

## 7.2. Расчет рамы, установленной на столбчатых фундаментах

### Задание

Выполнить расчет и подбор армирования столбчатых фундаментов колонн железобетонной рамы.

Исходные данные:

- Построенная модель – см. главу 7.1.
- Геологический профиль строительной площадки приведен на рис. 7.2.1.
- Параметры грунта перечислены в таблице 7.2.1.
- Глубина заложения фундамента: 1,5 м.
- Класс арматуры: A240 (A-I).
- Толщина защитного слоя: 40 мм (п. 8.3.2 СП 52-101-2003).

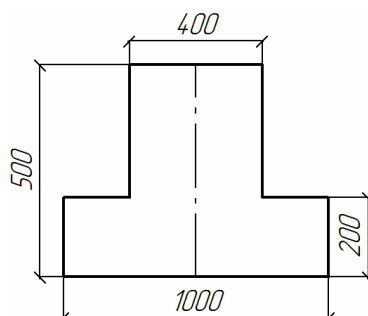


Рис. 7.2.1. Геологический профиль строительной площадки

Таблица 7.2.1 Параметры грунта

№	Имя	Тип	Подтип	Толщина (м)	Уровень (м)	Плотность (кг/м³)	Угол внутреннего трения (градус)	Удельное сцепление (кПа)	Кэф. поперечной деформации	Модуль деформации (МПа)
1	Песок пылеватый	Песок	Пылеватый	2	0	1920	24	24	0.30	5
2	Песок средней крупности	Песок	Средней крупности	3	2	1910	26	8.4	0.30	15
3	Глина IL=0.2	Глина	IL=0.2	4	5	1800	24	13	0.30	16

### Общий порядок расчета

1. Принципы расчета фундаментов
2. Создание комбинации загрузок
3. Статический расчет
4. Задание упругого основания столбчатого фундамента
5. Перерасчет рамы с учетом упругого основания столбчатых фундаментов
  - 5.1. Итерационный процесс расчета фундаментов
  - 5.2. Определение расчетных сочетаний усилий
  - 5.3. Проверка армирования конструктивных элементов

#### 1. Принципы расчета фундаментов

Расчет фундамента начинается с предварительного выбора конструктивного решения и определения глубины заложения.

Расчет внутренних усилий в системе "основание-фундамент-сооружение" допускается выполнять на основании, характеризуемом переменным в плане коэффициентом жесткости (коэффициентом постели). При этом переменный в плане коэффициент постели должен назначаться с учетом неоднородности в плане и по глубине основания. Коэффициенты постели зависят от структуры и физических свойств грунта, а также от нагрузки на основание. Эти коэффициенты могут

быть определены в процессе последовательных приближений. Процесс последовательных приближений включает следующие шаги:

- 1) расчет сооружения на жестком основании и определение первоначального распределения коэффициента постели исходя из глубины продавливания толщи грунта;
- 2) расчет совместных перемещений сооружения фундамента и основания с принятым распределением коэффициента постели при действии заданных нагрузок;
- 3) определение осадок основания с использованием принятой модели основания, а также следующего приближения и пересчет коэффициентов постели;
- 4) повторение шагов 2) и 3) до достижения сходимости по контрольному параметру (например, по реакциям в опорах).

## 2. Создание комбинации загружений

Если при задании нагрузки каждого типа использовались загрузки, то для определения нагрузки на опоры необходимо создать наиболее неблагоприятную комбинацию совместно действующих загружений.

Команда **Комбинация загружений...** меню **Нагрузки** вызывает появление одноименного диалогового окна (рис. 7.2.2). Чтобы добавить загрузку в комбинацию, нужно вначале выбрать его в выпадающем списке, затем ввести в качестве множителя коэффициент надежности по нагрузке и нажать кнопку **Добавить**. Комбинация загружений представляет собой линейное сочетание выбранных загружений.

