

## 7.4. Расчет рамы, установленной на свайном фундаменте

### Задание

Выполнить расчет свайных фундаментов под колонны на висячих буронабивных сваях.

Исходные данные:

- Построенная модель – см. главу 7.1.
- Геологический профиль строительной площадки приведен на рис. 7.4.1.
- Параметры грунта перечислены в таблице 7.4.1.

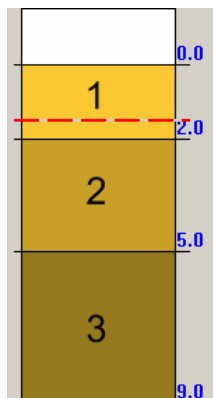


Рис. 7.4.1. Геологический профиль строительной площадки

Таблица 7.4.1 Параметры грунта

№	Имя	Тип	Подтип	Толщина (м)	Уровень (м)	Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	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 нагружений
3. Статический расчет
4. Задание одиночных свайных фундаментов
5. Статический расчет с учетом упругого основания
6. Перерасчет рамы с учетом упругого основания свайных фундаментов
  - 6.1. Статический расчет
  - 6.2. Определение расчетных сочетаний усилий
  - 6.3. Проверка армирования конструктивных элементов

#### 1. Принципы расчета фундаментов

Расчет свайных фундаментов предполагает, прежде всего, определение нагрузки на опоры. Дальнейший порядок расчет свайных фундаментов зависит от вида используемых свай. При моделировании свай-стоек используются жесткие опоры, поэтому их расчет осуществляется сразу после статического расчета.

Расчет висячих свай осуществляется в два этапа. Сначала для каждой опоры определяют коэффициенты упругости грунта по результатам статического расчета. Эти коэффициенты зависят от структуры и физических свойств грунта, а также нагрузок на основание. Величины реакций в

жестких опорах известны из результатов статического расчета модели, но они могут существенно отличаться от величин реакций упругих опор. Поэтому затем статический расчет повторяют с учетом упругого основания. Расчет висячих свай проводят на основании реакций в упругих опорах. В результате расчета определяются несущая способность свай по грунту и необходимое количество свай. Рассмотрим пример расчета висячей буронабивной свай.

## 2. Создание комбинации загружений

Для выполнения расчета свайных фундаментов необходимо знать нагрузку на опоры. 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. 7.4.2). 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.

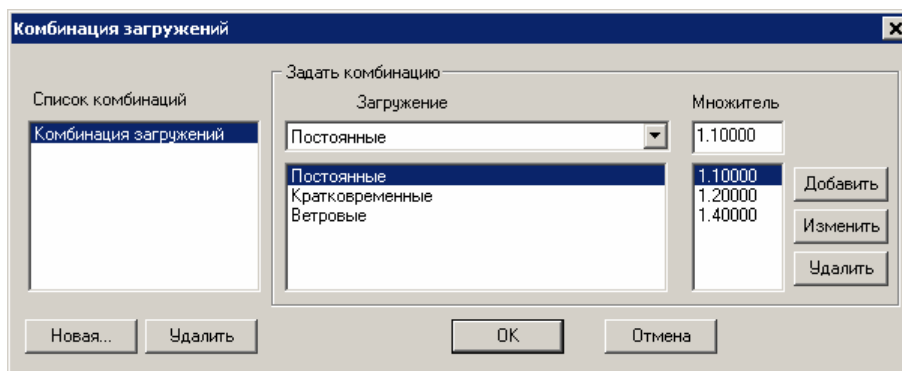



Рис. 7.4.2. Диалоговое окно **Комбинация загружений**

## 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 одиночных свайных фундаментов

Задание свайных фундаментов удобно выполнить одновременно для всех опор. При этом для каждой опоры будет создан отдельный свайный фундамент. Выделим ВСЕ железобетонных колонн с опорами. Сделать это удобно СЕКУЩЕЙ слева направо рамкой с помощью команды **Выбрать группу**.

Нажатие кнопки  **Упругое основание под одиночный свайный фундамент** панели инструментов **Упругие основания** (меню **Рисование/Опора/Упругое основание**) вызывает появление диалогового окна **Свайный фундамент** (рис. 7.4.3), в котором созданы свайные фундаменты для каждой выделенной опоры.

