

Глава 7. Расчет железобетонной рамы в APM Structure3D

7.1. Прочностной расчет и армирование плоской рамы

Задание

Выполнить прочностной расчет и подбор армирования плоской рамы (рис. 7.1.1).

Исходные данные:

- Материал: Бетон В25 (минимальный класс бетона п. 7.2 СП 52-103-2007).
- Сечения: колонн – квадрат 400х400 (мм), ригелей – прямоугольник 400х500 (мм).
- Все колонны имеют единую схему армирования.
- Все ригели имеют единую схему армирования.

Действующие нагрузки:

- Постоянные: собственный вес; равномерно распределенная нагрузка $q_G = 30$ кН/м.
- Кратковременные: равномерно распределенная нагрузка $q_{st} = 15$ кН/м.
- Ветровые: $F_1 = 10$ кН; $F_2 = 15$ кН; $F_3 = 8$ кН; $F_4 = 12$ кН.

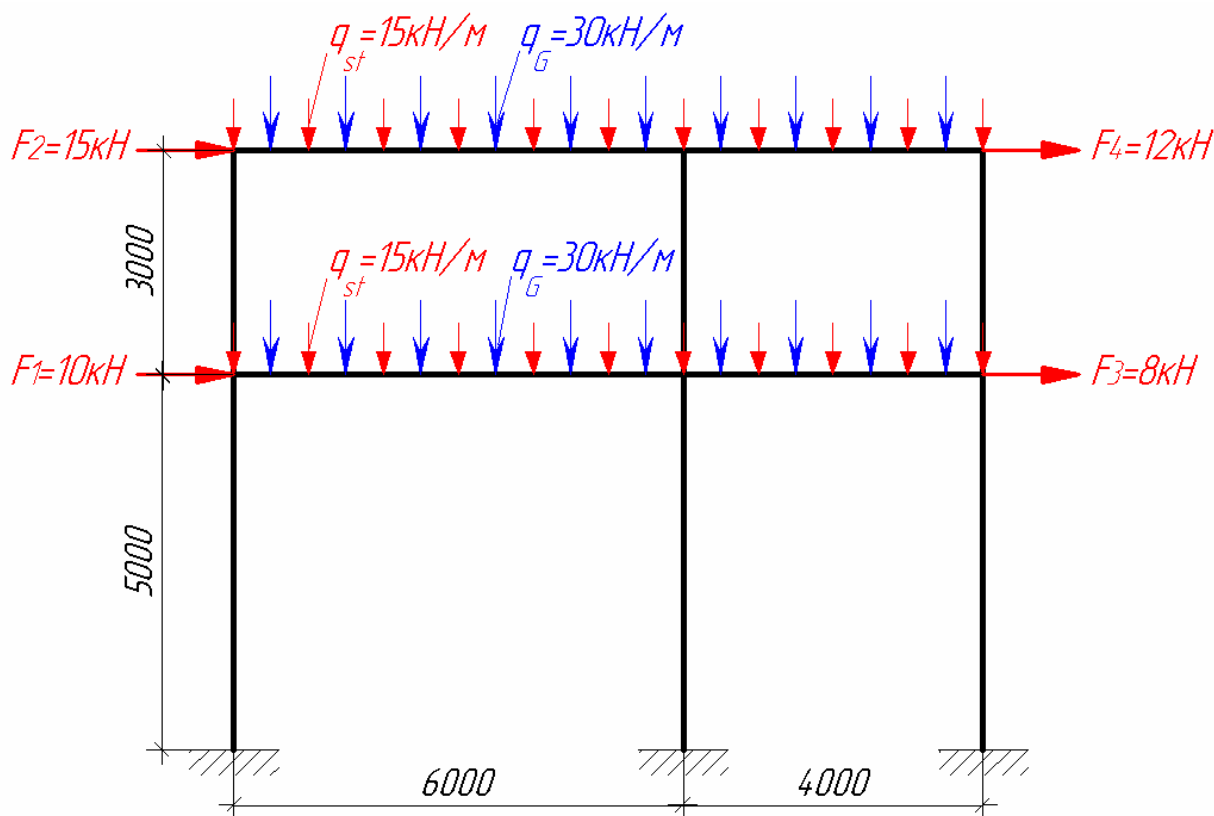


Рис. 7.1.1. Расчетная схема плоской рамы



Общий порядок расчета

1. Построение модели плоской рамы.
 - 1.1. Включение режима отмены операций.
 - 1.2. Создание базового (начального) узла.
 - 1.3. Построение стержневой модели рамы.
2. Задание сечений.
3. Задание параметров материала.
4. Задание закреплений.
5. Создание конструктивных элементов.
6. Дополнительное разбиение стержней.
7. Моделирование режима нагружения.
 - 7.1. Загружения.

