/\alpha')}{\chi},$$

где β' — коэффициент, соответствующий абсолютно жесткой свае:

$$\beta' = 0.17 \ln \left[k_v \frac{G_1(1 - h_d)}{G_2 d} \right];$$

α' — коэффициент, соответствующий абсолютно жесткой свае для случая однородного основания с характеристиками G_I (усредненный модуль сдвига грунтов в пределах ствола сваи) и ν_I (усредненный коэффициент Пуассона грунтов в пределах ствола сваи):

$$\alpha' = 0.17 \ln \left[k_{\nu_1} \frac{(1 - h_d)}{d} \right],$$

$$\nu_1 = \frac{\sum_i^n \nu_i \cdot h_i}{1 - h_d};$$

k_v и k_{ν_1} — коэффициенты, определяемые по формулам:

$$k_v = 2.82 - 3.78\nu + 2.18\nu^2,$$

$$k_{\nu_1} = 2.82 - 3.78\nu_1 + 2.18\nu_1^2,$$

где

$$\nu = \frac{(\nu_1 + \nu_2)}{2},$$

ν_2 — усредненный коэффициент Пуассона грунтов для участка, глубиной kl , ниже пяты сваи:

$$\nu_2 = \frac{\sum_j^m \nu_j \cdot h_j}{k(1 - h_d)};$$

χ — относительная жесткость сваи:

$$\chi = \frac{EA}{G_1(1 - h_d)^2},$$

где EA — жесткость ствола сваи на сжатие;

A — площадь поперечного сечения ствола сваи;

λ_I — параметр, характеризующий увеличение осадки за счет сжатия ствола:

$$\lambda_1 = \frac{2.12 \cdot \chi^{\frac{3}{4}}}{1 + 2.12 \cdot \chi^{\frac{3}{4}}}$$

Осадка одиночной сваи с уширением пяты или сваи-стойки вычисляется:

$$s = \frac{0.22P_z}{G_2 \cdot d_b} + \frac{P_z \cdot L}{E \cdot A},$$

где d_b — диаметр уширения сваи,

L — длина сваи.


5.1.4 Расчет осадки одиночной висячей сваи по ДБН В.2.1-10:2009 (Изм. №1)

На основании заданных характеристик вычисляются:

$$s = \frac{s_e \cdot P}{P_u - P},$$

где P_u — нагрузка, при которой исчерпывается несущая способность сваи (предельное сопротивление по грунту): $P_u = 1.25 F_d$,

F_d — несущая способность сваи по грунту.

 Реализовано 2 случая получения F_d :

1. Анализируется назначенная элементу строка в **Редакторе Сечений**. В случае, если установлен флажок напротив F_d , то F_d берется по результатам расчета внутри программы.
2. В случае, если флажок не установлен, то берется заданное значение в окне F_d .

s_e — упругая составляющая осадки:

$$s_e = 2(1 + \nu) \frac{P_e \cdot c}{E \cdot L} + \frac{P_e \cdot L(1 + b)}{2E_0 \cdot F},$$

где c — коэффициент осадки (табл. П. 1.1, ДБН В.2.1-10-2009);

L — длина сваи;

E — приведенный модуль деформации:

$$E = (1 - b)k_f \cdot E_f + k_p \cdot b \cdot E_p;$$

P_e — нагрузка, ограничивающая линейный участок совместной осадки оголовка сваи (от сжатия самого столба сваи) и грунтового основания: $P_e = 0.5 P_u$.

Осредненные значения величин:

ν — коэффициент Пуассона грунта в пределах длины сваи:

$$\nu = \frac{\sum \nu_i \cdot h_i}{1 - h_d},$$

где h_d — глубина, до которой не учитывают сопротивление грунта на боковой поверхности сваи при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмических воздействий;

l — длина сваи;

E_f — модуль деформации грунта в пределах длины сваи:

$$E_f = \frac{\sum E_i \cdot h_i}{1 - h_d};$$

E_p — модуль деформации грунта в пределах одного диаметра выше и четырёх ниже отметки нижнего конца сваи:

$$E_p = \frac{\sum E_j \cdot h_j}{1 - h_d};$$

b — коэффициент, определяющий часть нагрузки, передаваемой нижним концом сваи (табл. П.1.2 ДБН В.2.1-10-2009).

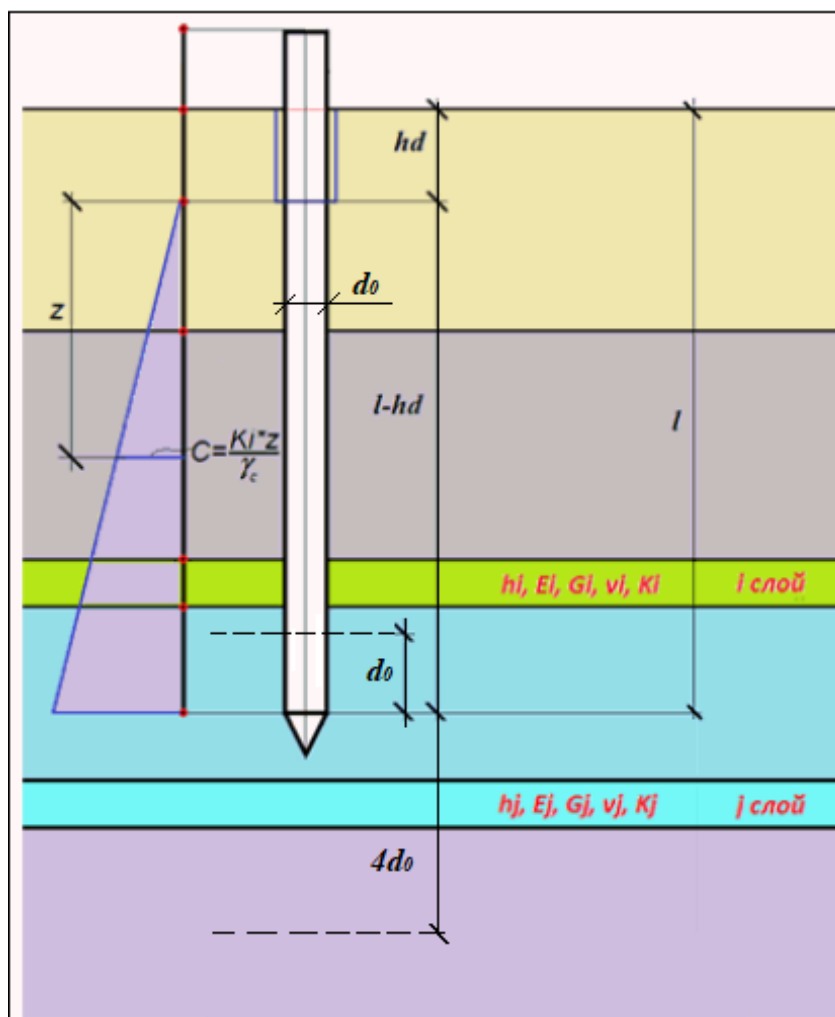



Рис. 5.8. Размеры на схеме

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 (рис. 5.9). В основной части экрана расположен **Двумерный графический редактор** (см. п. 2.12). 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 же поле задается расположение **Скважин** и дополнительные нагрузки от соседних фундаментов.

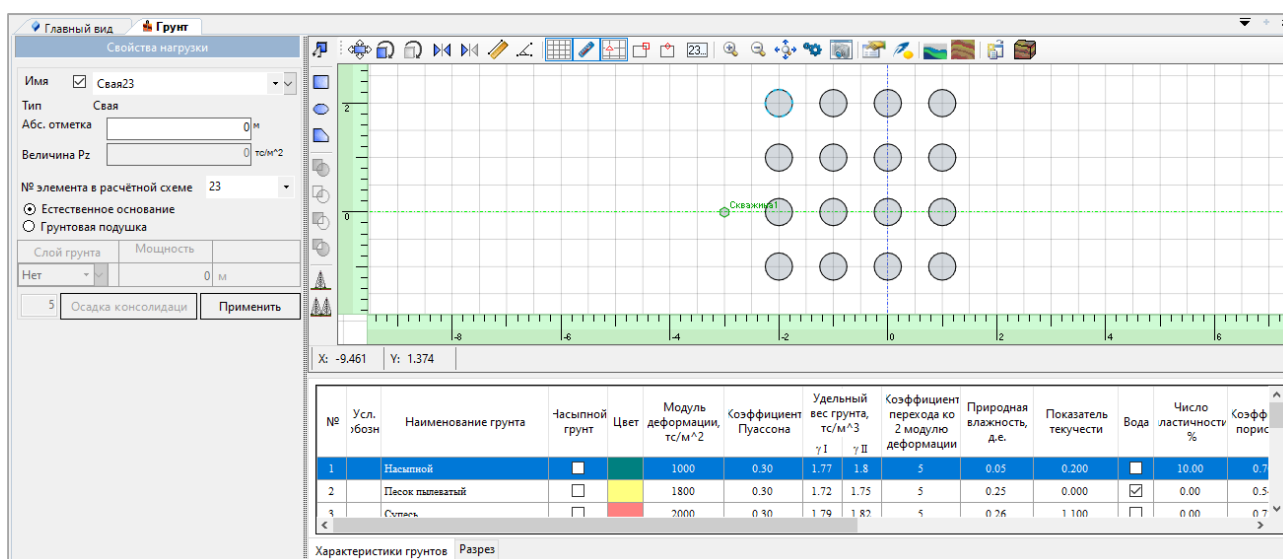


Рис. 5.9. Вид окна **Грунт**

5.2.1 Характеристики грунтов

В таблице исходных данных **Характеристики грунтов** задаются инженерно-геологические элементы (ИГЭ) грунтового массива, входящие в геологический разрез **Скважин**. Таблица **Характеристик грунтов** по умолчанию (рис. 5.10) содержит пять строк. В них приведены наиболее часто встречающиеся грунты с усредненным значением их характеристик [5.2]. В случае необходимости к **Таблице по умолчанию** можно вернуться щелчком правой кнопки мыши по закладке **Характеристики грунтов**.

№ ИГЭ обоз.	Наименование грунта	Насыпной грунт	Цвет	Модуль деформации, тс/м ²	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, тс/м ³		Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, доли	Показатель текучести	Вода	Число пластичности	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, тс/м ²		Угол внутреннего трения, °	Метод статич. пропорцио-нальности	Коэффициент вязания К, тс/м ⁴	Тип грунта для свайного основания	
						с I	с II	с I	с II	с I	с II	с I	с II	с I	с II	с I	с 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. Крупноблочный грунт с песчаным заполнителем, K=5098.581+10197.16 тс/м ⁴
2	Песок пылеватый	<input type="checkbox"/>		1800	0.30	1.72	1.75	5	0.25	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>	4.00	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 ⁴
3	Суглесь	<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. Суглесь пластичная, 0<IL<1, K=713.8013+1223.659 тс/м ⁴
4	Суглинок тугопластичный	<input type="checkbox"/>		1800	0.55	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 ⁴
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 ⁴

Рис. 5.10. Таблица **Характеристик грунтов** по умолчанию

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, E** — модуль деформации по ветви первичного нагружения.
- **Коэффициент Пуассона, ν** .
- **Нормативный удельный вес грунта, γ_I и γ_{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_L** .
- **Вода** — если задана данная отметка, программа учитывает взвешивающее действие воды:

- при степени влажности грунта $S_r \neq 1$:

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

- при степени влажности грунта $S_r = 1$:

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

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, c_I и c_{II}** .
- **Угол внутреннего трения, φ_I и φ_{II}** .
- **Метод статического зондирования.**
- **Коэффициент пропорциональности, K** — может задаваться численно либо интерполироваться автоматически по заданным показателю текучести I_L и коэффициенту пористости e при указании **Типа грунта** для свайного основания (СП 24.13330.2011, Приложение В, таблица В.1). Для плитных фундаментов не используется.