При первом обращении к этому диалогу необходимо для каждого одиночного свайного фундамента задать параметры: размеры и тип свай, параметры ростверка, слои грунта, нагрузки, данные для выбора коэффициентов надежности. Каждая группа параметров задается в отдельной вкладке диалогового окна.

Вкладка **Размеры свай** (рис. 7.4.3) предназначена для задания формы сечения, веса и основных геометрических размеров свай. При использовании стандартной свай ее размеры могут быть автоматически взяты из базы данных (рис. 7.4.4).

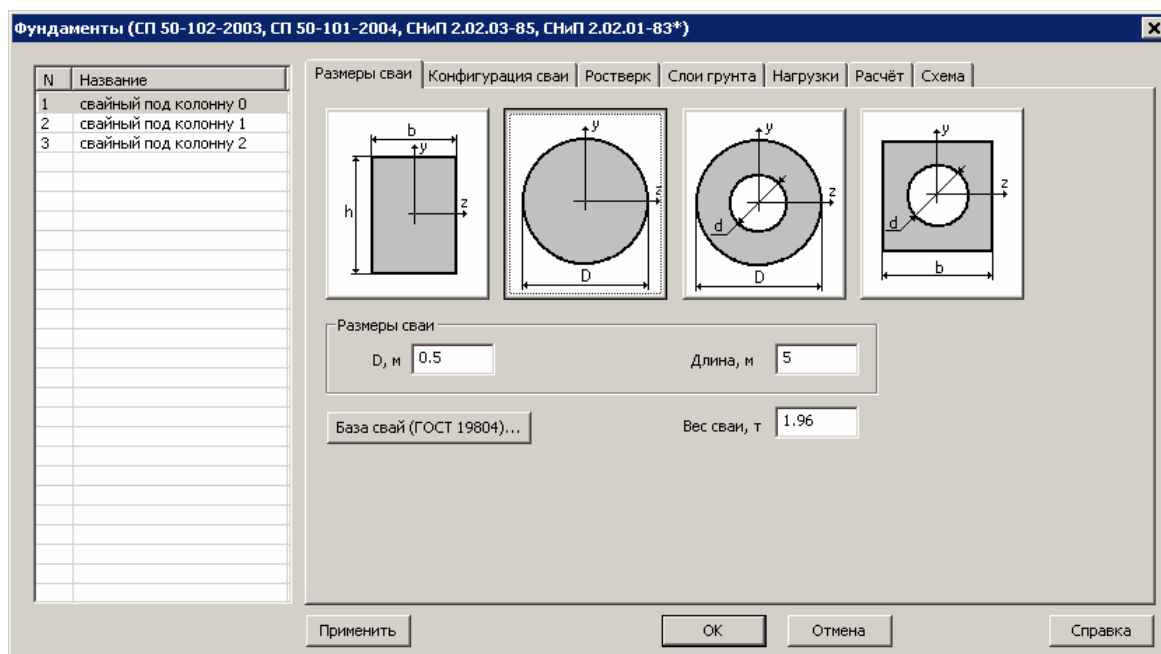


Рис. 7.4.3 Диалоговое окно **Свайные фундаменты**

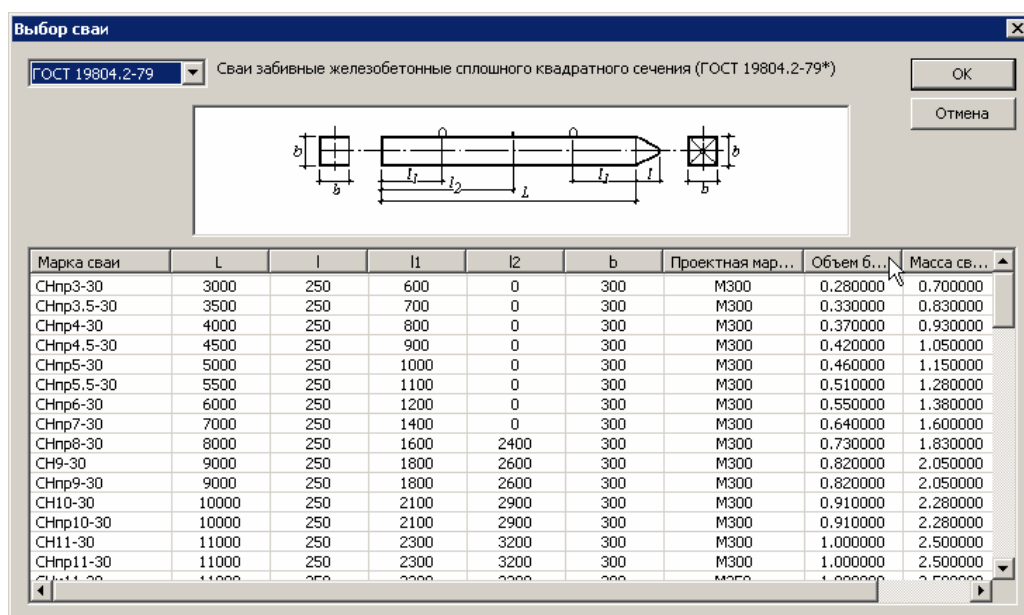




Рис. 7.4.4 База данных стандартных свай

Вкладка **Конфигурация свай** (рис. 7.4.5) предназначена для выбора типа свай из выпадающего списка.

Кнопка **Способ погружения** вызывает диалоговое окно (рис. 7.4.6) выбора способа погружения согласно таблице 7.5 СП 50-102-2003. Если способ погружения не задан, то рядом с кнопкой отображается вопросительный знак , а после задания – .

Размеры сваи | **Конфигурация сваи** | Ростверк | Слои грунта | Нагрузки | Расчёт

Конфигурация сваи

Висячая набивная и буровая

заделка в невыветрелый скальный грунт не менее чем на 0.5м

Нормативное значение предела прочности скального грунта, кПа

Расчётная глубина заделки набивной, буровой и сваи-оболочки в скальный грунт, м

Наружный диаметр заделанной в скальный грунт части набивной, буровой и сваи-оболочки, м

☒ Опирается на лессовый/глинистый со степенью влажности >0.9 грунт

☐ С уширением

Диаметр уширения, м

Способ погружения...  
Таблица 7.5 СП 50-102-2003

Рис. 7.4.5 Вкладка Конфигурация сваи

Таблица 7.5 (СП 50-102-2003)

Набивные