- 7.2. Постоянные и кратковременные нагрузки.
- 7.3. Ветровые нагрузки.
8. Статический расчет модели.
9. Создание расчетной комбинации загружений.
10. Задание параметров и подбор армирования колонн.
11. Задание параметров и подбор армирования ригелей.
12. Просмотр результатов расчета.
13. Подготовка чертежей конструктивных элементов.

1. Построение модели плоской рамы


1.1. Включение режима отмены операций


Перед началом построения рекомендуется включить режим отмены операций. Включить/выключить этот режим можно с помощью флажка опции **Отмена операций** меню **Редактирование**. При включенном флажке становятся активными кнопки  **Отменить** и  **Повторить** панели инструментов **Файл**.


1.2. Создание базового (начального) узла

Для создания и редактирования модели предназначены инструменты вертикальной панели **Нарисовать**, которая по умолчанию расположена в левой части рабочего окна редактора.


Создавать расчетную модель можно в любом из четырех окон, при этом она будет автоматически отображаться на всех остальных видах. Рекомендуется выполнять построение на том из видов (**Спереди**, **Сверху**, **Слева** и т. п.), который наиболее удобен для изображения плоских повторяющихся элементов (рамы). Процесс создания модели планируем таким образом, чтобы как можно большая ее часть могла быть получена путем умножения плоской рамы в определенном направлении.

В данном случае в качестве рабочего выберем окно **Вид спереди**. Построение модели начинаем с того, что в произвольном месте выбранного окна ставим начальный (базовый) узел: нажимаем кнопку  **Новый узел** панели инструментов **Нарисовать** (меню **Рисование/Узел/По координатам**) и щелкаем ЛЕВОЙ кнопкой мыши в произвольной точке поля окна **Вид спереди**.

Предположим, что в этой точке расположен левый нижний узел рамы. Если в режиме  **Новый узел** щелкнуть на таком узле ПРАВОЙ кнопкой мыши, то в появившемся диалоговом окне можно ввести с клавиатуры его координаты, а именно **(0, 0, 0)**.

Для удобства построения можно включить режим отображения номеров узлов, нажав кнопку  **Номера узлов** панели инструментов **Фильтры вида**, расположенной в нижней части окна редактора APM Structure3D.

1.3. Построение стержневой модели рамы

Для построения нижней части левого вертикального стержня нажимаем на панели инструментов **Нарисовать** кнопку  **Стержень по длине и углу** (меню **Рисование/Стержень/По длине и углу**), которая становится активной только после создания хотя бы одного узла, и щелкаем ЛЕВОЙ кнопкой мыши в области чувствительности привязки к узлу 0. Затем смещаем курсор в вертикальном направлении и по щелчку ПРАВОЙ кнопки мыши вызываем диалоговое окно **Добавить стержень** (рис. 7.1.2). В поля ввода этого диалога записываем следующие значения:

- в поле ввода **Угол, градус** – **90**;
- в поле ввода **Длина, мм** – **5000**.

Угол отсчитывается против часовой стрелки относительно положительного направления горизонтальной оси вида. Завершаем ввод исходных данных нажатием кнопки **ОК**.

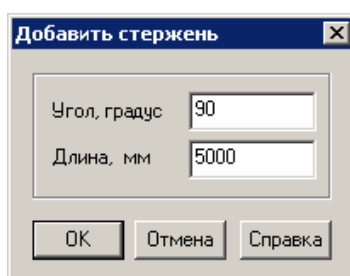




Рис. 7.1.2. Диалоговое окно **Добавить стержень**

Аналогичным образом строим верхнюю часть левого вертикального стержня: щелкаем ЛЕВОЙ кнопкой мыши на последнем из созданных узлов (в рассматриваемом случае это узел с номером 1), затем нажимаем ПРАВУЮ кнопку мыши и в полях ввода появившегося диалога записываем: **Угол, град – 0, Длина, мм – 3000**.

Для дальнейшего построения воспользуемся командой **Выталкивание**. Но прежде чем производить с объектом (элементом, группой элементов или всей моделью целиком) какие-либо операции, его следует **ВЫДЕЛИТЬ**. Сделать это удобно с помощью команды  **Выбрать Группу** панели инструментов **Нарисовать** (меню **Редактирование/Выбрать группу элементов**). Указатель мыши примет форму прямоугольной рамки. Выбор группы элементов происходит посредством выделения их рамкой при нажатой ЛЕВОЙ кнопке мыши, причем результат выполнения этой процедуры зависит от того, в каком направлении строится рамка.

