

7.3. Расчет рамы, установленной на ленточном фундаменте

Задание

Выполнить расчет и подбор армирования ленточного фундамента железобетонной рамы.

Исходные данные:

- Построенная модель рамы – см. главу 7.1.
- Сечение фундамента: тавр (рис. 7.3.1).
- Материал: Бетон В20.
- Распределенная нагрузка на фундамент от стены: 20 кН/м.
- Геологический профиль строительной площадки приведен на рис. 7.3.2.
- Параметры грунта перечислены в таблице 7.3.1.
- Глубина заложения фундамента: 1,5 м.
- Класс арматуры: А400 (А-III).

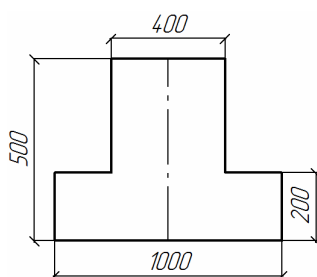


Рис. 7.3.1. Сечение фундамента

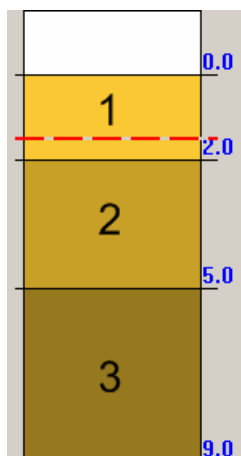


Рис. 7.3.2. Геологический профиль строительной площадки

Таблица 7.3.1. 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. Внесение таврового профиля в рабочий список сечений
2. Построение фундамента
3. Создание конструктивных элементов

4. *Дополнительное разбиение стержней*
5. *Задание закреплений по длине фундамента*
6. *Моделирование действия распределенной нагрузки*
7. *Создание комбинации загрузок*
8. *Статический расчет*
9. *Общие принципы расчета фундаментов*
10. *Задание упругого основания ленточного фундамента*
11. *Проверка по предельным деформациям оснований*
12. *Пересчет упругого основания ленточного фундамента*
13. *Определение расчетных сочетаний усилий*
14. *Задание параметров и подбор армирования ленточных фундаментов*
15. *Просмотр результатов расчета*

1. Внесение таврового профиля в рабочий список сечений

Обратимся к модели плоской рамы, рассмотренной в главе 7.1. Если рама устанавливается на ленточный фундамент, ее модель необходимо дополнить железобетонными балками фундамента таврового сечения.

Командой  **Сечение** панели инструментов **Свойства** (меню **Свойства/Сечение**) вызываем диалоговое окно работы со списком сечений и выбора текущего сечения. Для того чтобы добавить сечение непосредственно из базы параметрических сечений, минуя библиотеки, нажимаем кнопку **Загрузить из базы** этого диалога. В левой части открывшегося диалогового окна **APM Database** (рис. 7.3.3) находятся вкладки баз данных. Во вкладке **APM Section Data** выберите параметрическую модель **Бетонные сечения – Тавр с нижней полкой**. Проконтролировать выбор сечения можно по изображению модели в правой части окна. Подтвердите выбор нажатием кнопки **ОК**. В появившемся диалоговом окне **Переменные** введите параметры таврового сечения в соответствии с рис. 7.3.4.

 **Замечание:**

*В случае отсутствия вкладки **APM Section Data** щелкните правой кнопкой мыши на дереве и выберите пункт контекстного меню **Менеджер баз данных**. Включите опцию **Открыть** в строке **APM Section Data**.*

*Если данная база данных в списке отсутствует, ее необходимо загрузить. По умолчанию базы данных устанавливаются в папку **C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\APM Civil Engineering\DataBase\...***