☒ При забивке инвентарной трубы с наконечником

☐ Виброштампованные

Буровые, в т.ч. с уширением, бетонизируемые

☐ при отсутствии воды в скважине (сухим способом) и при использовании обсадных труб

☐ под водой или под глинистым раствором

☐ жесткими бетонными смесями, укладываемыми с помощью глубинной вибрации (сухим способом)

☐ Буронабивные, полые круглые, устраиваемые при отсутствии воды в скважине с помощью вибросердечника

Сваи-оболочки, погружаемые вибрированием

☐ с выемкой грунта, с сохранением грунтового ядра не менее 0.5м

☐ с полным удалением грунтового ядра

☐ Сваи-столбы

☐ Буроналивные, изготавливаемые под защитой обсадных труб или бетонитового раствора с опрессовкой давлением 200-400 кПа (2-4 атм)

OK

Отмена

Рис. 7.4.6 Диалоговое окно выбора способа погружения сваи

Вкладка **Ростверк** (рис. 7.4.7) предназначена для задания типа ростверка, типа сопряжения колонны с ростверком и параметров подвала при его наличии.

Размеры сваи | Конфигурация сваи | **Ростверк** | Слои грунта | Нагрузки | Расчёт | Схема

Тип ростверка: Низкий

Глубина погружения опоры ростверка, м: 0.5000

Материал ростверка: B15

Высота стакана  $h$ , м: 0.4000

Ширина стакана  $a$ , м: 0.4000

Толщина стакана  $b$ , м: 0.4000

Высота подошвы ростверка  $H$ , м: 0.5000

Ограничение максимальных размеров ростверка  $B \times L$ , м: 20.000 x 20.000

Наличие подвала: ☐

Глубина подвала  $db$ , м: 1.0000

Толщина пола подвала  $hd$ , м: 0.2000

Расчётный удельный вес пола подвала, кН/м<sup>3</sup>: 20.000

Рис. 7.4.7 Вкладка Ростверк

Вкладка **Слои грунта** (рис. 7.4.8) 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  $IL = 0...1$ . 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 7.4.1.