• **Тип грунта** — классификация грунтов по их характеристикам, соответствующая таблице В.1, Приложение В, СП 24.13330.2011. При интерполяции меньшие значения коэффициента K соответствуют более высоким значениям показателя текучести I_L глинистых

и коэффициента пористости e песчаных грунтов. Значения коэффициента K для плотных песков приняты на 30% выше, чем наибольшие значения, указанные в таблице В.1.


- **Сопrotивление скального грунта по боковой поверхности сваи, R_{si}** (СП 24.13330.2011, Приложение Б, формула Б.3).

- **Сопrotивление скального основания, R** — расчетное сопротивление скального грунта под нижним концом сваи.

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 10 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 щелчком по одноименной закладке, расположенной внизу экрана.

5.2.2 Задание скважин и нагрузок

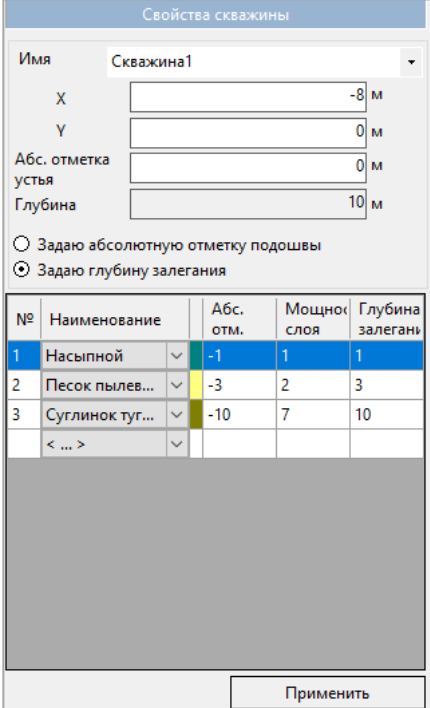
Скважины

Перед заданием скважин необходимо задать все необходимые грунты в таблице **Характеристик 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. 5.11).

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.	Мощно- слоя	Глубина залегани
1	Насыпной	-1	1	1
2	Песок пылев...	-3	2	3
3	Суглинок туг...	-10	7	10


Рис. 5.11. 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 грунта, 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**.*

Если нажать на кнопку  (**Таблица скважин**), раскроется окно с таблицей всех скважин, заданных в модели (рис. 5.12). При необходимости здесь можно откорректировать требуемые параметры как вручную, так и вставить уже готовые данные из других источников. Для подтверждения ввода нужно нажать кнопку **Применить**.

Имя	Скважина1	Скважина2	Скважина3	Скважина4	Скважина5	Скважина6
X	-2	2.4182	7	-1	1.0887	4.9958
Y	1	-3.0233	-4	-5	0.1296	-3.9594
Abs	0	0	0	0	0	0
№1 (dH1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)
№2 (dH2)	3 (3)	6 (3)	3 (3)	3 (3)	6 (3)	6 (1.9074)
№3 (dH3)	4 (11)	4 (11)	4 (11)	4 (11)	4 (11)	3 (1.0926)
№4 (dH4)						4 (11)
* №5 (dH5)						

Кнопки: **Применить** | **Отмена**


Рис. 5.12. Окно **Таблица скважин в модели грунта**

Нагрузки

В модели грунта существуют три вида нагрузок:

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

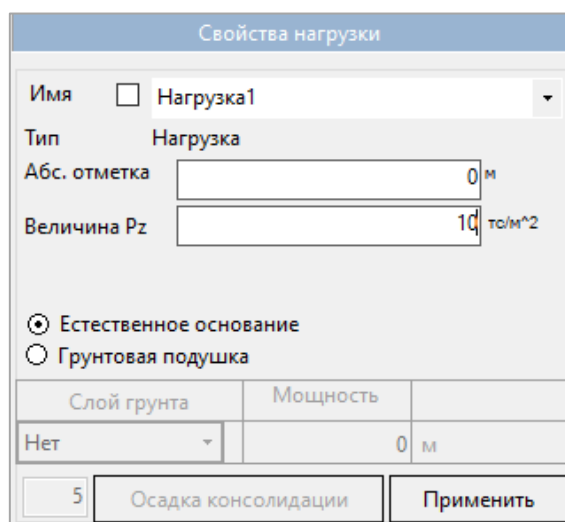
Первый и третий вид нагрузок связан с расчетной схемой и задается в режиме **Упругое основание** в редакторе формирования расчетной модели. Эти нагрузки отображаются на схеме редактора в соответствии с координатами расчетной схемы и автоматически переносятся в **Редактор грунта** в виде проекции на плоскость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

 *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/стержень или свай, не могут изменить свои координаты по Х и У.

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. 5.13).



Свойства нагрузки	
Имя	<input type="checkbox"/> Нагрузка1
Тип	Нагрузка
Абс. отметка	0 м
Величина Pz	10 т/м ²
<input checked="" type="radio"/> Естественное основание <input type="radio"/> Грунтовая подушка	
Слой грунта	Мощность
Нет	0 м
5	Осадка консолидации
Применить	

Рис. 5.13. Панель **Свойства нагрузки**


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

 *Изменение значения абсолютной отметки одного элемента фундамента 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 **Осадка консолидации** доступна, если расчет плит выполняется по нормам Еврокодов и если при этом установлен флажок **Рассчитать консолидацию**. С ее помощью можно построить график осадки консолидации во времени (подробнее см. п. 5.2.6).

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

5.2.3 Геологические разрезы

В системе ЛИРА 10 реализована возможность выполнять следующие виды геологических разрезов:

- **Вертикальный разрез** — выполняется по заданной пользователем линии на схеме **Двумерного графического редактора**. Разрез может быть выполнен, если на схеме задана хотя бы одна скважина.
- **Горизонтальный срез** — позволяет выполнить горизонтальный срез модели грунта на произвольной отметке.

Для построения вертикального разреза нажмите на панели инструментов **Редактора грунта** кнопку  (**Вертикальный разрез**). Затем укажите мышкой 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 левой кнопкой мыши. На схеме появится красная линия, по которой выполняется геологический **Разрез** (рис. 5.14).

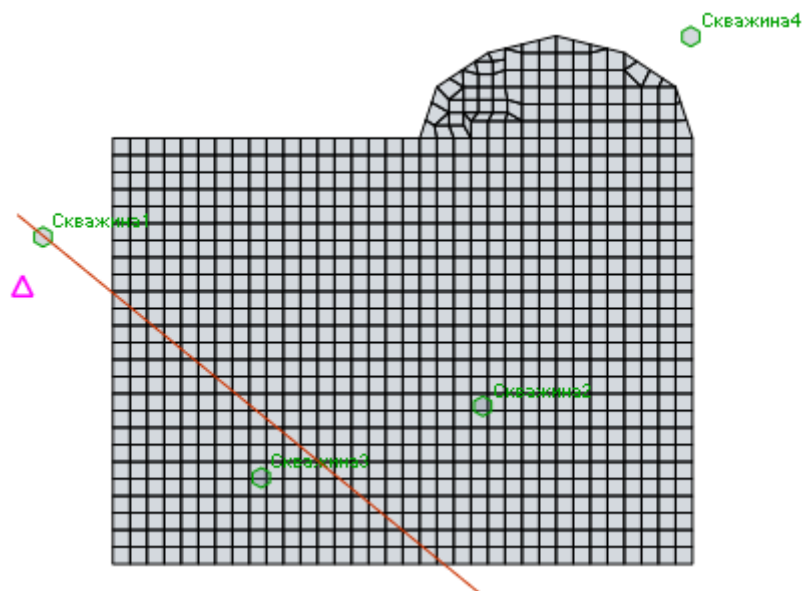


Рис. 5.14. Построение геологического разреза

Сам разрез отобразится внизу экрана в закладке **Разрез** (рис. 5.15).

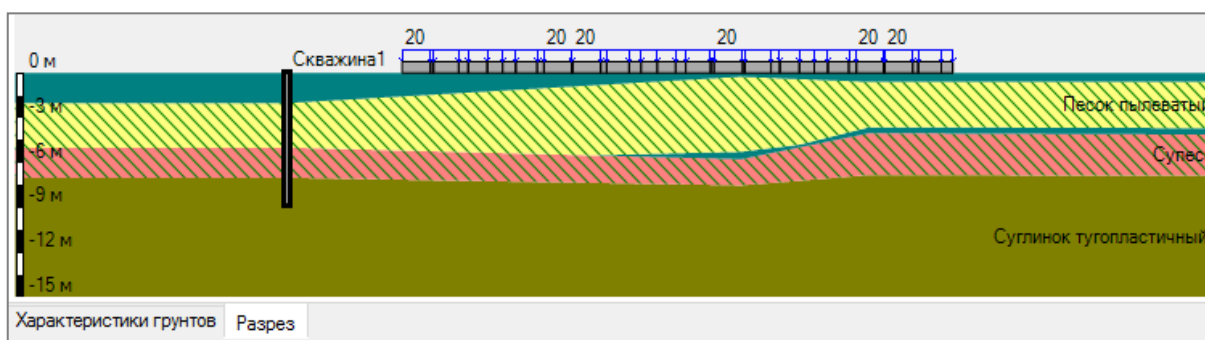


Рис. 5.15. Вертикальный разрез

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.


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

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

- **Отметить скважину / Добавить скважину**. Пункт меню **Отметить скважину** позволяет начать процесс добавления скважины на основании данных **Разреза**. После выбора этого пункта, перемещая мышь, 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).

- **Измерить расстояние / Закончить измерять расстояние** — позволяет приблизительно проставить горизонтальные расстояния на вертикальном разрезе.
- **Экспортировать текущий разрез в файл *.fer** — экспортирует **Разрез** в файл проекта ПК ЛИРА 10.
- **Скопировать изображение разреза в файл** — позволяет сохранить изображение разреза, как оно есть, в файл для последующего использования его в **Отчетах**.
- **Отменить** — отмена для команд **Отметить скважину / Добавить скважину и Измерить расстояние / Закончить измерять расстояние**.
- **Сбросить все изменения** — сбрасывает проставленные расстояния.

Для построения горизонтального среза нажмите на панели инструментов **Редактора грунта** кнопку  (**Горизонтальный срез**). Затем при помощи бегунка, который отобразится слева от окна редактора, укажите глубину, на которой требуется отобразить срез. Меняя положение бегунка при помощи мыши (либо при помощи клавиш со стрелками вниз и вверх), можно увидеть на схеме горизонтальные срезы грунта в зависимости от выбранной глубины (рис. 5.16).