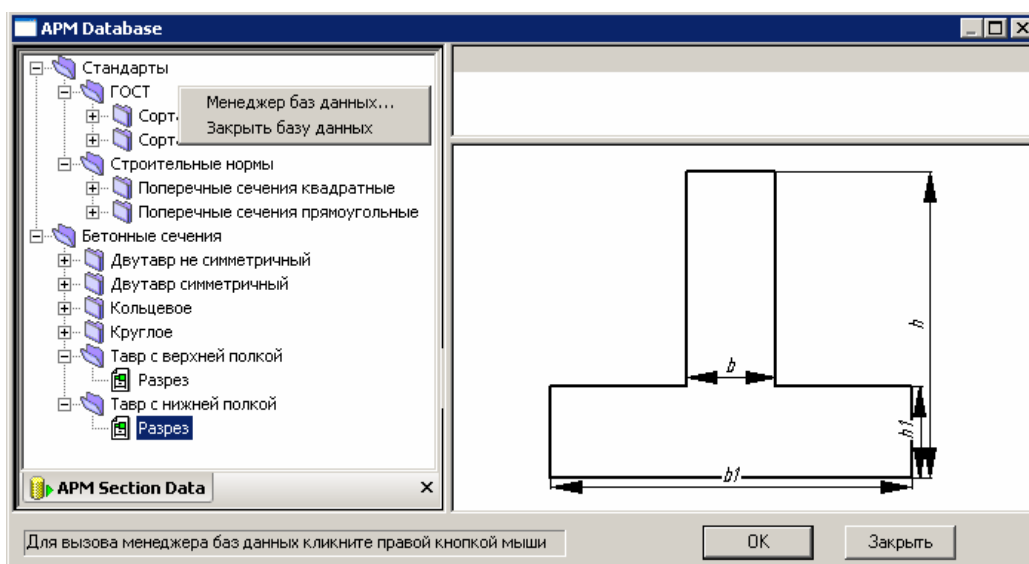


Рис. 7.3.3. База данных параметрических сечений

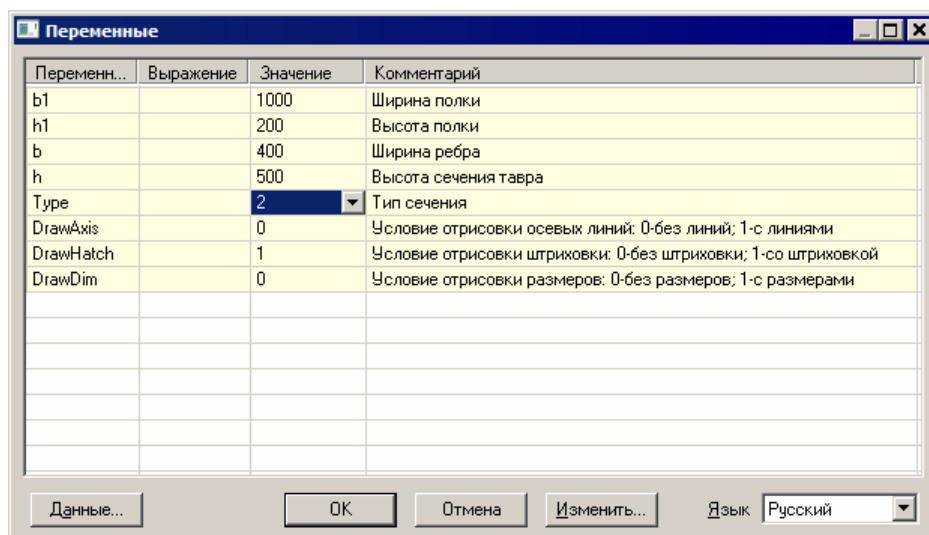


Рис. 7.3.4. Диалоговое окно **Переменные** для записи параметров поперечного сечения

После ввода всех переменных и нажатия кнопки **OK** программа выполнит расчет геометрических характеристик сечения, а тавровое сечение будет добавлено в рабочий список документа. Выбираем внесенное в список сечение и нажимаем кнопку **OK**.

2. Построение фундамента

Всем вновь создаваемым стержням присваиваются параметры текущего поперечного сечения и материала. В соответствии с условием рассматриваемой задачи, из выпадающих списков материалов и сечений панели инструментов **Текущие параметры** выбираем **Бетон тяжелый В20** и **Тавр 1000x800x499x299** соответственно.

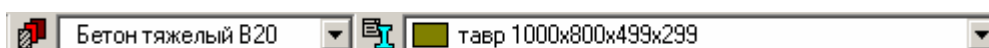



Рис. 7.3.5. Фрагмент панели инструментов **Текущие параметры**

Активируем команду  **Новый стержень** панели инструментов **Нарисовать** (меню **Рисование/Стержни/Новый стержень**). Для построения стержня вначале щелкаем левой кнопкой мыши в области чувствительности привязки к узлу 0, а затем, смещая курсор, щелкаем в области узла 3 (рис. 7.3.6). Между этими узлами появится новый стержень. Аналогично строим стержень между узлами 3-6.