N	Имя	Тип	Подтип	Цвет	Толщина(м)	Уровень(м)
1	Песок пыл	Песок	пылеватый	Yellow	2.00	0.00
2	Песок сред	Песок	средней крупности	Yellow	3.00	2.00
3	Глина IL=0.2	Глина	IL=0.2	Brown	4.00	5.00
4		Песок				
		Глина				
		Песок средней крупности				
		Песок крупный				
		Глина IL=0.2				
		Песок средней крупности				
		Глина IL=0.3				
		Глина IL=0.3				
		Песок мелкий				
		Песок средней крупности				
		Песок мелкий				
		Песок пылеватый				
		Глина IL=0.6				
		Глина IL=0.6				
		Глина IL=0.2				

Рис. 7.4.8 Вкладка Слои грунта

Во вкладке **Нагрузка** (рис. 7.4.9) выберете **Комбинацию загрузжений**. В расчете используются реакции в опорах – осевая (вертикальная) сила и моменты в перпендикулярных плоскостях.

Рис. 7.4.9 Вкладка Нагрузка

Нажмите кнопку **Применить** диалогового окна для принятия всех изменений, произведенных во вкладках. В случае некорректного задания параметров выводится информационное сообщение.

Во вкладке **Расчет** (рис. 7.4.10) выберете способ определения прочностных характеристик грунта и коэффициент надежности. При нажатии на кнопку **Рассчитать несущую способность свай** в диалоге выводится несущая способность свай по грунту на продавливание и на выдергивание.

Размеры свай | Конфигурация свай | Ростверк | Слои грунта | Нагрузки | **Расчёт** | Схема

Прочностные характеристики грунта определены: непосредственными испытаниями (1.0)

Коэффициент надёжности: Расчёт (1.4)

☐ Задать несущую способность свай вручную

Несущая способность свай по грунту, кН: 478.189671784536

Несущая способность свай по грунту на выдёргивание, кН: 260.815022101025

Расчитать несущую способность свай

Расчёт фундамента

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

Название	Значение
Количество свай, шт.	2
Ширина плиты ростверка, м	1
Длина плиты ростверка, м	2.5
Ширина условного фундамента, м	1.599
Длина условного фундамента, м	3.099
Высота условного фундамента, м	5.5
Несущая способность свай по грунту на вдавливание, кН	478.2
Несущая способность свай по грунту на выдёргивание, кН	260.8
Расчётное сопротивление грунта под условным фундаментом, кПа	130.7

Рис. 7.4.10 Вкладка Расчет

При нажатии на кнопку **Расчет фундамента** выводится диалоговое окно выбора типа грунта (рис. 7.4.11) если он не был задан ранее для определения коэффициента надёжности.

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. 7.4.11 Диалог выбора типа грунта

В результате расчета свайного фундамента под колонну определяются: количество свай в кусте (шт.), размеры плиты ростверка и условного фундамента (м), расчетное сопротивление грунта под условным фундаментом (кПа), толщина продавливания (м), осадка (м), крен, коэффициенты постели  $K_1$  (Н/м<sup>3</sup>) и  $K_2$  (Н/м). После выполнения расчета появляется вкладка **Схема** (рис. 7.4.12), на которой показано расположение свай в грунте.

Размеры свай | Конфигурация свай | Ростверк | Слои грунта | Нагрузки | Расчёт | **Схема**

Размер плиты ростверка по оси X, м: 1

Размер плиты ростверка по оси Y, м: 2.5

Координаты свай (2 штуки)

☒ Показывать номера свай

Рис. 7.4.12 Вкладка Схема

После задания всех параметров и расчета выбранного свайного фундамента жесткие закрепление в опоре заменяются на упругие. Задайте аналогичные параметры для двух других оснований свайных фундаментов и выполните их расчет.