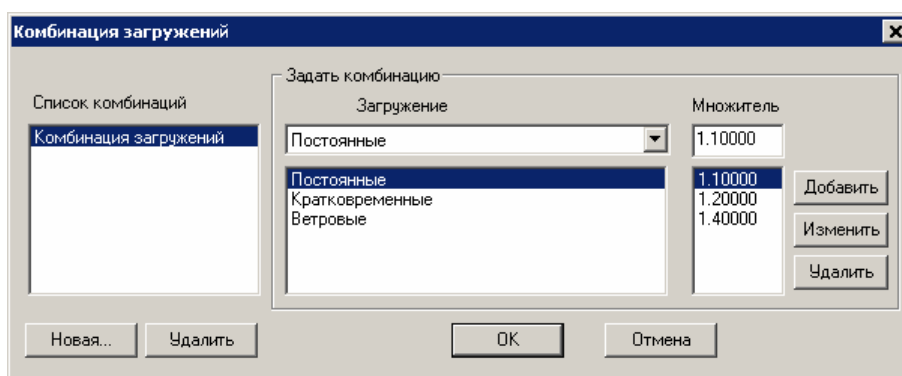




Рис. 7.2.2. Диалоговое окно **Комбинация загружений**

## 3. Статический расчет

Выбираем команду меню **Расчет/Расчет**. В появившемся диалоговом окне необходимо выбрать **Комбинация загружений**, отметить ☒ **Статический расчет** и нажать кнопку **Ок**.

## 4. Задание упругого основания столбчатого фундамента

Задание столбчатых фундаментов удобно выполнить одновременно для всех колонн. При этом для колонны будет создан отдельный столбчатый фундамент. Задание единого упругого основания всех столбчатых фундаментов начинаем с выделения ВСЕХ железобетонных колонн с опорами. Сделать это удобно СЕКУЩЕЙ слева направо рамкой с помощью команды  **Выбрать группу**.

Нажатие кнопки  **Упругое основание под столбчатый фундамент** панели инструментов **Упругие основания** (меню **Рисование/Опора/Упругое основание**) вызывает появление диалогового окна **Фундаменты** (рис. 7.2.3). При первом обращении данной команде автоматически создаются столбчатые фундаменты под каждой выделенной колонной.

В левой части диалогового окна **Фундаменты** расположен список всех фундаментов. Обеспечение ассоциация модели и списка фундаментов осуществляется двумя способами:

- 1) выделите один или несколько фундаментов в списке и соответствующие им элементы будут выделены на модели красным цветом (рис. 7.2.4).
- 2) выделите одну или несколько колонн с опорами на модели и при вызове диалогового окна **Фундаменты** соответствующие фундаменты в списке будут выделены серым цветом.

Дальнейшее задание параметров (учет наличия подвала, коэффициенты условий работы и т.д.) осуществляется во вкладках диалогового окна **Фундаменты** для каждого основания.

Вкладка **Конфигурация** (см. рис. 7.2.3) предназначена для задания формы фундамента, основных геометрических соотношений и параметров подвала при его наличии. Задайте параметры конфигурации согласно рис. 7.2.3.