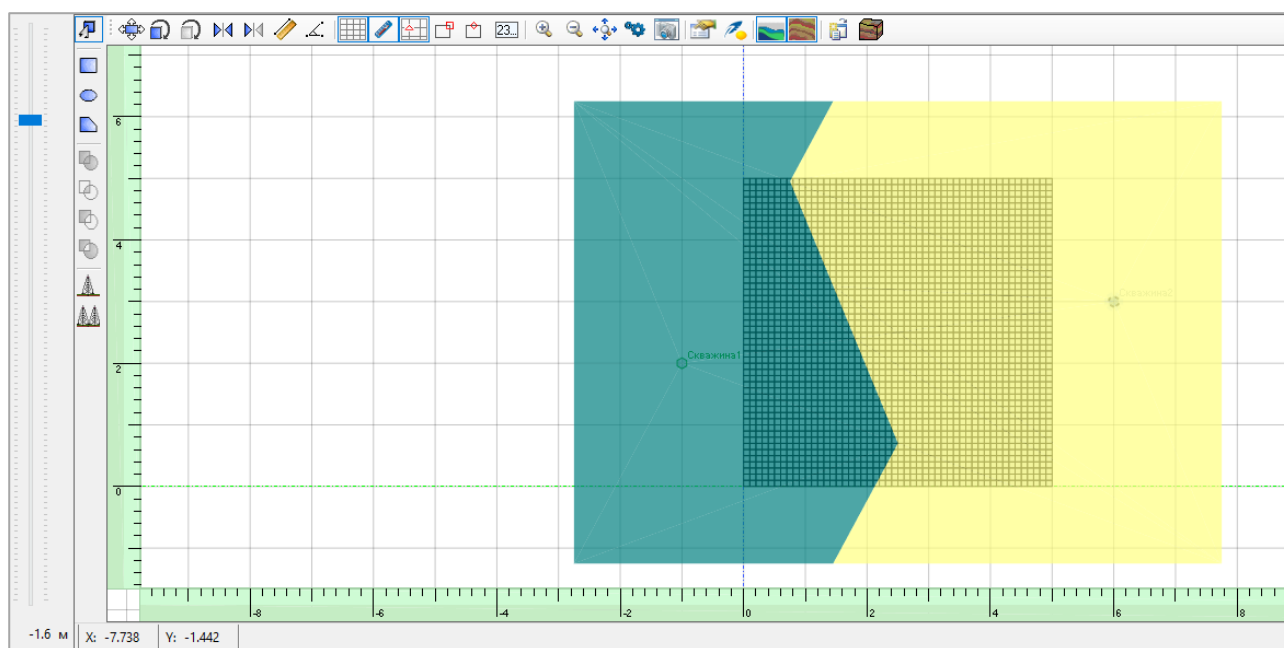



Рис. 5.16. Горизонтальный срез



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. 5.17).

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 Нормы и характеристики расчета

При первом запуске редактора **Грунт**, а также при щелчке по кнопке  или  на панели инструментов **Редактора грунта** появится диалоговое окно **Установить нормы и характеристики расчета**, состоящее из трех закладок:

- **Общие;**
- **Плиты;**
- **Сваи.**

Закладка **Общие** (рис. 5.18) предназначена для задания следующих параметров:

- **Выбора Метода 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, λ .** Параметр λ определяет условие поиска нижней границы сжимаемой толщи H_c . Используется в формуле: $\sigma_{zp} = \lambda * \sigma_{zq}$, где σ_{zp} — дополнительное вертикальное нормальное напряжение от внешней нагрузки, σ_{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.

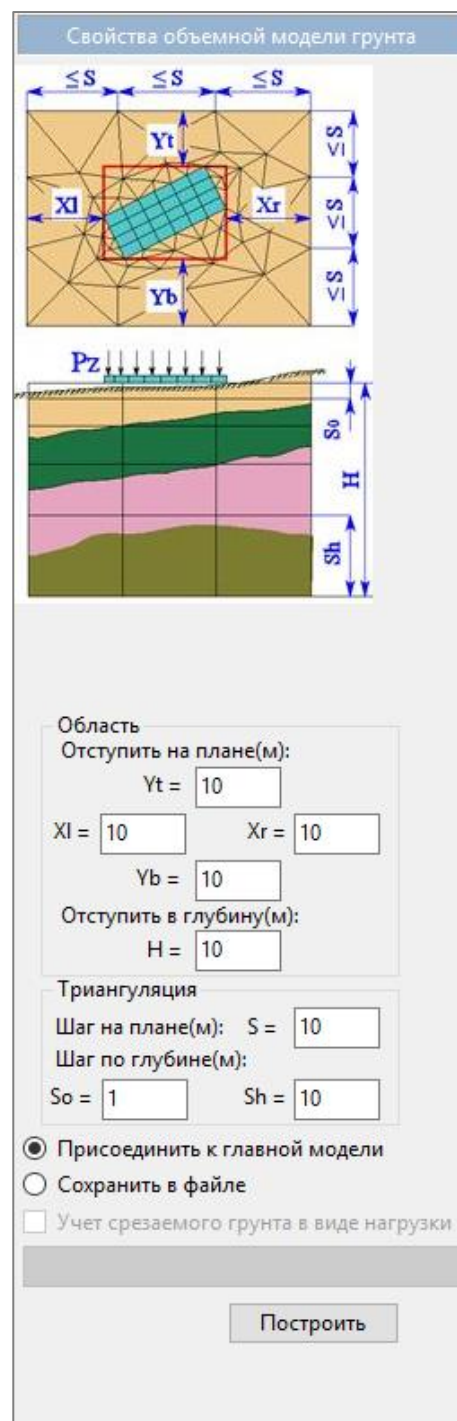



Рис. 5.17. Панель **Свойства объемной модели грунта**

- **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.

 По умолчанию коэффициент λ принят согласно рекомендованным значениям выбранных норм. При необходимости можно редактировать его значение.

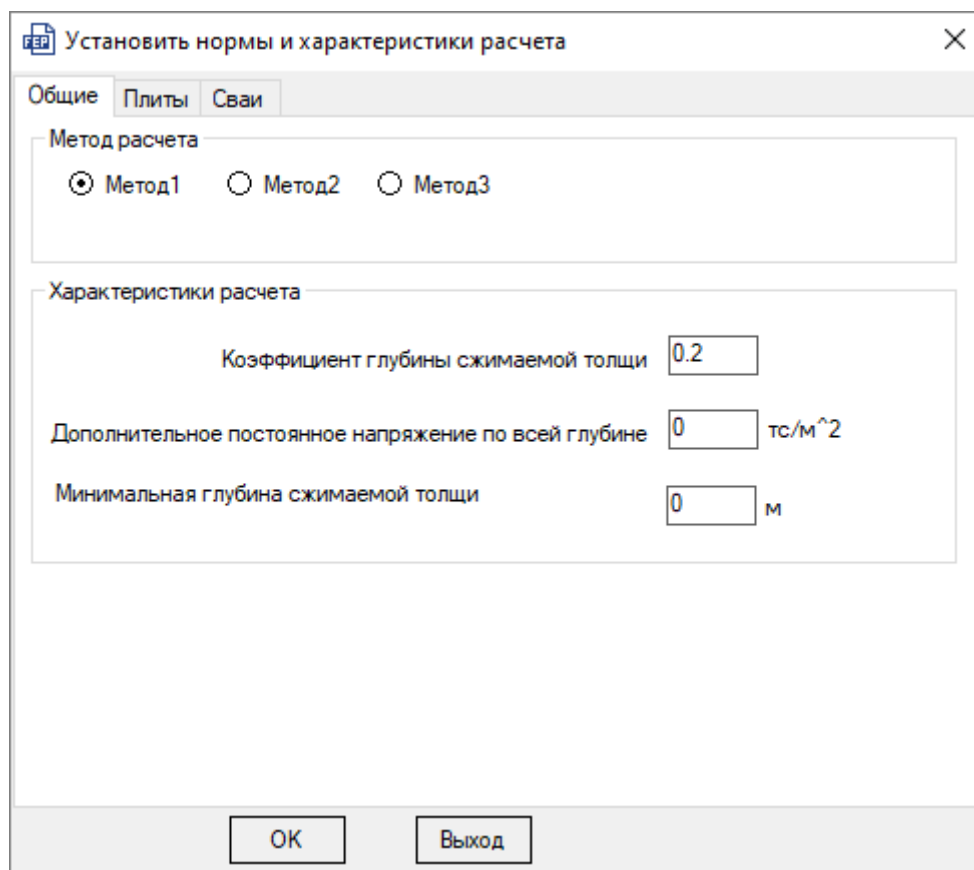


Рис. 5.18. Окно Установить нормы и характеристики расчета, закладка **Общие**

Закладка **Плиты** предназначена для задания параметров расчета плитных фундаментов. Она позволяет задать следующие параметры (рис. 5.19):

- **Выбор норм** — выбор нормативного документа, на основании которого будут вычисляться глубина сжимаемой толщи и осадки фундамента. Выбор производится путем установки соответствующего переключателя.

- **Рассчитывать коэффициент $C2$** — при установке данного флажка рассчитывается коэффициент постели $C2$.

- **Характеристики расчета:**

- **Учитывать вес грунта выше отметки приложения нагрузки** — при установке данного флажка учитывается вес грунта 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.

• **Параметры расчета осадки консолидации** (данный блок параметров доступен лишь при выборе норм Еврокода):

- **Рассчитать консолидацию** — задает расчет осадки консолидации.
- **Промежуток времени, t** — указание промежутка времени действия нагрузок P_z на подошву фундамента основания (в годах).
- **Продолжительность строительства / Продолжительность эксплуатации** — задание продолжительности строительства / эксплуатации объектов строительства (в годах).

Рис. 5.19. Окно **Установить нормы и характеристики расчета**, закладка **Плиты**

Если требуется ввести в расчет влияние консолидации, то кроме времени действия приложенной нагрузки t требуется также задать **Коэффициенты фильтрации k_f** для слоев грунта в таблице **Характеристики грунтов** [5.8] (рис. 5.20).

№	Усл. обозн.	Наименование грунта	Насыпной грунт	Цвет	Модуль деформации, тс/м ²	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, тс/м ³	Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, д.е.	Показатель текучести	Вода	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, тс/м ²	Угол внутреннего трения, °	Тип грунта	Коэффициент фильтрации грунта, м/с			
1		Насыпной	<input checked="" type="checkbox"/>		1000	0.30	1.77	1.8	5	0.05	0.200	<input checked="" type="checkbox"/>	0.700	0.33	0.3	14.55	16	1. Крупнообломочный грунт с песчаным заполнителем	0.00020202
2		Песок пылеватый	<input type="checkbox"/>		1800	0.30	1.77	1.75	5	0.25	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>	0.540	0.33	0.1	14.55	31	2. Песок зтопный гравелистый, $e < 0.55$	0.00020202
3		Суглинок	<input type="checkbox"/>		2000	0.30	1.77	1.82	5	0.26	0.500	<input checked="" type="checkbox"/>	0.720	0.33	0.8	14.55	22	13. Сугиьсь пластичная, $0.5 \leq I_L \leq 1$	0.00020202
4		Суглинок тугопластичный	<input type="checkbox"/>		1800	0.35	1.77	1.87	5	0.17	0.260	<input type="checkbox"/>	0.680	0.33	2	14.55	18	16. Сугиьсь тугопластичный, $0.25 < I_L \leq 0.5$	0.00020202
5		Глина камлгтерная	<input type="checkbox"/>		2200	0.42	1.77	1.92	5	0.02	0.150	<input type="checkbox"/>	0.800	0.33	5	14.55	16	20. Глина полуглинистая, $0.5 \leq I_L \leq 0.25$	0.00020202
6		Слабый	<input type="checkbox"/>		9000	0.30	1.77	1.8	5	0.05	0.150	<input type="checkbox"/>	0.800	0.33	2	14.55	16	1. Крупнообломочный грунт с песчаным заполнителем	0.00020202

Рис. 5.20. Таблица **Характеристики грунтов**. Коэффициент фильтрации грунта

Закладка **Сваи** (рис. 5.21) 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 или в условный фундамент с учетом сейсмичности.