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

## 5. Статический расчет с учетом упругого основания


В результате выполненного расчета были определены жесткости упругого основания грунта, а жесткие опоры были заменены на упругие. Далее необходимо выполнить статический расчет рамы с учетом упругого основания. Выбираем команду меню **Расчет/Расчет**. В появившемся диалоговом окне необходимо выбрать **Комбинация загружений**, отметить **Статический расчет** и нажать кнопку **ОК**.

## 6. Перерасчет рамы с учетом упругого основания свайных фундаментов

### 6.1. Статический расчет

Перераспределение усилий в расчетной схеме для упругих опор по сравнению с жесткими требует просторного расчета свайных 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**.

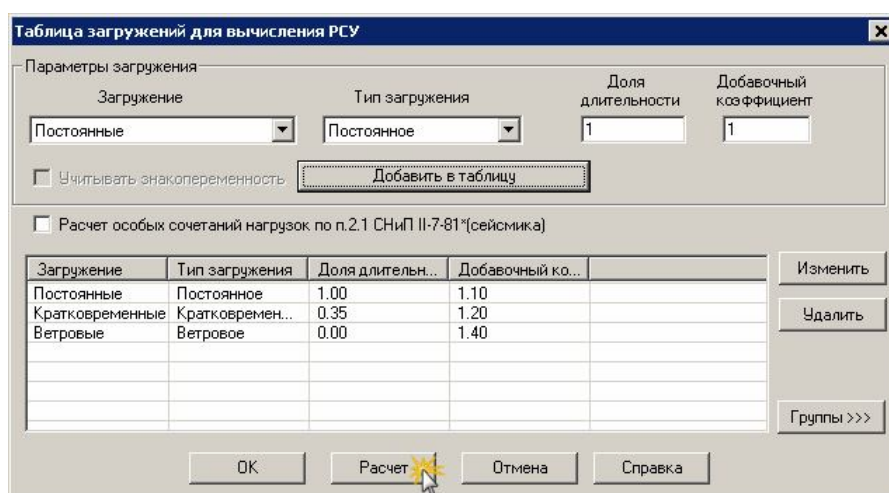
Выполним перерасчет свайного фундамента с учетом реакций в опорах упругого основания.

После нажатие кнопки  **Упругое основание под одиночный свайный фундамент** в диалоговом окне **Свайный фундамент** сразу переходим к вкладке **Расчет**, т.к. все параметры были заданы при предыдущем обращении к диалоговому окну.

Нажимаем кнопку **Рассчитать несущую способность сваи**, а затем **Расчет фундамента** для пересчета свайного фундамента. Такой перерасчет необходимо выполнить для всех одиночных свайных фундаментов. В данном примере с целью унификации целесообразно можно выполнить единое конструктивное исполнение свайных кустов по максимальному количеству колонн.

### 6.2. Определение расчетных сочетаний усилий

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



Загружение	Тип загрузки	Доля длительн...	Добавочный ко...
Постоянные	Постоянное	1.00	1.10
Кратковременные	Кратковремен...	0.35	1.20
Ветровые	Ветровое	0.00	1.40