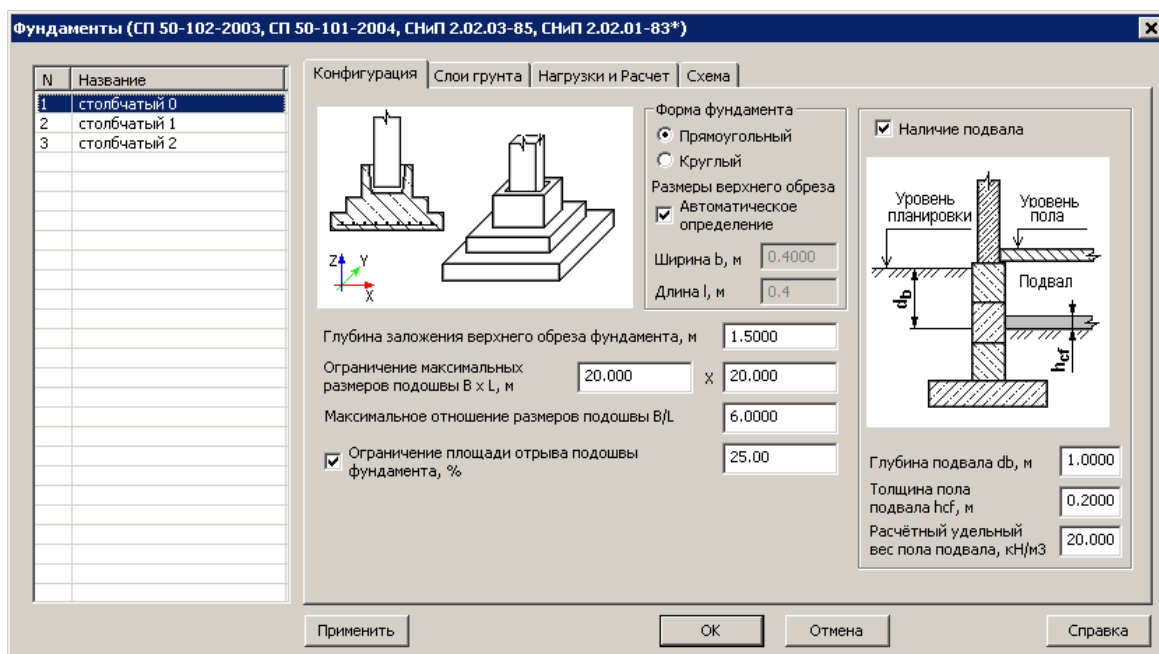


Рис. 7.2.3. Диалоговое окно **Фундаменты**, вкладка **Конфигурация**

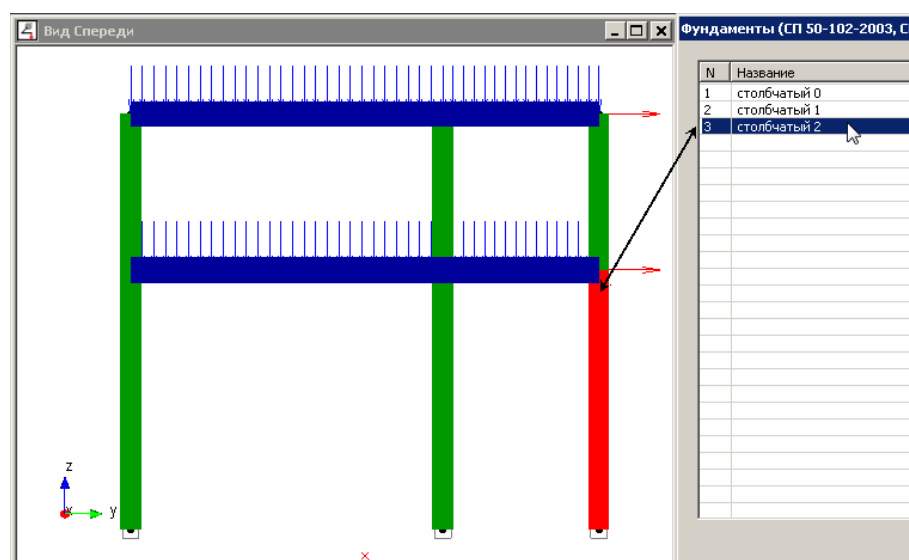


Рис. 7.2.4. Ассоциация диалога **Фундаменты** с моделью

Вкладка **Слои грунта** (рис. 7.2.5) предназначена для задания параметров слоев грунта. Для задания грунта необходимо, прежде всего, выбрать тип (глина или песок). В зависимости от выбранного типа будет то или иное выпадающее меню подтип: для песка – гравелистый, крупный, средней крупности, мелкий, пылеватый; для глины – в зависимости от показателя текучести  $IL = 0 \dots 1$ . Далее станут доступны для задания все остальные параметры: толщина (м), плотность (кг/м<sup>3</sup>), угол внутреннего трения (град), удельное сцепление (кПа), коэф. поперечной деформации, модуль упругости (МПа). Задайте параметры грунта согласно таблице 7.2.1.

**Замечание:**

Если структура грунта одинакова на всей площадке строительства, то можно задать один грунт для всех столбчатых фундаментов или для НЕ ОДНОРОДНОЙ площадки следует задавать отдельный грунт для каждого фундамента.