Рис. 5.21. Окно Установить нормы и характеристики расчета, закладка Сваи

Расчет производится после нажатия на кнопку **ОК**.

5.2.6 Расчет плитных фундаментов

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^2 поверхности основания, чтобы последнее осело на 1 м . Размерность $C1$ — $\text{тс}/\text{м}^3$.

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

$$C1 = \frac{E_0}{H_C(1-2v_0^2)}, \quad (5.5)$$

где E_0 — усредненный модуль деформации;

H_c — глубина сжимаемой толщи;
 ν_0 — усредненный коэффициент Пуассона.

Вычисление глубины сжимаемой толщи H_c

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 $\sigma_{zp_j} = \sum \sigma_{zp_{jk}}$ и вертикальные напряжения от собственного веса грунта σ_{zg_j} .

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

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

то фиксируется глубина сжимаемой толщи $H_c = z_j$.

Если расчет выполняется по нормам СНиП 2.02.01-83* и нижняя граница сжимаемой толщи H_c находится в слое грунта с $E < 5$ МПа или такой грунт залегает непосредственно ниже H_c , то происходит пересчет H_c на значение $\lambda = 0,1$.

Если расчет выполняется по нормам СП 50-101-2004 и нижняя граница сжимаемой толщи H_c находится в слое грунта с $E < 5$ МПа или такой грунт залегает непосредственно ниже H_c , то этот слой включается в сжимаемую толщу, а за H_c принимается минимальное из значений, соответствующее подошве слоя или глубине, где выполняется условие:

$$\sigma_{zp_j} < 0,1 \sigma_{zg_j}. \quad (5.7)$$

Если расчет по норме СП 22.13330.2011 и нижняя граница сжимаемой толщи H_c находится в слое грунта с $E \leq 7$ МПа или такой грунт залегает непосредственно ниже H_c , то этот слой включается в сжимаемую толщу, а за H_c принимается минимальное из значений, соответствующее подошве слоя или глубине, где выполняется условие:

$$\sigma_{zp_j} < 0,2 \sigma_{zg_j}. \quad (5.8)$$

Если расчет по норме ДБН В.2.1-10-2009 и нижняя граница сжимаемой толщи H_c находится в слое грунта с $E \leq 5$ МПа или такой грунт залегает непосредственно ниже H_c , то этот слой включается в сжимаемую толщу, а за H_c принимается минимальное из значений, соответствующее подошве слоя или глубине, где выполняется условие (5.8).

Так как расчет производится по схеме линейно-деформируемого полупространства (ЛПП), то по всем нормам для каждого ИГЭ контролируется модуль деформации E .

В случае, если $E \geq 100$ МПа:

- по п. 2.40а СНиП 2.02.01-83* после нахождения H_c производится проверка применимости схемы линейно-деформируемого слоя:

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

где E_2 — модуль деформации грунта, подстилающего слой с $E \geq 100$ 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.

- по п. 5.5.41 СП 50-101-2004, п. 5.6.41 СП 22.13330.2011 H_c допускается принимать до кровли грунта с $E \geq 100$ МПа. Расчет продолжится после нажатия на кнопку: **Да** — H_c принимается до кровли этого грунта, **Нет** — H_c принимается из условия формулы (5.6).

- по ДБН В.2.1-10-2009, п. Д10, Приложение 10 расчет производится аналогично СП 50-101-2004 (п. 5.5.41), СП 22.13330.2011 (п. 5.6.41).

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 СНиП 2.02.01-83* (п.11, Приложение 2), СП 50-101-2004 (п. 5.5.45), СП 22.13330.2011 (п. 5.6.49, примечание 2), ДБН В.2.1-10-2009 (п. Д13, Приложение Д) по формуле:

$$E_0 = \sum \sigma_{zpj} h_j / \sum \frac{\sigma_{zpj} h_j}{E_j} \quad (5.10)$$

Вычисление усредненного коэффициента Пуассона ν_0

Усредненный коэффициент Пуассона ν_0 определяется в соответствии с СНиП 2.02.01-83* (п.11, Приложение 2), СП 50-101-2004 (п. 5.5.45), ДБН В.2.1-10-2009 (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. СНиП 2.02.01-83* (п. 2.216), СП 50-101-2004 (п. 5.5.39), СП 22.13330.2011 (п. 5.6.39), ДБН В.2.1-10-2009 (п. Д, Приложение Д)) и **Минимальную глубину сжимаемой толщи** (см. СП 50-101-2004 (п. 5.5.41), СП 22.13330.2011 (п. 5.6.41), ДБН В.2.1-10-2009 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. 5.22).

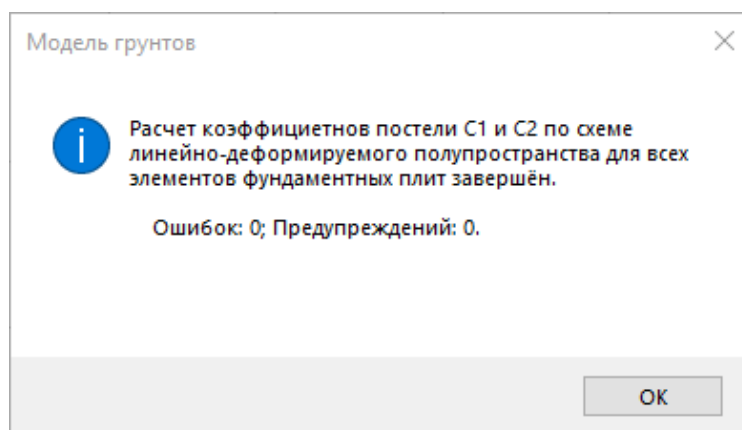


Рис. 5.22. Окно с сообщением об успешном завершении расчета

Метод 2. Модель основания Винклера-Фусса

Вычисление коэффициента постели $C1$

Согласно гипотезе Винклера коэффициент постели $C1$ в расчетной точке с координатами (x, y) равен отношению значения P_z равномерно распределенной нагрузки в этой точке к ее осадке s :

$$C1 = \frac{P_z}{s}. \quad (5.13)$$

Вычисление осадки s

Осадка основания фундамента s в соответствии с СНиП 2.02.01-83* (п. 2.227), СП 50-101-2004 (п. 5.5.31), СП 22.13330.2011/ СП 22.13330.2016 (п. 5.6.31), ДБН В.2.1-10-2009 (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 β — 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. СНиП 2.02.01-83* (п. 2.227), СП 50-101-2004 (п. 5.5.34), СП 22.13330.2011 (п. 5.6.34), ДБН В.2.1-10-2009 (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 СНиП 2.02.01-83*, 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:

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

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 $C2$

Значение коэффициента постели $C2$ определяется аналогично Методу 2 по формуле (5.15).

Определение расчетного сопротивления грунта

Определение расчетного сопротивления грунта основания является одним из важнейших расчетов зданий и сооружений по второму предельному состоянию. Ключевая предпосылка к применению методов расчета осадок, основанных на использовании положений теории линейного деформирования грунта, заключается в том, что среднее давление под подошвой фундамента не должно превышать расчетного сопротивления грунта основания: $P_z \leq R$. Для предварительных расчетов величина R используется в определении габаритов фундамента.

В версии ПК ЛИРА 10.12 для определения величины R реализованы положения нормативных документов: СНиП 2.02.02-83* (п. 2.41), СП 50-101-2004 (п. 5.5.8), СП 22.13330.2011 (п. 5.6.7), СП 22.13330.2016 (п. 5.6.7), ДБН В.2.1-10-2009 (п. Е.4), где приводится формула:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot [M_y \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II}].$$

Для определения расчетного сопротивления грунта основания необходимо объединить элементы фундамента в группу (см. п. 2.11.14), задать расчетные параметры фундамента, а также назначить среднее давление P_z под подошвой фундамента для передачи на расчет в редактор **Грунт**. Впоследствии возможно уточнение коэффициента использования по расчетному сопротивлению грунта по результатам полученного среднего давления под подошвой фундамента.

Проверка прочности подстилающего слоя в основании фундаментов

Одним из важнейших факторов проектирования оснований и фундаментов является прочность подстилающих слоев основания R_z . В версии ПК ЛИРА 10.12 для определения величины R_z реализованы положения нормативных документов: СНиП 2.02.02-83*, СП 50-101-2004, СП 22.13330.2011, СП 22.13330.2016, ДБН В.2.1-10-2009. Проверка подстилающих слоев основания является развитием проверки прочности несущего слоя грунта.

Если под несущим слоем, в пределах сжимаемой толщи, на какой-либо глубине z залегает менее прочный грунт, то производится проверка напряжения, передаваемого на кровлю подстилающего слоя грунта по условию:

$$\sigma_z = (\sigma_{zp} - \sigma_{zy}) + \sigma_{zq} \leq R_z,$$

где R_z — расчетное сопротивление пониженной прочности:

$$R_z = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot [M_y \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{cII} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{cII}].$$

При несоблюдении условия прочности подстилающего слоя грунта программа реагирует сообщением с перечнем элементов, под которыми прочность грунтового основания недостаточна (рис. 5.23).

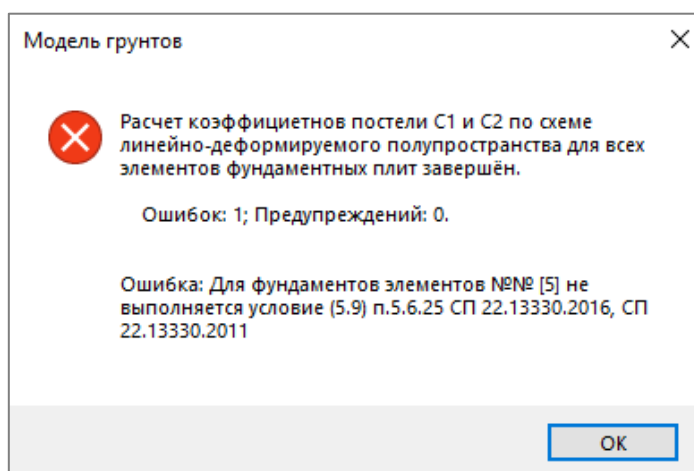


Рис. 5.23. Окно с сообщением о невыполнении условия

Расчет осадки по EN 1997-1:2004 и СН РК EN 1997-1: 2004/2011

В ПК ЛИРА 10.12 полная осадка s состоит из двух компонент — мгновенной осадки s_0 и осадки, вызванной консолидацией s_1 :

$$s = s_0 + s_1.$$

Общая мгновенная осадка фундамента определяется (согласно DIN 4019) с использованием метода расчета, основанного на модели упругого полупространства с условным ограничением сжимаемой толщи (метод послойного суммирования) по формуле:

$$s_0 = \sum s_{0i} = \sum \left(\frac{\Delta\sigma_{z,i}}{E_i} \cdot \Delta z_i \right).$$

Вертикальные напряжения грунта σ_z на глубине z рассчитываются на основе подхода Буссинеска и принципа суперпозиции.