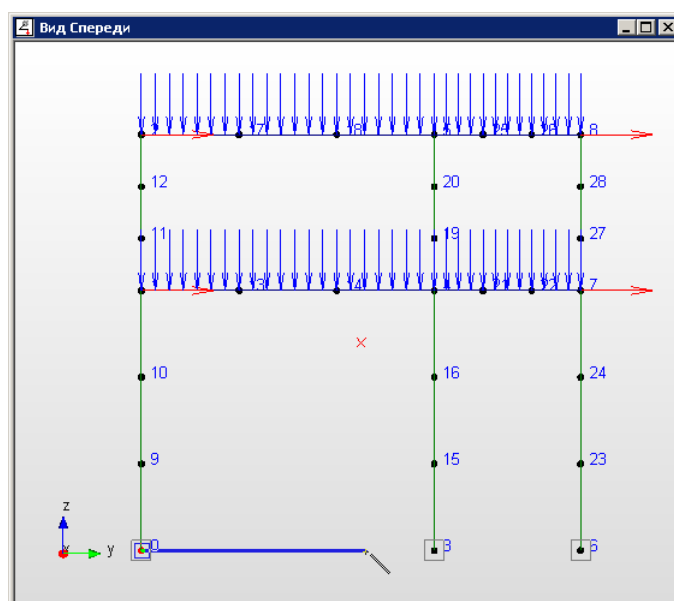






Рис. 7.3.6. Отрисовка стержней фундамента

3. Создание конструктивных элементов




Выделяем элементы фундамента, используя команду  **Выбрать группу**. Затем нажимаем кнопку  **Выделенные объекты в отдельные конструктивные элементы** панели инструментов **Конструктивные элементы** (меню **Проектирование/Выделенные объекты в отдельные конструктивные элементы**). При этом два ригеля фундамента добавляются к общему списку конструктивных элементов.

4. Дополнительное разбиение стержней

Выделяем все элементы фундамента ОХВАТЫВАЮЩЕЙ рамкой (команда  **Выбрать группу**), нажимаем кнопку  **Разбить стержень** (меню **Рисование/Стержни/Разбить стержень**) и выбираем любой из выделенных стержней – при этом разбиению подвергнутся все выделенные стержни. Количество элементов разбиения может быть произвольным, но, как правило, не более 3-4. В рассматриваемом случае разбиваем каждый стержень на три элемента, поэтому в соответствующем поле ввода появившегося диалогового окна **Разбить стержень** записываем число 3.

5. Задание закреплений по длине фундамента

Задание закреплений по длине фундамента необходимо осуществлять только ПОСЛЕ создания конструктивных элементов – фундаментов. Иначе система не позволит создать конструктивные элементы с опорами «в пролете».

Вначале необходимо выделить все узлы фундамента. Сделать это удобно с помощью команды  **Выбрать группу** (меню **Редактирование/Выбрать группу элементов**) ОХВАТЫВАЮЩЕЙ слева направо рамкой. Затем нажимаем на панели инструментов **Нарисовать** кнопку  **Опора** (меню **Рисование/Опора**) и щелкаем левой кнопкой мыши на любом из выделенных узлов. В появившемся диалоговом окне **Установка опоры** (рис. 7.3.7) задаем тип **Жесткая опора**, нажав соответствующую кнопку .

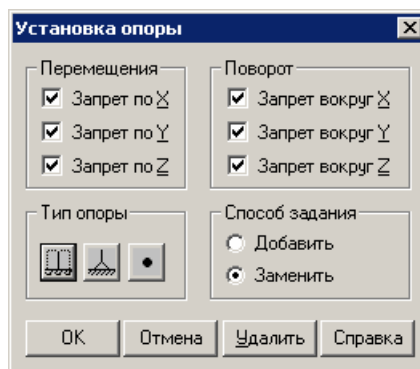




Рис. 7.3.7. Диалоговое окно **Установка опоры**

6. Моделирование действия распределенной нагрузки

Выделяем все элементы фундамента с помощью команды  **Выбрать группу** (меню **Редактирование/Выбрать группу элементов**) ОХВАТЫВАЮЩЕЙ рамкой и активируем команду  **Глобальная нагрузка на стержень** панели инструментов **Нагрузки** (меню **Нагрузки/Глобальная нагрузка на стержень**). В появившемся диалоговом окне **Глобальная нагрузка на стержень** выбираем из выпадающего списка загрузжений **Постоянные**, в поле ввода **Значение силы, Н/м** вводим значение действующей нагрузки $20 \text{ кН/м} = 20000 \text{ Н/м}$ и задаем ее направление в глобальной системе координат, записывая в поле ввода **Z**: число -1.