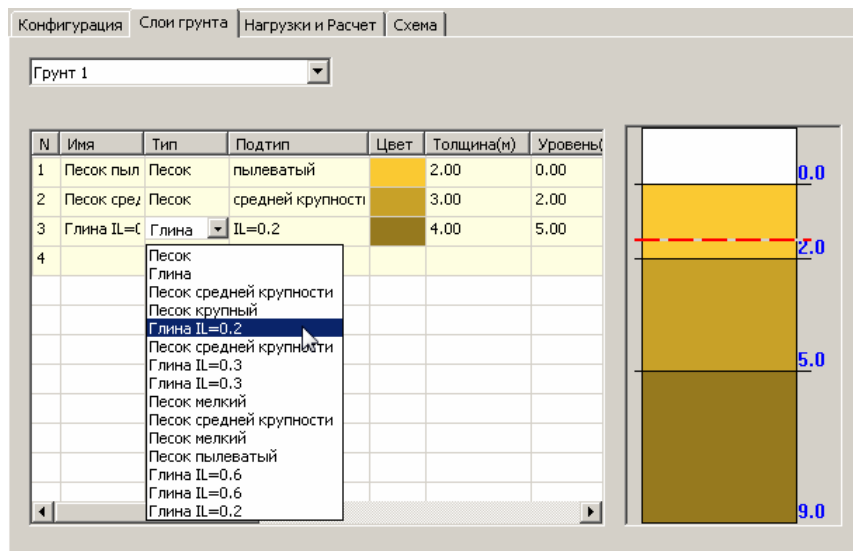


Рис. 7.2.5. Вкладка **Слой грунта**

Во вкладке **Нагрузка и расчет** (рис. 7.2.6) выберете **нагрузки на фундамент из загрузки** – **Комбинации загрузжений**. В расчете используются реакции в опорах – осевая (вертикальная) сила и моменты в двух перпендикулярных плоскостях. Также следует ввести величину защитного слоя, выбрать класс и диаметр используемой арматуры.

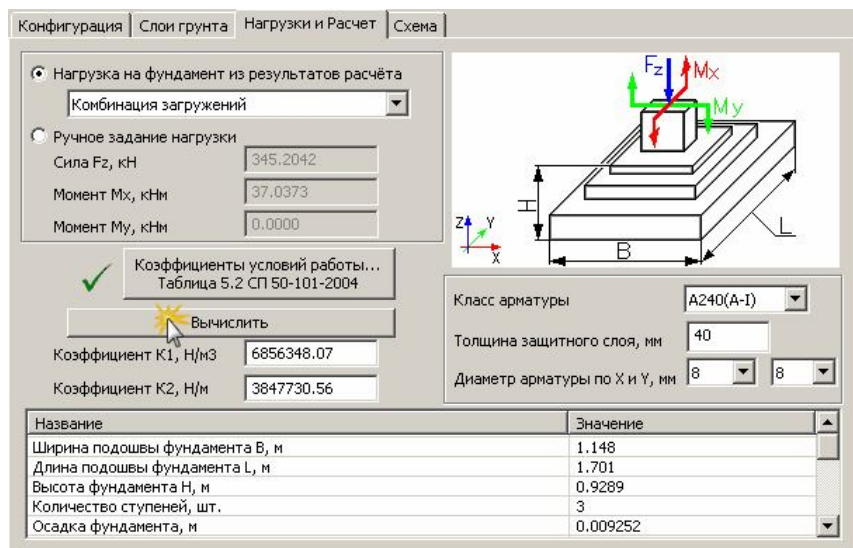


Рис. 7.2.6. Вкладка **Нагрузки и расчет**

Для выбора коэффициента условий работы нажмите соответствующую кнопку. В появившемся диалоговом окне (рис. 7.2.7) выберете тип грунта и конструктивную схему. Назначение коэффициента условий работы осуществляется автоматически согласно таблице 5.2 СП 50-101-2004.

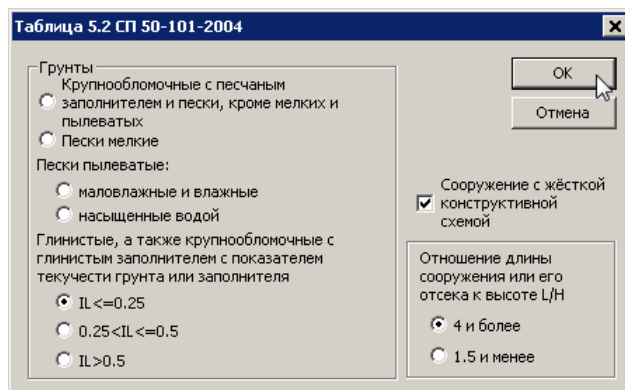


Рис. 7.2.7. Диалоговое окно выбора типа грунта

После задания всех параметров следует нажать кнопку **Применить**. Нажатие кнопки **Вычислить** инициирует выполнение расчета толщины продавливания грунта с учетом нагрузки на основание, коэффициентов постели, числа ступеней фундамента и их геометрических размеров, осадку, крен, необходимое количество арматуры. После выполнения расчета доступна схема расположения ступеней фундамента в грунте (рис. 7.2.8).