При расчете учитываются дополнительные напряжения, вызванные нагрузкой на фундамент, вплоть до глубины сжимаемой толщи H_c . В соответствии с EN 1997-1:2004, H_c принимается из условия, что эффективные напряжения от фундамента составляют 20% напряжений от собственного веса грунта. Соотношение может корректироваться Коэффициентом глубины сжимаемой толщи в закладке **Общие**.

Осадка консолидации по нормам СН РК EN 1997-1: 2004/2011 (Приложение Д, НТП РК 07-01.4-2012)

Расчет производится после установки флажка и заполнения параметров консолидации: времени действия приложенной нагрузки t и коэффициентов фильтрации k_f для слоев грунта.

Осадка консолидации для времени t определяется по формуле:

$$s_1 = \sum h_i \frac{\beta_i}{E_i} p \left[1 - \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-N_i} + \frac{e^{-9N_i}}{9} + \frac{e^{-25N_i}}{25} \right) \right],$$

где β_i — коэффициент, учитывающий поперечное расширение грунта в основании под фундаментом:

$$\beta_i = 1 - \frac{2\nu_i^2}{1 - \nu_i};$$

$$N_i = \frac{\pi^2 c_{v,i}}{4h_i^2} t;$$

$c_{v,i}$ — коэффициент консолидации:

$$c_{v,i} = \frac{k_{\phi i}}{m_{v,i} \cdot \gamma_w} = \frac{E_i \cdot k_{\phi i}}{\beta_i \cdot \gamma_w}.$$

Осадка консолидации по нормам EN 1997-1:2004

Расчет производится после установки флажка и заполнения параметров консолидации: времени строительства t_c , времени действия t эксплуатационных нагрузок P_z , коэффициента фильтрации k_f для слоев грунта.

Программой определяются границы консолидированного слоя грунта и направление фильтрации воды из этого слоя (вверх, вниз, в обоих направлениях). Если отток происходит в одном направлении, траектория оттока воды равна толщине консолидированного слоя, в случае оттока в двух направлениях — половине толщины слоя.

На расчёт консолидации влияют факторы времени, которые зависят от траектории оттока.

Реальный фактор времени: $T_v = \frac{c_v t}{H^2}$.

Фактор времени продолжительности строительства: $T_c = \frac{c_v t_c}{H^2}$.

Степень консолидации:

при $T_v \leq T_c$,

$$U_{av} = \frac{T_v}{T_c} \left\{ 1 - \frac{2}{T_v} \sum_{m=0}^3 \frac{1}{M^4} [1 - \exp(-M^2 \cdot T_v)] \right\};$$

$$\text{при } T_v > T_c, \quad U_{av} = 1 - \frac{2}{T_v} \sum_{m=0}^3 \frac{1}{M^4} [\exp(M^2 \cdot T_c)] \cdot \exp(-M^2 \cdot T_v),$$

$$\text{где } M = (2m + 1) \frac{\pi}{2}, \\ m = 0, 1, 2, 3.$$

Осадка консолидации i -го консолидированного слоя толщиной H_i в любой момент времени t : $s_{ti} = s_i U_{avi}$,

где $s_i = H_i P_i m_{vi} = H_i P_i \frac{\beta_i}{E_i}$ — полная стабилизационная осадка консолидированного слоя.

Полная осадка консолидации определяется по формуле: $s_1 = \sum s_{ti}$.

5.2.7 Расчет свайного фундаментов

Свая в ПК ЛИРА 10 моделируется как одноузловым конечным элементом упругой сваи Свая (КЭ 57), так и цепочкой стержней эквивалентной жесткости.

Жесткость сваи характеризуется следующими величинами:

- R_x — жесткость вдоль глобальных или локальных осей координат узла X;
- R_y — жесткость вдоль глобальных/локальных осей координат узла Y;
- R_z — жесткость вдоль глобальных/локальных осей координат узла Z;
- R_{ix} — жесткости на поворот вокруг глобальных/локальных осей координат узла X;
- R_{iy} — жесткости на поворот вокруг глобальных/локальных осей координат узла Y;
- R_{iz} — жесткости на поворот вокруг глобальных/локальных осей координат узла Z.

Жесткости R_x , R_y , R_z , R_{ix} , R_{iy} , R_{iz} вычисляются при помощи стержневого элемента, моделирующего сваю совместно с окружающим грунтом и обладающим переменными характеристиками по глубине. При этом нижний узел стержня (пята сваи) закреплен от поворота вокруг оси Z.

Вычисление жесткостей производится по формулам:

$$R_x = \frac{1}{u_x}; \quad R_y = \frac{1}{u_y}; \quad R_z = \frac{1}{u_z}; \quad R_{ix} = \frac{1}{\psi_{ix}}; \quad R_{iy} = \frac{1}{\psi_{iy}}; \quad R_{iz} = \frac{1}{\psi_{iz}},$$

где u_x , u_y , ψ_{ix} , ψ_{iy} , ψ_{iz} — горизонтальные перемещения и углы поворота головы сваи;
 s — осадка.

Расчет осадки свай зависит от выбранного нормативного документа и выбранной модели расчета:

- Одиночная висячая свая;
- Свайный куст;
- Условный фундамент.

Расчет по СП 24.13330.2011

Осадка свай в Свайном кусте

При расчете приняты следующие допущения:

1. Сваи, входящие в **Свайный куст**, должны быть описаны одной строкой в опции **Сечение** (т.е. должны иметь одну длину, сечение, конструктивные особенности).
2. Взаимное влияние кустов свай производится как для **Условных фундаментов**.

Расчет висячих свай в составе свайного куста производится в соответствии с пп. 7.4.4, 7.4.5 СП 24.13330.2011 по методике осадка одиночной сваи, учитывающей взаимное влияние свай в кусте.

Осадка n -й сваи в группе из свай n производится по формуле:

$$s_i = s(P_{zi}) + \sum_{j \neq i} \delta_{ij} \frac{P_{zj}}{G_{lij} \cdot l},$$

где $s(P_{zi})$ — осадка i -й сваи (определяется по методике расчета осадки одиночной сваи);

$\sum_{j \neq i} \delta_{ij} \frac{P_{zj}}{G_{lij} \cdot l}$ — сумма дополнительных осадок от влияния $(n-1)$ свай в кусте к осадке

i -й сваи,

где

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 0.17 \ln \frac{k_{vij} \cdot G_{lij} \cdot l}{2G_{2ij} \cdot a_{ij}} & \text{если } \frac{k_{vij} \cdot G_{lij} \cdot l}{2G_{2ij} \cdot a_{ij}} > 1, \\ 0 & \text{если } \frac{k_{vij} \cdot G_{lij} \cdot l}{2G_{2ij} \cdot a_{ij}} < 1 \end{cases}$$

a_{ij} — расстояние между осями i -й сваей, осадка которой рассчитывается, и j -й, влияющей сваей, дополнительная осадка от которой учитывается.

Осадка свай в Условном фундаменте

При расчете приняты следующие допущения:

1. Грунт, на который опираются сваи, рассматривается как линейно-деформируемое полупространство.
2. Сваи, входящие в **Условный фундамент**, должны быть описаны одной строкой в опции **Сечение** (иметь одну длину, сечение, конструктивные особенности).
3. Выполняется соотношение: $0 < E_1 < E_2$,

где E_1 — усредненный модуль деформации грунтов в пределах длины сваи l ;

E_2 — усредненный модуль деформации грунтов в пределах глубины сжимаемой толщи H_c **Условного фундамента**.

Расчет производится в соответствии с пп. 7.4.6, 7.4.9 СП 24.13330.2011.

Полная осадка i -й сваи в составе свайного поля, рассчитываемая по модели **Условного фундамента**, определяется по формуле:

$$s_i = s_{ef} + \Delta s_{pi} + \Delta s_{ci},$$

где s_{ef} — осадка **Условного фундамента**;

Δs_{pi} — дополнительная осадка за счет продавливания свай на уровне подошвы условного фундамента;

Δs_{ci} — дополнительная осадка за счет сжатия ствола сваи.

Определение осадки Условного фундамента s_{ef}

Расчет производится в соответствии с п. 7.4.7 СП 24.13330.2011.

Осадка **Условного фундамента** площадью A_{cf} , состоящего из n свай, определяется для его центра, имеющего координаты (x_{cf}, y_{cf}) .

Нагрузка P_{zcf} , действующая на Условный фундамент и приложенная в его центре на уровне оголовка свай, определяется по формуле:

$$P_{zcf} = \sum_{i=1}^n P_{zi},$$

где P_{zi} — вертикальная нагрузка, действующая на оголовок i -й свай.

Среднее давление под подошвой Условного фундамента определяется без учета веса грунта в его пределах по формуле:

$$P_{zcf} = \frac{P_{zcf} + \sum_{i=1}^n V_i}{A_{cf}},$$

где v_i — вес i -й свай (вычисляется на основании заданных характеристик).

Расчет осадки s_{ef} производится методом послойного суммирования деформаций с условным ограничением сжимаемой толщи H_c (пп. 5.6.31 – 5.6.41 СП 22.13330.2011), при этом начальное напряжение σ_{zi} определяется с учетом отрывки котлована.

Взаимовлияние **Условных фундамента** между собой производится по методике плитных фундамента.

Определение дополнительной осадки за счет продавливания Δs_{pi}

Расчет производится в соответствии с п. 7.4.8 СП 24.13330.2011.

Дополнительная осадка за счет продавливания i -й свай вычисляется по формуле:

$$\Delta s_{pi} = \frac{\Delta s_{pei}}{\frac{\Delta s_{pei}}{\Delta s_{p0i}} \cdot \left(1 - \frac{E_{1i}}{E_{2i}}\right) + \frac{E_{1i}}{E_{2i}}}.$$

Осадка продавливания Δs_{pei} i -й свай при однородных грунтах ($E_{1i} = E_{2i}$):

$$\Delta s_{pei} = \frac{\pi(1 - \nu_{2i}^2) \cdot \frac{P_{zi}}{\Omega}}{4E_{2i}} (a - 1.5d),$$

где d — расчетный диаметр свай;

Ω — площадь продавливания свай;

a — средний шаг свайного поля:

- для рядового расположения свай:

$$a = \sqrt{\Omega},$$

- для шахматного расположения свай:

$$a = \sqrt{\frac{2 \cdot \Omega}{\sqrt{3}}}.$$

Осадка продавливания i -й свай для случая идеальной свай ($E_{1i} = 0$):

$$\Delta s_{p0i} = \frac{(1 - \nu_{2i}^2) \cdot (1 - k) \cdot (P_{zi} + v_i)}{d \cdot E_{2i}},$$

где $k = \sqrt{\frac{A}{\Omega}}$, A — площадь пяты свай.