7. Создание комбинации загрузжений

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

Команда **Комбинация загрузжений...** меню **Нагрузки** вызывает появление одноименного диалогового окна (рис. 7.3.8). Чтобы добавить загрузжение в комбинацию, нужно вначале выбрать его из соответствующего выпадающего списка, затем ввести в качестве множителя коэффициент

надежности по нагрузке и нажать кнопку **Добавить**. Комбинация загрузжений представляет собой линейное сочетание выбранных загрузжений.

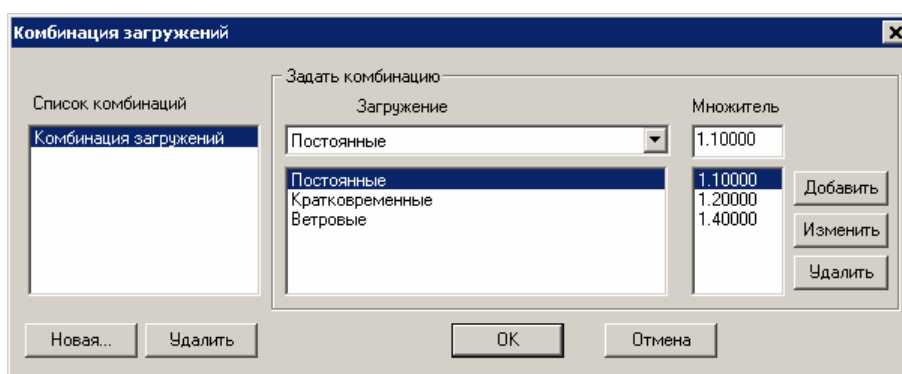


Рис. 7.3.8. Диалоговое окно **Комбинация загрузжений**

8. Статический расчет

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


9. Общие принципы расчета фундаментов


При расчете ленточного фундамента следует руководствоваться теми же принципами, которые сформулированы для одиночных фундаментов (см. гл. 7.2).

10. Задание упругого основания ленточного фундамента

✍ Замечание:

Если структура грунта одинакова на всей площадке строительства, то необходимо задать единое упругое основание для всех ленточных фундаментов.

С помощью команды  **Выбрать группу** выделяем ВСЕ железобетонные ригели фундамента ОХВАТЫВАЮЩЕЙ слева направо рамкой.

Нажатие кнопки  **Упругое основание под ленточный фундамент** панели инструментов **Упругие основания** (меню **Рисование/Опора/Упругое основание**) вызывает появление диалогового окна **Фундамент**. Задание параметров фундамента и грунта осуществляется во вкладках (рис. 7.3.9) для выбранного основания.

Во вкладке **Конфигурация** изображение фундамента соответствует виду сверху. Цвет фундамента соответствует цвету сечения. Это позволяет проконтролировать, чтобы одно основание было создано из элементов единого сечения. Форма фундамента определяется сечением и расположением конструктивных элементов. Задание параметров подвала – глубины и толщины пола [м], расчетного удельного веса пола [кН/м^3] для вычисления расчетного сопротивления грунта основания (п. 5.5.8 СП 50-101-2004).