ОХВАТЫВАЮЩАЯ рамка строится слева направо. С помощью такой рамки выделяются все ПОЛНОСТЬЮ попадающие в нее элементы. Рамка, построенная справа налево, называется СЕКУЩЕЙ. При этом будут выделены все элементы модели, у которых в рамку попадет хотя бы ОДИН УЗЕЛ. После выделения элемент (группа элементов) окрашивается в красный цвет. В рассматриваемом примере необходимо выделить весь построенный вертикальный стержень.

Далее переходим в режим  **Выталкивание** панели **Инструменты** (меню **Инструменты/Выталкивание**). Затем нужно показать направление выталкивания с помощью вектора умножения. Для этого первым щелчком мыши фиксируем начало вектора умножения, затем смещаем указатель мыши — указываем направление выталкивания (рис. 7.1.3), и, наконец, вторым щелчком отмечаем конечную точку этого вектора. Одновременно с последним щелчком мыши открывается диалоговое окно **Выталкивание**. В полях ввода этого окна нужно задать параметры выталкивания — число секций трехмерной рамы и координаты вектора умножения (рис. 7.1.4):

- **Число секций** – 1;
- **Вектор Умножения по X, мм** – 0;
- **Вектор Умножения по Y, мм** – 6000 (шаг выталкивания);
- **Вектор Умножения по Z, мм** – 0.

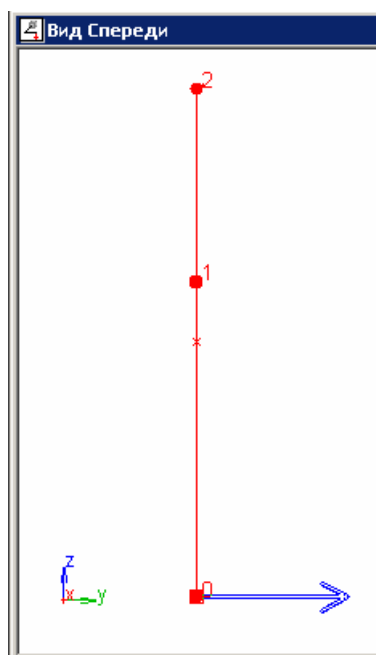


Рис. 7.1.3. Задание направления выталкивания

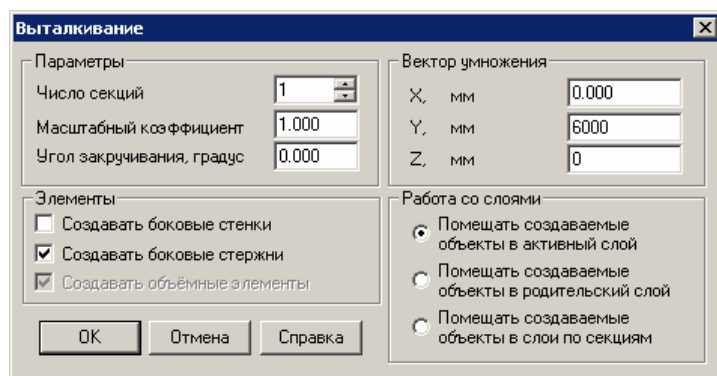


Рис. 7.1.4. Диалоговое окно **Выталкивание**

Опция **Создавать боковые стержни** должна быть отмечена флажком, для того чтобы к КАЖДОМУ из узлов плоской рамы в результате операции выталкивания присоединился дополнительный стержень в направлении вектора умножения (в данном случае – оси Y); при этом в модели могут появиться лишние стержни, которые потом необходимо удалить.

Заметим, что опции группы **Работа со слоями** (см. рис. 7.1.4) позволяют при выталкивании сложных моделей эффективно использовать такой инструмент, как *слой*. Однако в рассматриваемом примере вследствие его относительной простоты работа со слоями не применяется, и все построения выполняются в одном слое.

В результате проведенной операции выталкивания получаем плоскую раму, состоящую из двух вертикальных и одного горизонтального стержней. Для завершения построения искомой плоской рамы (см. рис. 7.1.1) повторим операцию выталкивания применительно ко второму вертикальному стержню (рис. 7.1.5). Параметры выталкивания:

- **Число секций** – 1;
- **Вектор Умножения по X, мм** – 0;
- **Вектор Умножения по Y, мм** – 4000;
- **Вектор Умножения по Z, мм** – 0.

Опция **Создавать боковые стержни** также должна быть отмечена флажком.