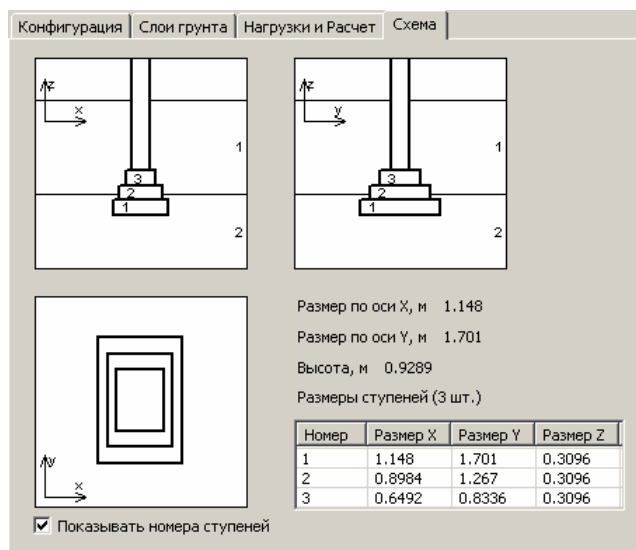



Рис. 7.2.8. Вкладка **Схема**

Для просмотра 3D модели фундамента с армированием отображается на расчетной схеме нажмите кнопку  **Показать одиночные фундаменты** на панели инструментов **Результаты армирования** (рис. 7.2.9).

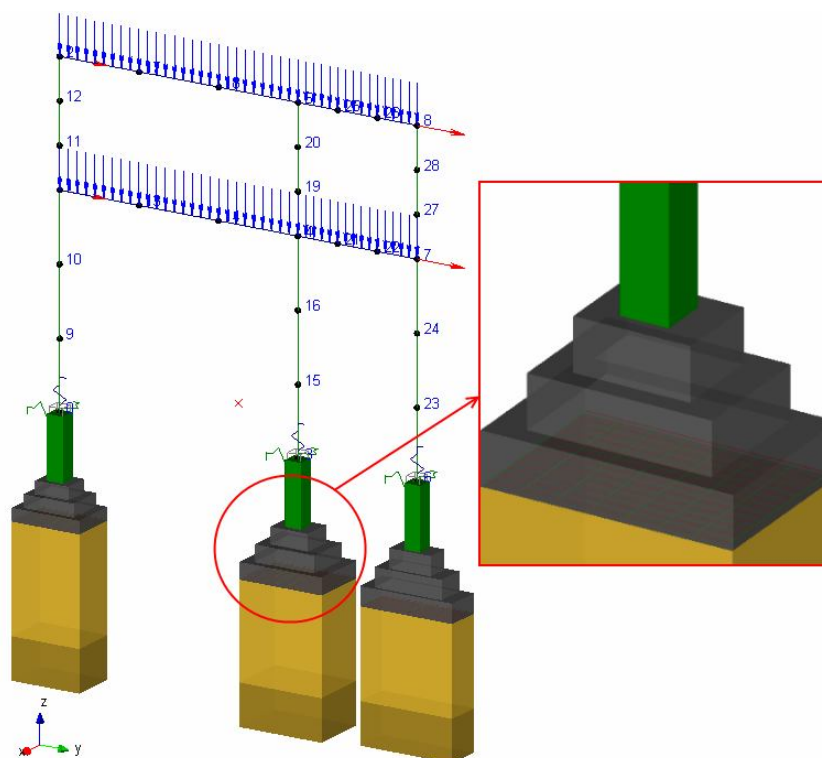



Рис. 7.2.9. Объемное отображение фундаментов на расчетной модели

## 5. Перерасчет рамы с учетом упругого основания столбчатых фундаментов


### 5.1. Итерационный процесс расчета фундаментов

В результате выполненного расчета были определены жесткости упругого основания грунта,

а жесткие опоры заменены на упругие. Перераспределение усилий в расчетной схеме для упругих опор по сравнению с жесткими требует повторного расчета фундаментов и выполнения проверки армирования конструктивных элементов. Для этого нужно выполнить повторный статический расчет с уточненными коэффициентами постели. Для проведения расчета выбираем команду меню **Расчет/Расчет**. В появившемся диалоговом окне необходимо отметить ☒ **Статический расчет** и нажать кнопку **Ок**.