Определение дополнительной осадки за счет сжатия ствола сваи Δs_{ci}

Расчет производится в соответствии с п. 7.4.9 СП 24.13330.2011.

$$\Delta s_{ci} = \frac{P_{zi} \cdot (l-a)}{E \cdot A},$$

где E — модуль упругости ствола сваи;

A — площадь ствола сваи.

Значение вертикальной жесткости для i -й сваи:

$$R_{zi} = \frac{P_{zi}}{S_i}.$$

Вычисление жесткости грунта в горизонтальном направлении

Расчет производится в соответствии с Приложением В, пп. В.1-В.3, В.5 СП 24.13330.2011.

Для вычисления жесткостей R_x , R_y , R_{ux} , R_{uy} , R_{uz} внутрипрограммно создается стержневой элемент, моделирующий сваю совместно с окружающим грунтом. Длина элемента равна L . Элемент разбит на заданное количество участков разбиения n , при этом полученные элементы опираются боковыми поверхностями на упругое основание, характеризуемое коэффициентами постели C_{zxi} , C_{zyi} .

$$C_{zxi} = \frac{\alpha_{xi} \cdot K \cdot z}{\gamma_c},$$

$$C_{zyi} = \frac{\alpha_{yi} \cdot K \cdot z}{\gamma_c},$$

где K — коэффициент пропорциональности, принимаемый в зависимости от вида грунта, окружающего сваю;

z — глубина, для которой определяется коэффициент постели;

γ_c — коэффициент условий работы;

α_{xi} — понижающий коэффициент для X направления;

α_{yi} — понижающий коэффициент для Y направления.

Понижающие коэффициенты вычисляются по формулам:


$$\alpha_{xi} = \gamma_c^\alpha \cdot \prod_{j=0, j \neq 1}^n \left\{ 1 - \frac{H}{r_{ij}} \left[1.17 + 0.36 \frac{x_j - x_i}{r_{ij}} - 0.15 \left(\frac{x_j - x_i}{r_{ij}} \right)^2 \right] \right\},$$

$$\alpha_{yi} = \gamma_c^\alpha \cdot \prod_{j=0, j \neq 1}^n \left\{ 1 - \frac{B}{r_{ij}} \left[1.17 + 0.36 \frac{y_j - y_i}{r_{ij}} - 0.15 \left(\frac{y_j - y_i}{r_{ij}} \right)^2 \right] \right\},$$

где γ_c^α — коэффициент, учитывающий уплотнение грунта при погружении свай, принимаемый: 1.2 — для забивных свай сплошного сечения и 1 — для остальных видов свай;

H, B — стороны поперечного сечения сваи (в случае круглых свай $H = B = d$);

$r_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$ — расстояние между близлежащими сваями в осях.

 $\prod_{j=0, j \neq i}^n$ — произведение распространяется только на сваи куста, непосредственно примыкающие к i -й свае.

Расчет по EN 1997-1:2004 и СН РК EN 1997-1: 2004/2011

Осадка одиночной сваи

Метод расчета осадки одиночных свай в ПК ЛИРА 10.12 основан на использовании линейно-упругого метода Поулоса и Дэвиса, описанного в книге [5.9]. При этом методе грунт основания описывается модулем упругости E и коэффициентом Пуассона ν . Осадка одиночной сваи определяется с помощью комплекса поправочных коэффициентов.

При расчете приняты следующие допущения:

1. Свая и грунт изначально свободны от напряжений.
2. В свае нет остаточных напряжений, возникающих в результате ее установки.
3. Перемещения сваи и прилегающего грунта равны.

Осадка одиночной сваи от действия осевой нагрузки P_z определяется по формуле:


$$s = \frac{P_z I}{E_s d}$$

Коэффициентом влияния осадки I программа регулирует:


- для сваи на жестком основании (сваи-стойки):
 - влияние осадки пяты сваи (зависит от длины сваи и размеров ствола и пяты сваи);
 - сжимаемость сваи (зависит от коэффициента жёсткости сваи и отношения длины к диаметру сваи);
 - жесткость несущего слоя (зависит от отношения модулей упругости сваи и секущего модуля деформации грунта под свайей, а также от отношения окружающего грунта к коэффициенту жёсткости сваи — для разных отношений длины и диаметра сваи);
 - влияние понижения коэффициента Пуассона ν в окружающем сваю грунте на понижение значения осадки сваи при постоянном модуле упругости грунта (зависит от коэффициента Пуассона окружающего грунта и коэффициентов жёсткости сваи).
- для висячей сваи:
 - влияние осадки пяты сваи;
 - сжимаемость сваи;
 - влияние несжимаемого грунта под пятой сваи (зависит от отношения длины сваи к диаметру сваи и отношения длины сваи к толщине сжимаемого слоя над несжимаемым слоем);
 - влияние понижения коэффициента Пуассона ν грунта.

5.2.8 Результаты расчета

После выполнения расчета для каждого элемента фундамента можно посмотреть результаты. Для этого выберите на схеме нужные элементы, выделив их при помощи мыши. Слева появится панель **Свойства нагрузки** с исходными и расчетными данными, а также эпюрами напряжений (рис. 5.24).

 Если выбраны несколько элементов фундамента, то их имена заносятся в раскрывающийся список сверху панели, в котором можно выбрать конкретный элемент.

На рис. 5.24 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.

Кнопка  позволяет скопировать изображение эпюр напряжений в файл для последующего использования его в документировании.

Если элементы объединены в группу **Плитный фундамент** (см. п. 2.11.14), то в результатах расчета на панели **Свойства нагрузки** на закладке **Осадка** также будет получено значение расчетного сопротивления, R .

А для анализа результатов расчета по прочности подстилающего слоя необходимо перейти на закладку **Расчетное сопротивление** (рис. 5.25). Она предназначена для анализа соотношения между расчетным сопротивлением подстилающего слоя R_z на глубине z от подошвы фундамента и суммарным давлением на грунт σ_z в этом слое.

При выполнении расчетов по нормам Еврокода программа позволяет создать график осадки консолидации во времени, который дает возможность оценить развитие осадки водонасыщенных грунтов во времени, а также ее стабилизацию. Для этого нужно задать в соответствующем поле требуемое количество лет, а затем нажать кнопку **Осадка консолидации** (рис. 5.26).