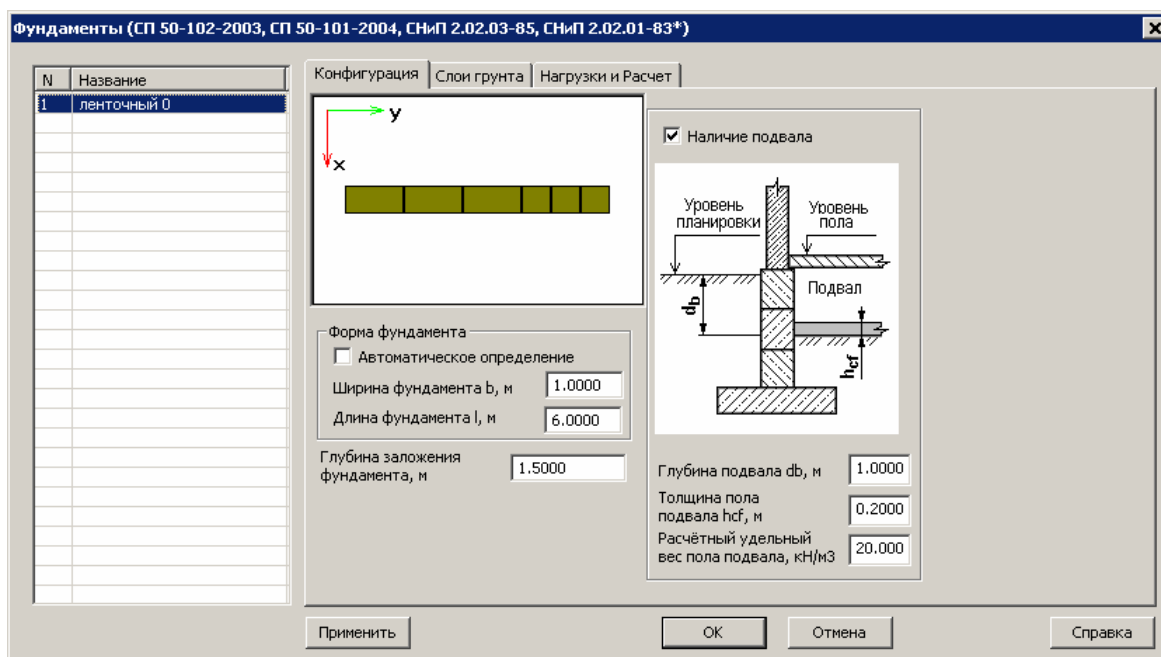


Рис. 7.3.9. Диалоговое окно **Фундамент**, вкладка **Конфигурация**

После задания всех параметров следует нажать кнопку **Применить** и перейти к вкладке **Слой грунта** (рис. 7.3.10). Для задания грунта необходимо выбрать в выпадающем меню **Тип**. В выпадающем списке содержатся предопределенные типы грунта, характеристики которых доступны в последующем для редактирования. Выберите **песок пылеватый**, **песок средней крупности**, **глина IL=0.2** и отредактируете при необходимости характеристики согласно таблице 7.3.1.

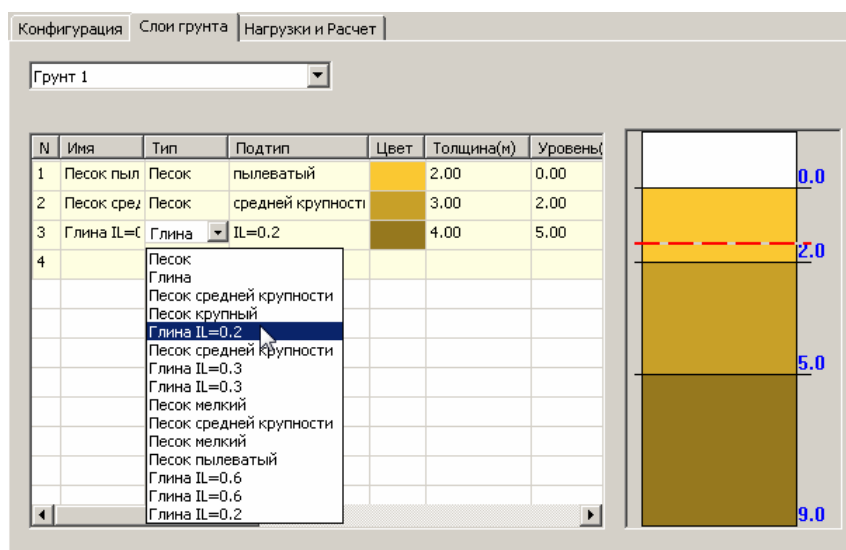


Рис. 7.3.10. Диалоговое окно **Слой грунта**

После ввода слоев грунта нажимаем кнопку **Применить** и переходим на вкладку **Нагрузки и расчет** (рис. 7.3.11). Нагрузка на фундамент задается из результатов статического расчета от комбинации загрузок. При этом нагрузка на каждый конечный элемент определяется в зависимости от реакций в опорах.