Выполним перерасчет столбчатого фундамента с учетом реакций в опорах упруго основания. После нажатие кнопки  **Упругое основание под одиночный столбчатый фундамент** в диалоговом окне **Фундаменты** сразу переходим к вкладке **Нагрузки и Расчет**, т.к. все параметры были заданы при предыдущем обращении к диалоговому окну.

Нажимаем кнопку **Вычислить** для пересчета столбчатого фундамента. Такой перерасчет необходимо выполнить для всех фундаментов. Итерации выполнения статического расчета и расчета фундаментов следует повторить до достижения сходимости например по реакциям в опорах.

Для удобства включите отображение на модели номеров узлов (рис. 7.2.10), нажав кнопку  **Номера узлов** панели **Фильтры вида** (панель **Фильтры вида** расположена в нижней части окна APM Structure3D). Команда меню **Результаты/Реакции в опорах...** вызывает появление таблицы результатов. Сравнение реакций в опорах для жесткого и упругого основания представлено в таблице 7.2.1.

После выравнивания вертикальных реакций (по оси Z) на 3-й итерации выполним повторный расчет фундаментов. Результаты расчета (рис. 7.2.11, рис. 7.2.12) показали уменьшение необходимого количества ступеней до двух.

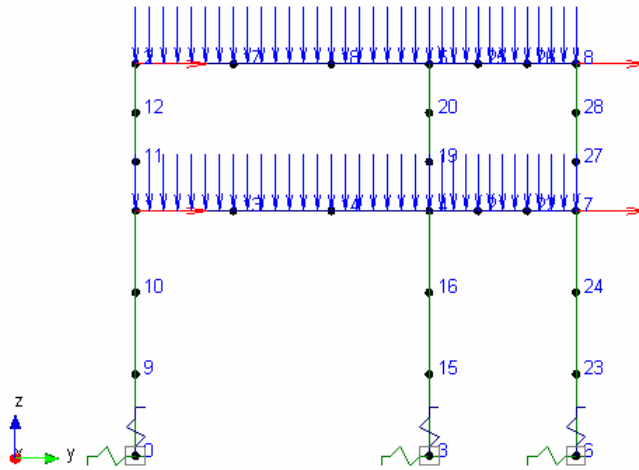


Рис. 7.2.10. Модель рамы с упругими опорами

Таблица 7.2.2 Реакции в опорах

N	Узел	Сила [тс]			Момент [тс*м]		
		(на жестких / на упругих 1-я итерация / на упругих опорах 3-я итерация)			(на жестких / на упругих 1-я итерация / на упругих опорах 3-я итерация)		
		x	y	z	X	y	z
1	0	0	-0.88 / -0.86 / -0.98	35.20 / 41.79 / 39.93	3.78 / -0.38 / 0.05	0	0
2	3	0	-3.11 / -2.81 / -2.80	58.02 / 31.92 / 38.01	7.52 / -0.40 / 0.12	0	0
3	6	0	-2.44 / -2.75 / -2.65	22.93 / 42.44 / 38.21	6.40 / -0.50 / 0.10	0	0

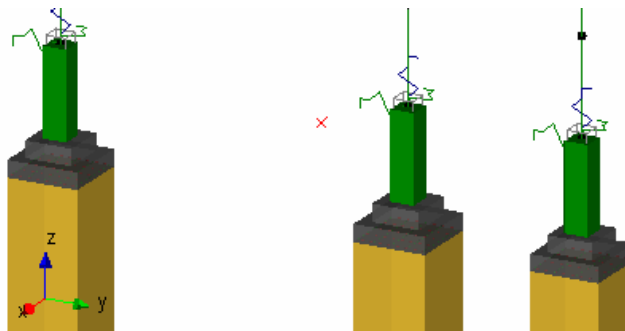


Рис. 7.2.11. Объемное отображение фундаментов

Конфигурация | Слои грунта | Нагрузки и Расчет | Схема

☒ Нагрузка на фундамент из результатов расчёта  
☐ Ручное задание нагрузки

Сила  $F_z$ , кН: 28.5968  
Момент  $M_x$ , кНм: 4.0056  
Момент  $M_y$ , кНм: 0.0000

Кoeffициенты условий работы...  
Таблица 5.2 СП 50-101-2004

Вычислить

Кoeffициент  $K_1$ , Н/м<sup>3</sup>: 6905172.91  
Кoeffициент  $K_2$ , Н/м: 4001910.35