Рис. 7.4.13. Диалоговое окно **Таблица загружений для вычисления РСУ**

### 6.3. Проверка армирования конструктивных элементов

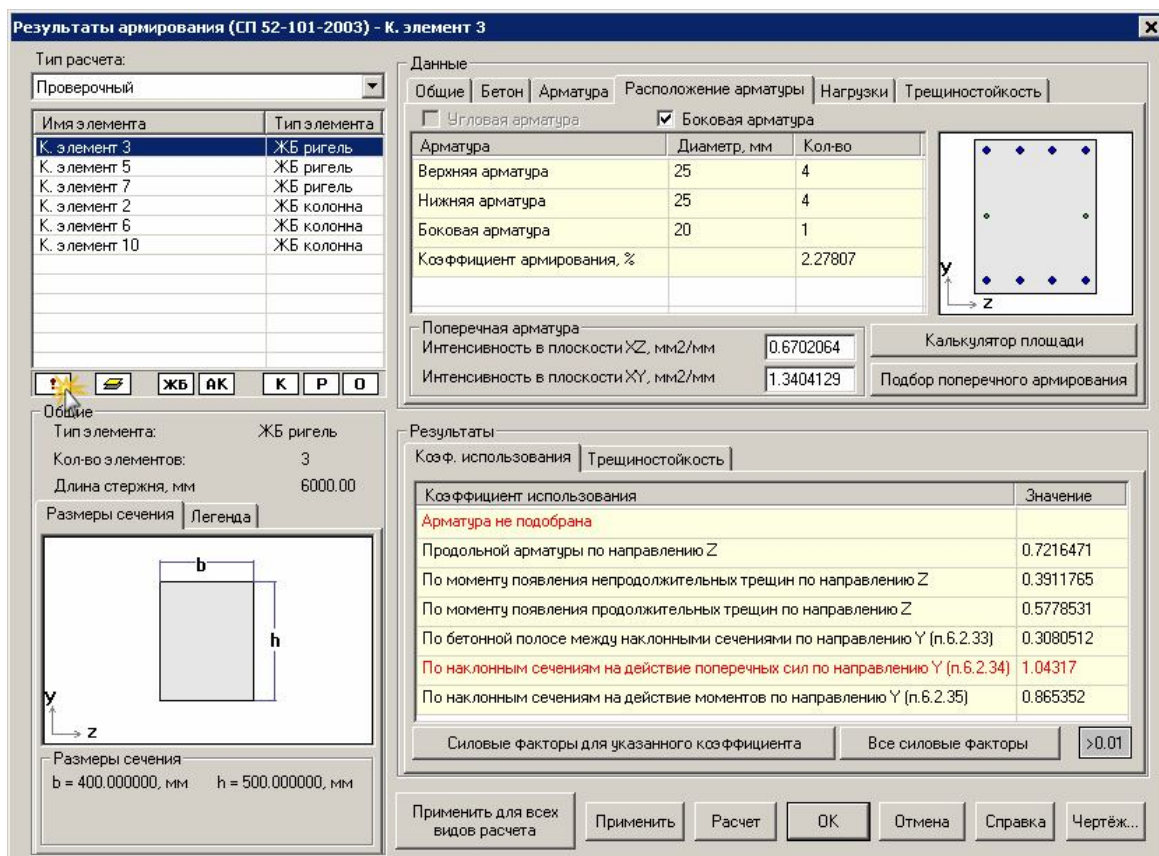
Для выполнения проверки армирования всех конструктивных элементов следует воспользоваться командой меню **Расчет / Проверка армирования констр. элементов**. Затем открываем



окно конструктивных элементов (команда меню **Проектирование/ Конструктивные элементы**).

В верхней левой части диалогового окна **Результаты армирования** (рис. 7.4.14) расположен список конструктивных 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.

В частности, **К. элемент 3** не проходит по двум критериям (таблица 7.4.2). Обеспечить выполнение требований по первой и второй группам предельных состояний для данного конструктивного элемента можно, например, увеличив диаметр боковой арматуры и поперечное армирование в плоскости ХУ (рис. 7.4.15). После редактирования армирования нажмите кнопку **Расчет** диалогового окна. Выполните редактирование и проверку армирования для оставшихся конструктивных элементов с не пройденным расчетом.



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

Тип расчета: Проверочный

Имя элемента: К. элемент 3, Тип элемента: ЖБ ригель

Кол-во элементов: 3, Длина стержня, мм: 6000.00

Размеры сечения: b = 400.000000, мм; h = 500.000000, мм

Данные: Общие | Бетон | Арматура | Расположение арматуры | Нагрузки | Трещиностойкость

☐ Угловая арматура, ☒ Боковая арматура

Арматура	Диаметр, мм	Кол-во
Верхняя арматура	25	4
Нижняя арматура	25	4
Боковая арматура	20	1
Коэффициент армирования, %	2.27807	

Поперечная арматура: Интенсивность в плоскости XZ, мм²/мм: 0.6702064; Интенсивность в плоскости XY, мм²/мм: 1.3404129