Конфигурация | Слои грунта | **Нагрузки и Расчет**

☒ Нагрузка на фундамент из результатов расчёта
 Комбинация загрузжений

☐ Ручное задание нагрузки
 Сила Fz, кН: 204,1523

✓ Коэффициенты условий работы...
 Таблица 5.2 СП 50-101-2004

Коэффициент K1, Н/м³: 2914448.79
 Коэффициент K2, Н/м: 3454771.01

Вычислить

Название	Значение
Коэффициент постели K1, Н/мм ³	
Минимальный	2.614e+006
Максимальный	3.196e+006
Осадка фундамента, м	
Минимальная	0.003761
Максимальная	0.01382
Максимальная разница осадок, м	0.01006
Толщина продавливания грунта, м	
Минимальная	2.84

Рис. 7.3.11. Вкладка **Нагрузки и расчет**

Для выбора коэффициента условий работы нажмите соответствующую кнопку. В появившемся диалоговом окне (рис. 7.3.12) выберете тип грунта и конструктивную схему. Назначение коэффициента условий работы осуществляется автоматически согласно таблице 5.2 СП 50-101-2004.

Таблица 5.2 СП 50-101-2004

Грунты:

- ☐ Крупнообломочные с песчаным заполнителем и пески, кроме мелких и пылеватых
- ☐ Пески мелкие

Пески пылеватые:

- ☐ маловлажные и влажные
- ☐ насыщенные водой

Глинистые, а также крупнообломочные с глинистым заполнителем с показателем текучести грунта или заполнителя:

- ☒ $IL \leq 0,25$
- ☐ $0,25 < IL \leq 0,5$
- ☐ $IL > 0,5$

Сооружение с жёсткой конструктивной схемой

☒ Сооружение с жёсткой конструктивной схемой

Отношение длины сооружения или его отсека к высоте L/H

- ☒ 4 и более
- ☐ 1.5 и менее

OK Отмена

Рис. 7.3.12. Выбор коэффициентов условий работы.

После задания всех параметров следует нажать кнопку **Применить**. Нажатие кнопки **Вычислить** инициирует расчет толщины продавливания грунта с учетом нагрузки на основание, коэффициентов постели, осадку и крен.

11. Проверка по предельным деформациям оснований

Анализ полученных результатов показывает, что максимальная осадка фундамента составляет 0,0146 м, что меньше предельной максимальной деформации основания, величина которой равна 0,1 м (см. табл. Е.1 СП-50-101-2004).

Относительная разность осадок: $\frac{\Delta s}{L} = \frac{0,01072}{10} = 0,001$, что меньше предельной относительной разности осадок согласно таблице Е.1 СП-50-101-2004 равна 0,002.

12. Пересчет упругого основания ленточного фундамента

Ленточный фундамент рассматривается как балка на упругом основании, для подбора/проверки армирования которой 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**.

13. Определение расчетных сочетаний усилий

Выбираем пункт меню **Расчет/Расчетные комбинации нагрузок...** В появившемся диалоговом окне **Таблица нагрузок для вычисления РСУ** (рис. 7.3.13) для вычисления расчетных сочетаний усилий необходимо нажать кнопку **Расчет**. После выполнения расчета окно автоматически закроется.

Таблица нагрузок для вычисления РСУ

Параметры загрузки

Загрузка: Постоянные Тип загрузки: Постоянное Доля длительности: 1 Добавочный коэффициент: 1

☐ Учитывать знакопеременность

☐ Расчет особых сочетаний нагрузок по п.2.1 СНиП II-781*(сейсмика)

Загрузка	Тип загрузки	Доля длительности	Добавочный коэф.
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. 7.3.13. Диалоговое окно **Таблица нагрузок для вычисления РСУ**

14. Задание параметров и подбор армирования ленточных фундаментов

Активируем команду **Конструктивные элементы** одноименной панели инструментов (меню **Проектирование/Конструктивные элементы**). В верхней левой части диалогового окна **Результаты армирования** (рис. 7.3.14) расположен список конструктивных элементов. Элементам ленточного фундамента соответствуют два последних элемента списка, поскольку эти ригели добавлены в конструктивные элементы последними. С помощью мыши выделите в списке конструктивных элементов два нижних ригеля, удерживая нажатой клавишу **Ctrl** на клавиатуре. Выделенные в списке конструктивные элементы отмечены на модели красным цветом.