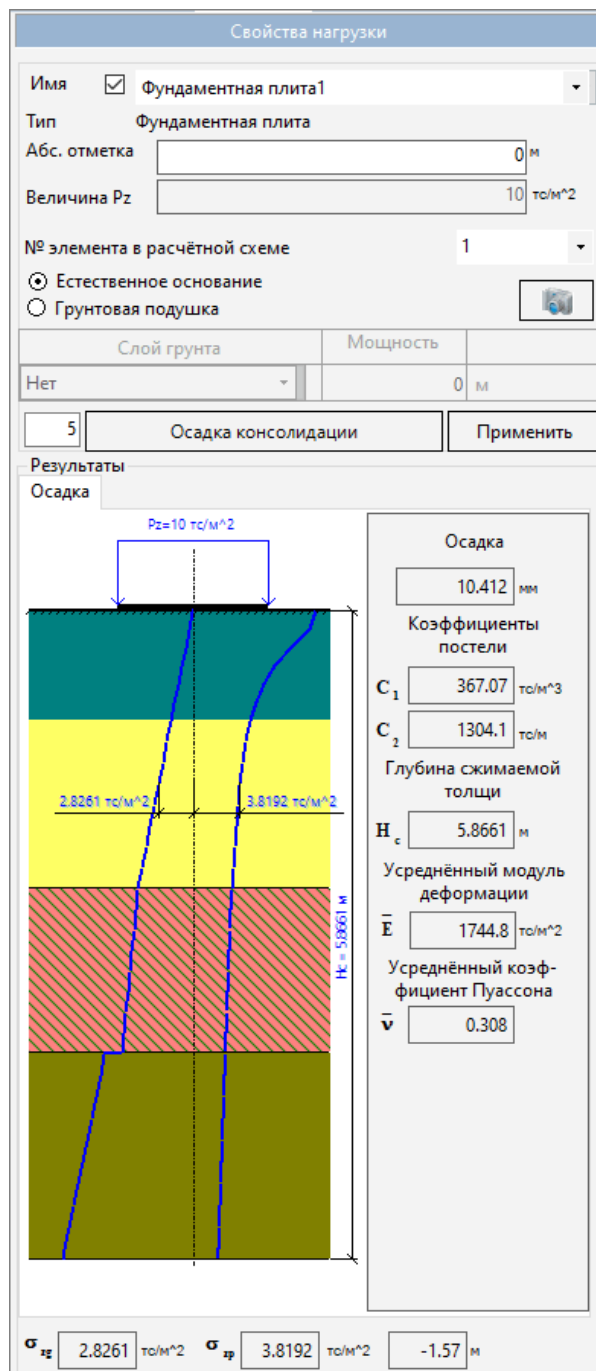


Рис. 5.24. Панель **Свойства нагрузки**

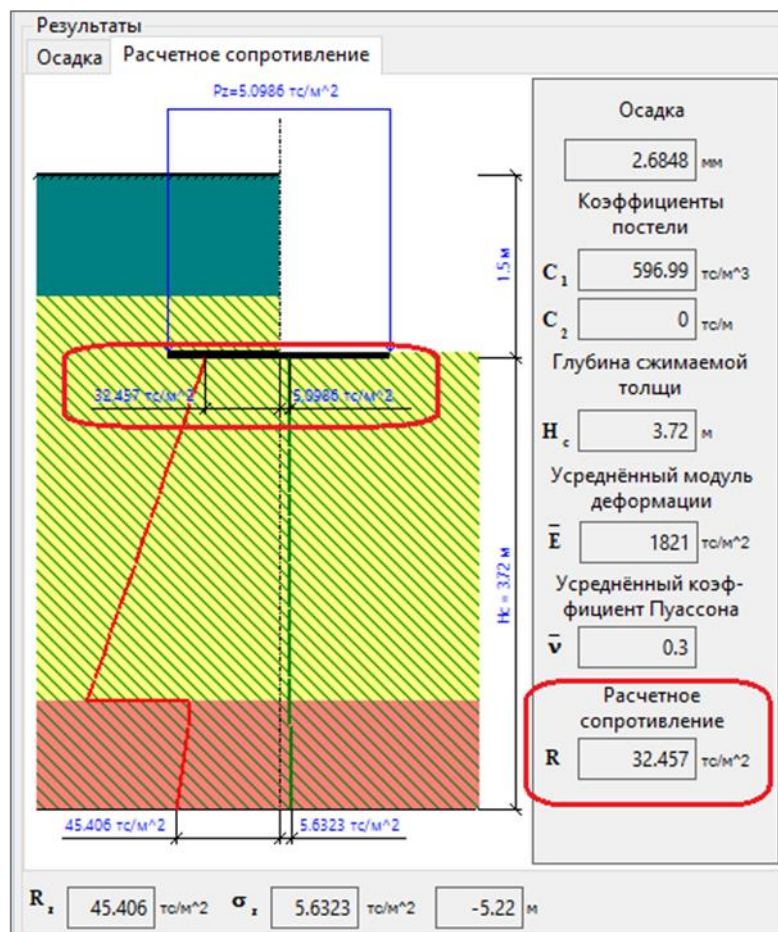
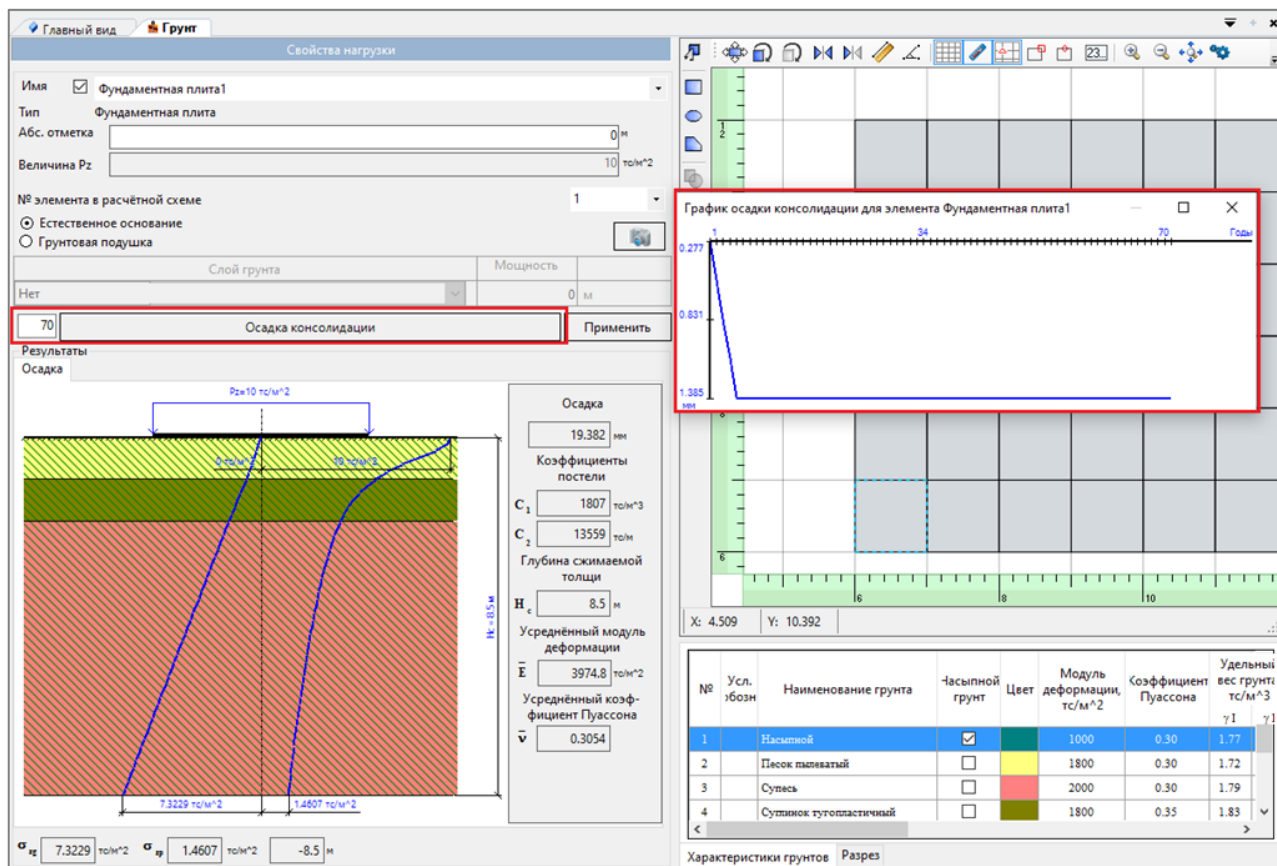
Рис. 5.25. Закладка **Расчетное сопротивление**

Рис. 5.26. График осадки консолидации


5.2.9 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 в раскрывшемся окне закладку **Импорт**, задайте масштабный коэффициент для изменения размеров импортируемых полигонов из файлов *.dxf (рис. 5.27).

При нажатии кнопки **Применить** импорт начнется немедленно.

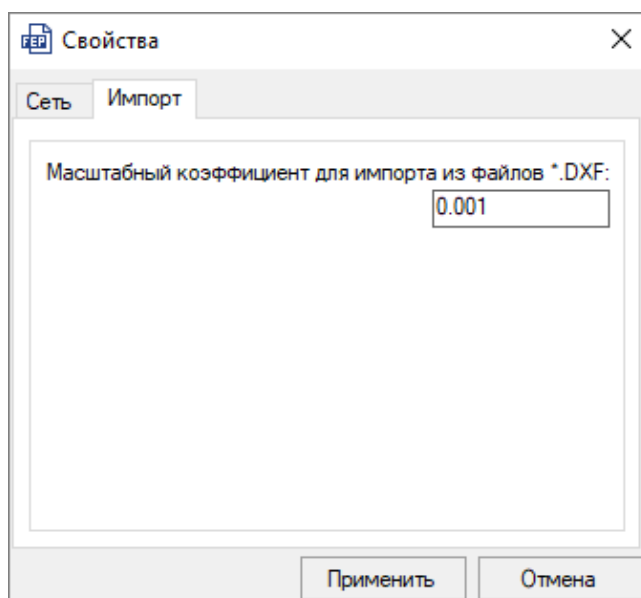




Рис. 5.27. Окно **Свойства**

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 **Характеристики импорта модели грунта** (рис. 5.28).

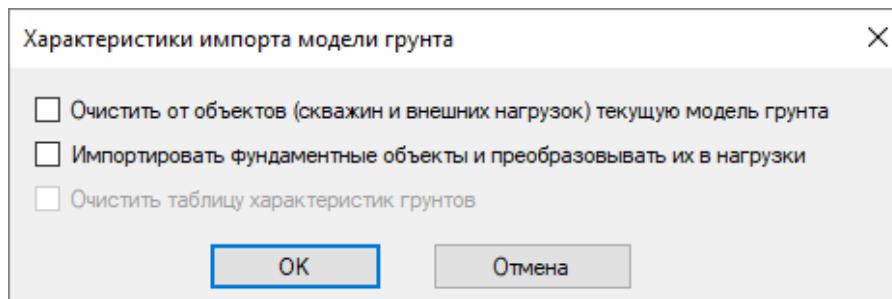


Рис. 5.28. Характеристики импорта модели грунта

Здесь:

- **Очистить от объектов (скважин и внешних нагрузок) текущую модель грунта** — установка флажка 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** — установка флажка означает, что все найденные в импортируемом файле нагрузки на элементы фундамента преобразуются в нагрузки от соседних фундаментов по контурам исходных объектов. В противном случае нагрузки на фундаментные объекты не импортируются.

- **Очистить таблицу характеристик грунтов** — установка флажка означает, что перед импортом нужно очистить таблицу характеристик грунтов в текущей модели. Данный флажок становится 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. При 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 P_z — только если в окне (рис. 5.28) 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 .

5.3.1 Просмотр результатов в режиме Информация об узле или элементе

Для просмотра информации об узле или элементе воспользуйтесь командой **Анализ** ⇨ **Информация** либо нажмите кнопку  на панели инструментов. Активируется панель активного режима **Информация об узле или элементе** с исходными и рассчитанными данными выбранного элемента (рис. 5.29).

На этой панели откройте пункт **Упругое основание**, затем откройте свойство **Тип** и, если расчет коэффициентов постели был ранее выполнен, будут показаны 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 сечения** либо задана пользователем (рис. 5.30).

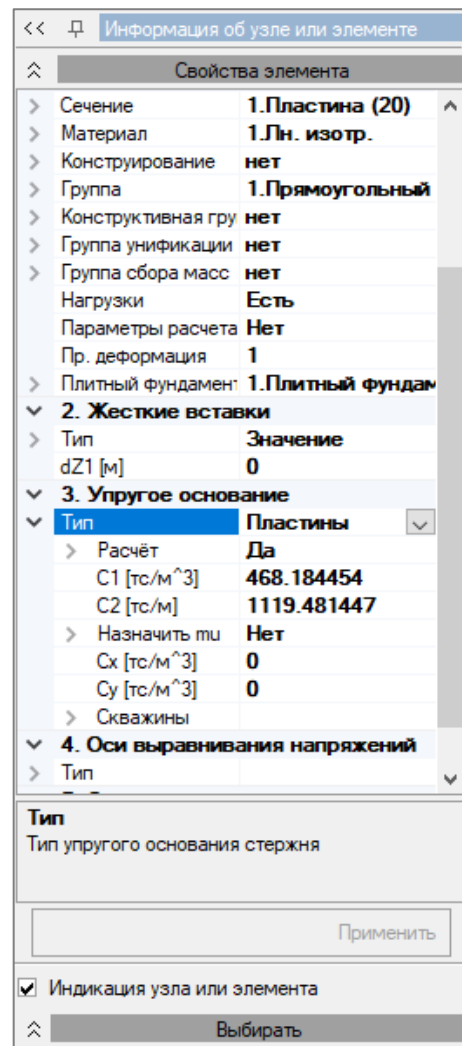


Рис. 5.29. Панель **Информация об узле или элементе**

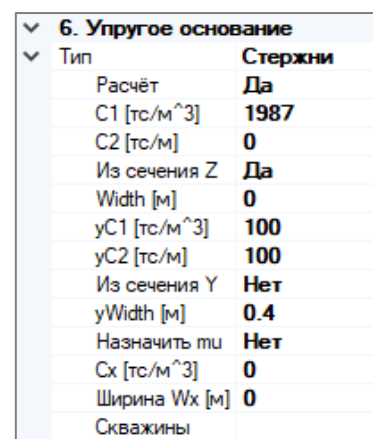



Рис. 5.30. Информация для стержня

5.3.2 Визуализация результатов в режиме Упругое основание

Для активизации режима **Упругое основание** воспользуйтесь командой **Назначение** ⇨ **Упругое основание** либо кнопкой  на панели инструментов. Перейдите на вкладку **Визуализация** для просмотра результатов (рис. 5.31).