Класс арматуры: A240(A-I)  
Толщина защитного слоя, мм: 40  
Диаметр арматуры по X и Y, мм: 8 8

Название	Значение
Ширина подошвы фундамента B, м	1.161
Длина подошвы фундамента L, м	1.178
Высота фундамента H, м	0.5557
Количество ступеней, шт.	2
Осадка фундамента, м	0.008579

Рис. 7.2.12. Результаты расчета фундамента

Для формирования файла отчета служит команда меню **Файл / Печать**. В появившемся диалоговом окне во вкладке **Данные** необходимо отметить ☒ **Свойства грунтов**, ☒ **Информация о столбчатых фундаментах** и нажать кнопку **RTF** для сохранения результатов в текстовый файл.

Анализируя полученные результаты расчета геометрических параметров фундамента, видим, что осадка фундамента составляет около 0,01 м. Это меньше предельной деформации основания, величина которой равна 0,1 м (см. табл. Е.1 СП-50-101-2004).

С целью унификации примем размеры фундамента всех фундаментов по максимальным, полученным для промежуточной колонны. Размеры ступеней (м):

$$x_1 = 1.3 ; y_1 = 1.3 ; z_1 = 0.3 \quad x_2 = 0.9 ; y_2 = 0.9 ; z_2 = 0.3$$

Далее следует выполнить проверку и, при необходимости, подбор армирования конструктивных элементов.

## 5.2. Определение расчетных сочетаний усилий

Выбираем пункт меню **Расчет/Расчетные комбинации нагружений....** В появившемся диалоговом окне **Таблица нагружений для вычисления РСУ** (рис. 7.4.13) для вычисления расчетных сочетаний усилий необходимо нажать кнопку **Расчет**. После выполнения расчета окно автоматически закроется.

Таблица нагружений для вычисления РСУ

Параметры нагружения

Загружение: Постоянные  
Тип нагружения: Постоянное  
Доля длительности: 1  
Добавочный коэффициент: 1

☐ Учитывать знакопеременность

☐ Расчет особых сочетаний нагрузок по п.2.1 СНиП II-7-81\*(сейсмика)

Загружение	Тип нагружения	Доля длительности	Добавочный коэффициент
Постоянные	Постоянное	1.00	1.10
Кратковременные	Кратковременные	0.35	1.20
Ветровые	Ветровое	0.00	1.40

Изменить  
Удалить  
Группы >>>


OK Расчет Отмена Справка


Рис. 7.4.13. Диалоговое окно Таблица нагружений для вычисления РСУ



## 5.3. Проверка армирования конструктивных элементов

Для выполнения проверки армирования всех конструктивных элементов следует воспользоваться командой меню **Расчет / Проверка армирования констр. элементов**. Затем открываем окно конструктивных элементов (команда меню **Проектирование/ Конструктивные элементы**). В верхней левой части диалогового окна **Результаты армирования** расположен список кон-



структивных элементов. Нажмите кнопку  **Показать элементы с не пройденным расчетом.** По сравнению с расчетом на жестких опорах, для отдельных конструктивных элементов не выполняется условие прочности по первой или второй группе предельных состояний. Увеличим армирование и повторим проверочный расчет конструктивных элементов. Унифицируем армирование для всех колонн и ригелей.

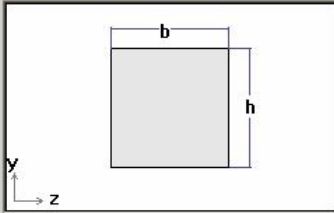
Для того чтобы скрыть из списка конструктивных элементов ригели (нажмите ) – в списке останутся только колонны. Для выделения всех колонн необходимо в списке конструктивных элементов, во-первых, щелкнуть левой кнопкой мыши на верхнем конструктивном элементе списка, а затем, удерживая клавишу **Shift** нажатой – на нижнем. Задайте во вкладке **Арматура** расстояние до центра арматуры 50 мм, а армирование согласно рис. 7.4.14 и выполните расчет.

Затем наоборот, надо показать только ригели (нажать ) , а колонны скрыть (нажать ). Затем выделите все ригели, удерживая нажатой клавишу **Shift**. Задайте согласно рис. 7.4.15 и выполните расчет.