Выберем тип расчета **Проверочный** и введем параметры группы вкладок **Данные**:

Общие данные

Статическая определимость: Нет

Коеф. длины в плоскости YZ: 0,8

Расчет на трещиностойкость: Есть

Коеф. длины в плоскости XZ: 0,8 (п. 6.2.18 СП 52-101-2003)

Бетон

Класс бетона: В20.

Коеф. продолжительности нагрузки: 0,9

(γ_{b1} , п. 5.1.10 СП 52-101-2003)

Коеффициент влияния условий бетонирования: 1

($\gamma_{b2} \cdot \gamma_{b3} \cdot \gamma_{b4}$, п. 5.1.10 СП 52-101-2003)

Влажность воздуха окружающей среды: выше 75

Арматура

Класс арматуры: Продольной: А400(А-III), Поперечной: А240(А-I)

Коеф. условий работы: Продольной: 1, Поперечной: 1 (γ_s , п. 5.2.7 СП 52-101-2003)

Учет конструктивных ограничений: Да

Расстояние до центра арматуры, мм:

Верхний: 55, Нижний: 55, Боковой: 55 (минимальный защитный слой п. 8.3.2 СП 52-101-2003)

Нагрузки

Источник нагрузок для расчета: РСУ

Трещиностойкость

Категория трещиностойкости: Ограниченная ширина

Ограничение трещиностойкости: Из условия проницаемости (п. 7.2.3 СП 52-101-2003)

Непродолжительное раскрытие, мм: 0.4 Продолжительное раскрытие, мм: 0.3

Если после задания параметров армирования нажать кнопку **Применить для всех видов расчета** диалогового окна **Результаты армирования**, то введенные исходные данные будут использованы как для проекровочного, так и для проверочного расчетов.

Подбор схемы армирования удобно осуществить в режиме проверочного расчета, который позволяет выполнить проверку заданного варианта армирования по первой и второй группам предельных состояний и некоторым другим критериям (см. рис. 7.3.14). Назначаемое армирование задается во вкладке **Расположение арматуры**.

Результаты армирования (СП 52-101-2003) - К элемент 16

Тип расчета: Проверочный

Имя элемента: К. элемент 3, К. элемент 5, К. элемент 7, К. элемент 9, К. элемент 15, К. элемент 16, К. элемент 1, К. элемент 2, К. элемент 4, К. элемент 6, К. элемент 8, К. элемент 10

Тип элемента: ЖБ ригель, ЖБ ригель, ЖБ ригель, ЖБ ригель, ЖБ ригель, ЖБ ригель, ЖБ колонна, ЖБ колонна, ЖБ колонна, ЖБ колонна, ЖБ колонна, ЖБ колонна

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

Размеры сечения: b = 400, мм, h = 500, мм, b1 = 1e+003, мм, h1 = 200, мм

Данные: Арматура, Диаметр, мм, Кол-во, Коэффициент армирования, %

Арматура	Диаметр, мм	Кол-во
Верхняя арматура	28	4
Нижняя арматура	22	6
Коэффициент армирования, %		1.48186

Интенсивность в плоскости XZ, мм²/мм: 0.0000000

Интенсивность в плоскости XY, мм²/мм: 1.5707963

Результаты: Коэф. использования, Трещиностойкость

Коэффициент использования	Значение
Продольной арматуры по направлению Z	0.9105813
По моменту появления непродолжительных трещин по направлению Z	0.3411681
По моменту появления продолжительных трещин по направлению Z	0.5179527
По бетонной полосе между наклонными сечениями по направлению Y (п.6.2.33)	0.3808708
По наклонным сечениям на действие поперечных сил по направлению Y (п.6.2.34)	0.9055753
По наклонным сечениям на действие моментов по направлению Y (п.6.2.35)	0.8198614

Силловые факторы для указанного коэффициента: Все силловые факторы >0.01

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

Рис. 7.3.14. Диалоговое окно **Результаты армирования** – проверочный расчет

Для конструктивного подбора поперечной арматуры нажимаем кнопку **Подбор поперечного армирования**. Из выпадающих списков появившегося диалогового окна **Поперечное армирование** (рис. 7.3.15) выбираем диаметр и шаг поперечной арматуры. Интенсивность определяется автоматически исходя из расположения в сечении двух стержней поперечной арматуры по каждому направлению (согласно вкладке **Легенда**, см. рис. 7.3.14). Подберем диаметр и шаг поперечной арматуры исходя из расположения в сечении четырех стержней, для меньшей в два раза интенсивности – d10s200.