Калькулятор площади, Подбор поперечного армирования

Результаты: Коэф. использования | Трещиностойкость

Критерий	Значение
Коэффициент использования	
Арматура не подобрана	
Продольной арматуры по направлению Z	0.7216471
По моменту появления непродолжительных трещин по направлению Z	0.3911765
По моменту появления продолжительных трещин по направлению Z	0.5778531
По бетонной полосе между наклонными сечениями по направлению Y (п.6.2.33)	0.3080512
По наклонным сечениям на действие поперечных сил по направлению Y (п.6.2.34)	1.04317
По наклонным сечениям на действие моментов по направлению Y (п.6.2.35)	0.865352

Силловые факторы для указанного коэффициента: Все силловые факторы > 0.01

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

Рис. 7.4.14. Диалоговое окно **Результаты армирования** – проверочный расчет

Таблица 7.4.2 – Критерии проверки армирования

Наименование критерия проверки армирования	Способ обеспечения прочности
По наклонным сечениям на действие поперечных сил по направлению Y (п. 6.2.34)	Увеличение поперечного армирования в плоскости ХУ
По наклонным сечениям на действие моментов по направлению Y (п. 6.2.35)	Увеличение продольного и/или поперечного армирования в плоскости ХУ.



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
К. элемент 1	ЖБ колонна
К. элемент 2	ЖБ колонна
К. элемент 4	ЖБ колонна
К. элемент 6	ЖБ колонна
К. элемент 8	ЖБ колонна
К. элемент 10	ЖБ колонна

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

Размеры сечения  
 Легенда

As1 - верхняя продольная  
 As2 - нижняя продольная  
 Asw - боковая продольная  
 Asw1 - вертикальная поперечная  
 Asw2 - горизонтальная поперечная

Данные  
 Общие | Бетон | Арматура | Расположение арматуры | Нагрузки | Трещиностойкость

☐ Угловая арматура ☒ Боковая арматура

Арматура	Диаметр, мм	Кол-во
Верхняя арматура	25	4
Нижняя арматура	25	4
Боковая арматура	25	1
Коэффициент армирования, %		2.45482

Поперечная арматура  
 Интенсивность в плоскости XZ, мм<sup>2</sup>/мм: 0.6702064  
 Интенсивность в плоскости XY, мм<sup>2</sup>/мм: 3.1415927

Калькулятор площади  
 Подбор поперечного армирования

Результаты  
 Коэф. использования | Трещиностойкость

Коэффициент использования	Значение
Продольной арматуры по направлению Z	0.7216471
По моменту появления непродолжительных трещин по направлению Z	0.3911765
По моменту появления продолжительных трещин по направлению Z	0.5778531
По бетонной полосе между наклонными сечениями по направлению Y (п.6.2.33)	0.3080512
По наклонным сечениям на действие поперечных сил по направлению Y (п.6.2.34)	0.5812953
По наклонным сечениям на действие моментов по направлению Y (п.6.2.35)	0.97701

Силловые факторы для указанного коэффициента | Все силловые факторы | >0.01

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

Рис. 7.4.15. Результаты армирования К.элемент 3

Для конструктивного подбора поперечной арматуры нажимаем кнопку **Подбор поперечного армирования**. Из выпадающих списков появившегося диалогового окна **Поперечное армирование** (рис. 7.3.16) выбираем диаметр и шаг поперечной арматуры. Интенсивность определяется автоматически исходя из расположения в сечении двух стержней поперечной арматуры по направлению XY (согласно вкладке **Легенда**, см. рис. 7.4.15). При расположении в сечении четырех стержней интенсивность 3,1415 мм<sup>2</sup>/мм достигается армированием d10s100. При нажатии кнопки **Чертеж...** генерируется файл формата **APM Graph** (рис. 7.3.17).

Поперечное армирование

Армирование в плоскости XZ  
 D: 8 мм S: 150 мм Интенсивность, мм<sup>2</sup>/мм: 0.6702064 N, шт: 80

Армирование в плоскости XY  
 D: 10 мм S: 50 мм Интенсивность, мм<sup>2</sup>/мм: 3.1415927 N, шт: 240

OK Отмена

Рис. 7.3.16. Подбор поперечного армирования

Рис. 7.3.17. Чертеж ригеля