**Результаты армирования (СП 52-101-2003) - К. элемент 2**

Тип расчета: Проверочный

Имя элемента	Тип элемента
К. элемент 1	ЖБ колонна
<b>К. элемент 2</b>	<b>ЖБ колонна</b>
К. элемент 4	ЖБ колонна
К. элемент 6	ЖБ колонна
К. элемент 8	ЖБ колонна
К. элемент 10	ЖБ колонна

Общие  
 Тип элемента: ЖБ колонна  
 Кол-во элементов: 3  
 Длина стержня, мм: 3000.00  
 Размеры сечения:   
 Размеры сечения: b = 400.000000, мм h = 400.000000, мм

Данные  
 Общие | Бетон | Арматура | Расположение арматуры | Нагрузки | Трещиностойкость  
☐ Угловая арматура ☒ Боковая арматура

Арматура	Диаметр, мм	Кол-во
Верхняя арматура	28	3
Нижняя арматура	28	3
Боковая арматура	28	1
Коэффициент армирования, %		3.0788

Поперечная арматура  
 Интенсивность в плоскости XZ, мм<sup>2</sup>/мм: 1.0053096  
 Интенсивность в плоскости XY, мм<sup>2</sup>/мм: 1.0053096

Калькулятор площади  
 Подбор поперечного армирования

Результаты  
 Коэф. использования | Трещиностойкость

Коэффициент использования	Значение
Продольной арматуры по направлению Y	0.8503654
По моменту появления непродолжительных трещин по направлению Y	0.1266657
По моменту появления продолжительных трещин по направлению Y	0.2025031
Продольного армирования при косом изгибе	0.7097812
По бетонной полосе между наклонными сечениями по направлению Z (п.6.2.33)	0.2848026
По наклонным сечениям на действие поперечных сил по направлению Z (п.6.2.34)	0.8455158
По наклонным сечениям на действие моментов по направлению Z (п.6.2.35)	0.9041243

Силовые факторы для указанного коэффициента: Все силовые факторы >0.01

Применить для всех видов расчета | Применить | Расчет | OK | Отмена | Справка | Чертеж...

Рис. 7.4.14. Диалоговое окно **Результаты армирования** колонн



**Результаты армирования (СП 52-101-2003) - К. элемент 3**

Тип расчета: Проверочный

Имя элемента	Тип элемента
К. элемент 3	ЖБ ригель
К. элемент 5	ЖБ ригель
К. элемент 7	ЖБ ригель
К. элемент 9	ЖБ ригель

Общие

Тип элемента: ЖБ ригель  
Кол-во элементов: 3  
Длина стержня, мм: 6000.00

Размеры сечения:  $b = 400$ , мм  $h = 500$ , мм

Данные

Общие Бетон Арматура Расположение арматуры Нагрузки Трещиностойкость

☐ Угловая арматура ☒ Боковая арматура

Арматура	Диаметр, мм	Кол-во
Верхняя арматура	28	4
Нижняя арматура	28	4
Боковая арматура	25	1
Коэффициент армирования, %		2.95443

Поперечная арматура  
Интенсивность в плоскости XZ, мм<sup>2</sup>/мм: 0.7853982  
Интенсивность в плоскости XY, мм<sup>2</sup>/мм: 1.5707963

Калькулятор площади  
Подбор поперечного армирования

Результаты

Кэф. использования Трещиностойкость

Кoeffициент использования	Значение
Продольной арматуры по направлению Z	0.6499194
По моменту появления непродолжительных трещин по направлению Z	0.295315
По моменту появления продолжительных трещин по направлению Z	0.4295901
По бетонной полосе между наклонными сечениями по направлению Y (п.6.2.33)	0.3415386
По наклонным сечениям на действие поперечных сил по направлению Y (п.6.2.34)	0.8792571
По наклонным сечениям на действие моментов по направлению Y (п.6.2.35)	0.5675677

Силовые факторы для указанного коэффициента Все силовые факторы >0.01

Применить для всех видов расчета Применить Расчет ОК Отмена Справка Чертеж...

Рис. 7.4.15. Диалоговое окно **Результаты армирования** ригелей

Особенностью модуля APM Structure3D является предоставляемая им возможность выполнения прочностного расчета железобетонных колонн и ригелей с учетом упругого основания фундамента. Данный пример наглядно показал, что пересчет с учетом упругого основания перераспределяет усилия в конструкции и требует увеличения армирования.