Поперечное армирование

Армирование в плоскости XZ: D 0 мм, S 0 мм, Интенсивность, мм²/мм: 0.0000000, N, шт: 0

Армирование в плоскости XY: D 10 мм, S 100 мм, Интенсивность, мм²/мм: 1.5707963, N, шт: 120

OK, Отмена

Рис. 7.3.15. Подбор поперечного армирования


15. Просмотр результатов расчета

Если количество конструктивных элементов невелико, то просмотреть все результаты расчета можно, последовательно выбирая мышью конструктивные элементы из списка диалогового окна **Результаты армирования** (см. рис. 7.3.14). В группе **Результаты** представлены коэффициенты использования арматуры, каждый из которых должен быть меньше единицы, и ширина непродолжительного раскрытия трещин, величина которой должна быть меньше предельной (см. также п. 12, гл. 7.1).


При значительном количестве конструктивных элементов удобно воспользоваться картой армирования, чтобы посмотреть соответствие конструктивных элементов требованиям расчета по первой и второй группам предельных состояний. Для вызова карты армирования служит команда меню **Результаты/Карта армирования**. После активации команды в появившемся диалоговом окне выберите **Статус подбора/проверки**, укажите тип расчета и нажмите кнопку **Ок**.

Статус армирования может принимать следующие значения:

- «1» – армирование подобрано, конструктивный элемент удовлетворяет требованиям расчета по первой и второй группам предельных состояний;
- «0» – армирование НЕ подбиралось или расчет еще не выполнен;
- «-1» – подобрать армирование НЕ удалось или конструктивный элемент с заданными пользовательскими параметрами армирования НЕ удовлетворяет требованиям расчета по первой или второй группам предельных состояний.

Карта армирования не показывает, по какому критерию не выполняется условие расчета. Для получения более полной информации карту необходимо закрыть, выделить на модели элемент, который имеет статус армирования «-1», и нажать кнопку  **Конструктивные элементы** одноименной панели инструментов (меню **Проектирование/Конструктивные элементы**). В группе **Результаты** диалогового окна появятся значения коэффициентов использования арматуры (как уже упоминалось выше, эти значения должны быть меньше единицы).

В зависимости от того критерия, по которому не обеспечиваются требования расчета, следует изменить параметры продольной или поперечной арматуры для всей группы конструктивных элементов и повторить расчет.

Для расширенного 3D-представления армирования служат команды панели инструментов **Результаты армирования**. Выберите тип расчета **Проверочный** и нажмите кнопку  **Объемное отображение армирования стержневых элементов** (рис. 7.3.16).

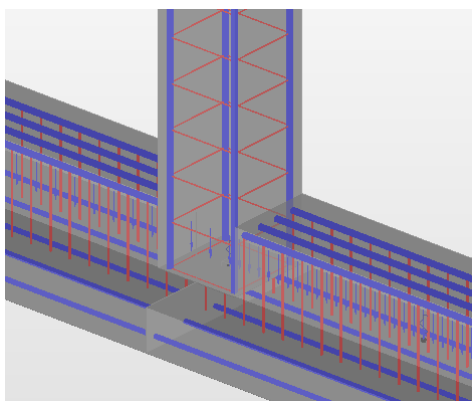


Рис. 7.3.16. Объемное отображение армирования фундамента

✎ **Замечание:**

Результаты расчета и подбора армирования железобетонных колонн и ригелей, выполненного при условии жесткой заделке, могут несколько отличаться от результатов расчета с учетом упругого основания фундамента. Полезно провести повторную проверку армирования для колонн и ригелей (команда меню **Расчет/Проверка армирования ж/б элементов**) с учетом упругого основания.