На этой вкладке можно:

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

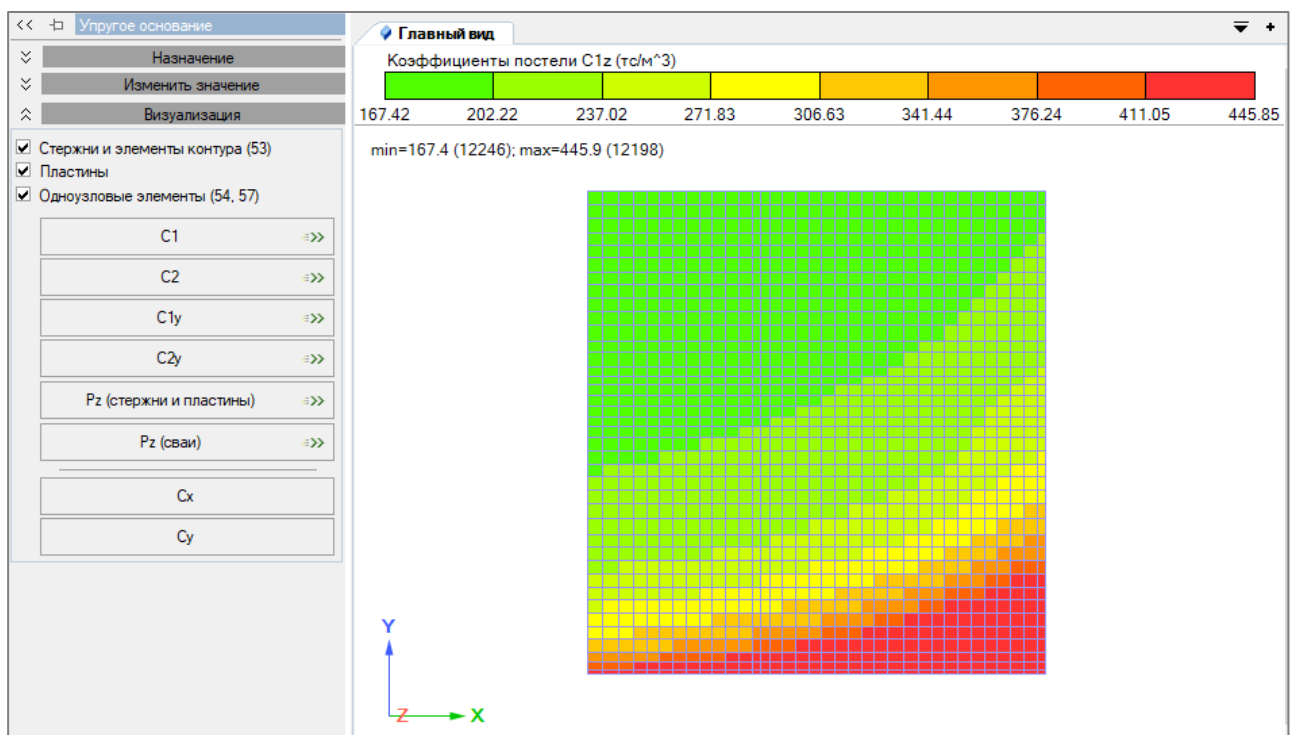



Рис. 5.31. Визуализация результатов в режиме **Упругое основание**

5.3.3 Визуализация результатов в режиме Анализ модели

Для активизации режима **Анализ модели** воспользуйтесь командой **Анализ ⇨ Анализ модели** или кнопкой  на панели инструментов.

Раскрывающаяся вкладка **Упругое основание** позволяет визуализировать как заданные характеристики упругого основания, так и характеристики, вычисленные в редакторе грунта. Все эти данные (см. п. 2.17.6) отображаются в виде распределения значений по элементам.

Чтобы показать относительную разность осадок, для начала нужно выбрать на схеме реперный элемент, относительно которого эта разность рассчитается. 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**. На панели под кнопками 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. 5.32).

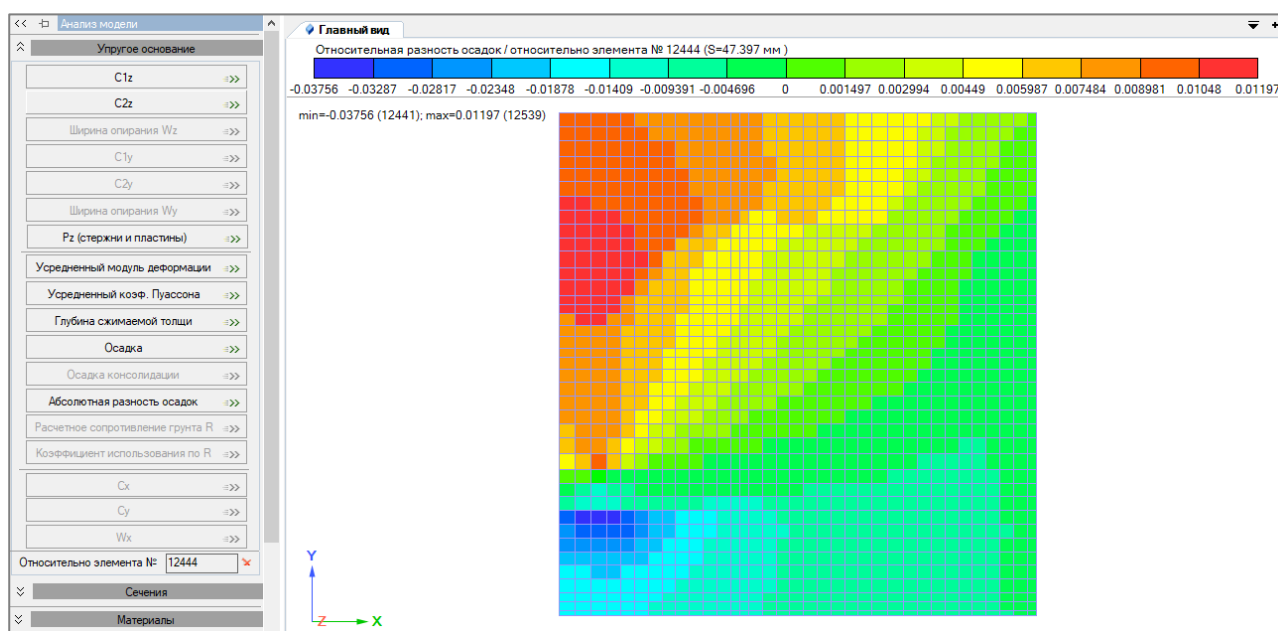



Рис. 5.32. Относительная разность осадок

 *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.*

Также с помощью кнопки **Абсолютная разность осадок** можно посмотреть на схеме распределение абсолютных разностей осадок по элементам.

Убрать реперный элемент можно, нажав кнопку .


5.4 ПЕРЕСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОСТЕЛИ НА НОВУЮ НАГРУЗКУ

Уточнять коэффициенты постели $C1$ и $C2$ на приложенную фактическую нагрузку можно только после получения результатов расчета схемы.


Преобразование отпора грунта Rz в нагрузку Pz выполняется в следующей последовательности:

1. Перейдите в **Результаты** расчета.
2. Задайте текущим нужное загрузение или РСН.
3. Выведите на экран **Результаты по пластинам**

(кнопка ) , **Результаты по стержням** (кнопка )

либо **Результаты по спец. элементам** (кнопка ) .

4. Отобразите на экране отпор грунта, нажав на кнопку **Усилие Rz** (рис. 5.33) или **Усилие Ry** для стержней, либо выберите одно из усилий для одноузлового элемента сваи.

5. Перейдите в режим **Преобразование результатов в исходные данные** (Спец. результаты, кнопка ) .

6. На панели **Результаты в исходные данные** откройте вкладку **Преобразование в Pz** .

7. При преобразовании РСН сделайте выбор в раскрывающемся списке **Тип сочетания** (рис. 5.34).

8. При необходимости откорректируйте **Коэффициент преобразования**.

9. На вкладке **Политика преобразования** при помощи соответствующих переключателей укажите элементы (выбранные или все), для которых предполагается выполнить перерасчет.

10. Выполните преобразование, нажав на кнопку **Преобразовать**.

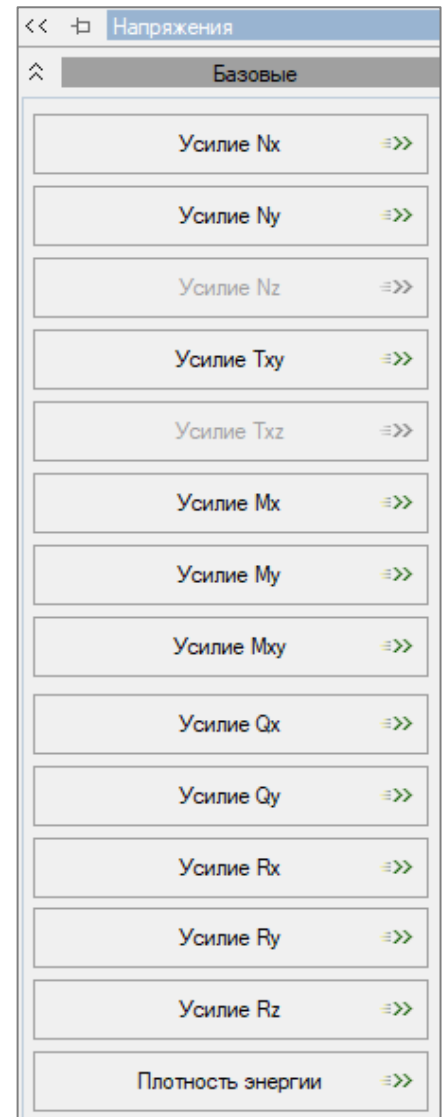


Рис. 5.33. Панель **Напряжения**

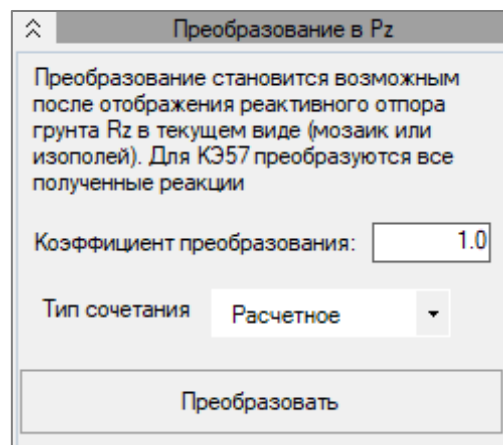


Рис. 5.34. Вкладка **Преобразование в Pz**

На экран выведется 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. 5.35).

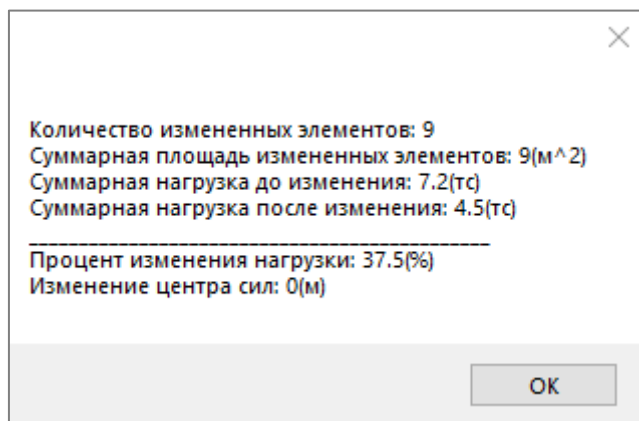


Рис. 5.35. Окно с данными преобразования

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 следующее сообщение (рис. 5.36).

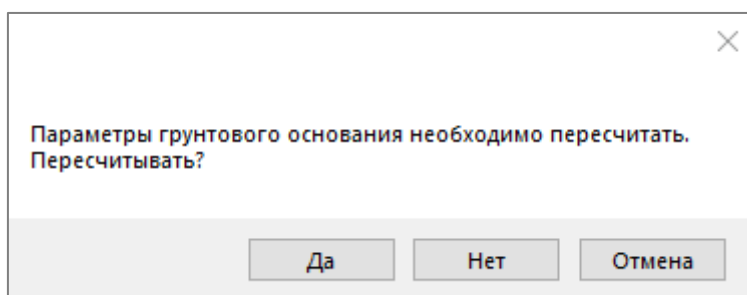


Рис. 5.36. Окно с предложением пересчета

После нажатия кнопки **Да** коэффициенты постели $C1$, $C2$ 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.