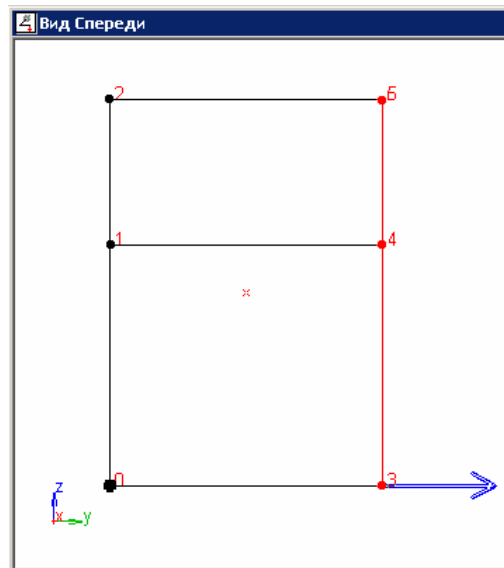





Рис. 7.1.5. Выталкивание второго стержня

В заключение необходимо удалить лишние элементы – нижние стержни. Для этого вначале выделяем эти стержни: нажимаем кнопку **Выбрать**  панели инструментов **Нарисовать** (меню **Редактирование/Выбрать элемент**) и, удерживая клавишу **Shift**, щелкаем на нужных стержнях ЛЕВОЙ кнопкой мыши. Выделенные элементы окрашиваются в красный цвет. Удаление происходит после нажатия на клавиатуре клавиши **Delete**. Ту же операцию можно выполнить в режиме

Удалить выбранное . Для этого также выделяем подлежащие удалению стержни и, нажав на соответствующую кнопку – это самая нижняя кнопка в левой вертикальной панели инструментов **Нарисовать** (меню **Рисование/Удалить выбранное**) – удаляем выделенные элементы после дополнительного предупреждения.

2. Задание сечений

К моменту запуска на расчет всем стержневым элементам модели должно быть присвоено определенное поперечное сечение. В рассматриваемом случае поперечное сечение выберем из библиотеки стандартных сечений по ГОСТ и ТУ, поставляемой в комплекте с APM Structure3D.

Команда  **Сечение** (меню **Свойства/Сечения...**) вызывает появление одноименного диалогового окна работы со списком сечений (рис. 7.1.6). Нажимаем кнопку **Загрузить...**, после чего открывается окно **Библиотека** (рис. 7.1.7). Для загрузки необходимой библиотеки служит кнопка **Загрузить...** этого диалога. Поставляемые вместе с системой библиотеки находятся в той же директории, в которой установлена система. По умолчанию это C:\Program Files\APM Civil Engineering 2008... Выбираем библиотеку сечений **Квадратные бетонные.slb**, из выпадающего списка – поперечное сечение **Квадрат 400х400**, и нажимаем кнопку **Ок**. После этого выбранное сечение будет добавлено в рабочий список сечений. Аналогично добавьте в список из библиотеки **Прямоугольные бетонные.slb** сечение **Прямоуг. 400х500**.

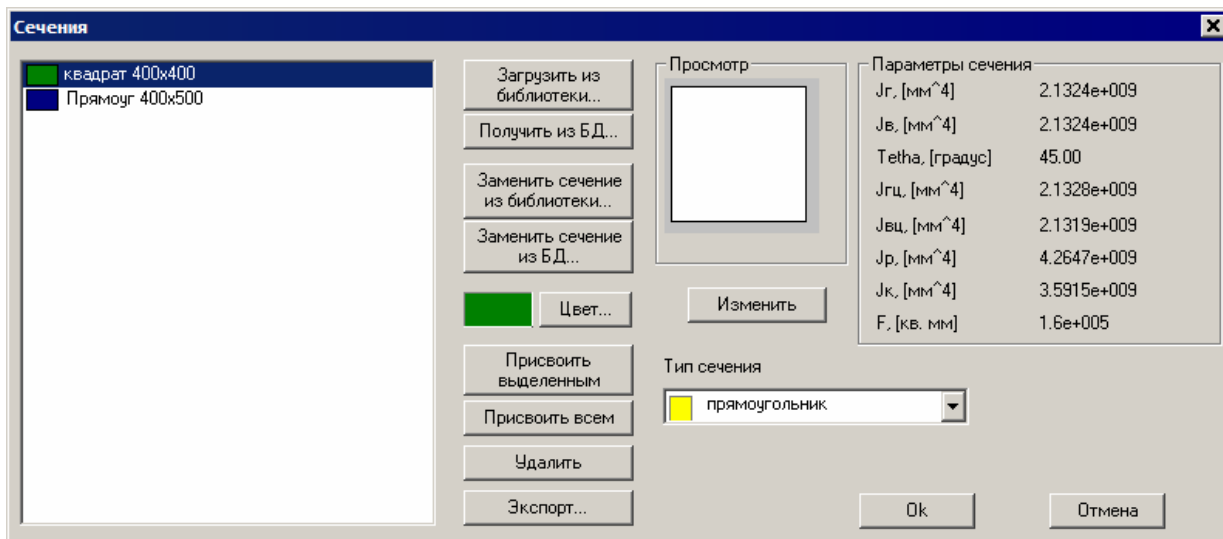


Рис. 7.1.6. Диалоговое окно работы со списком сечений

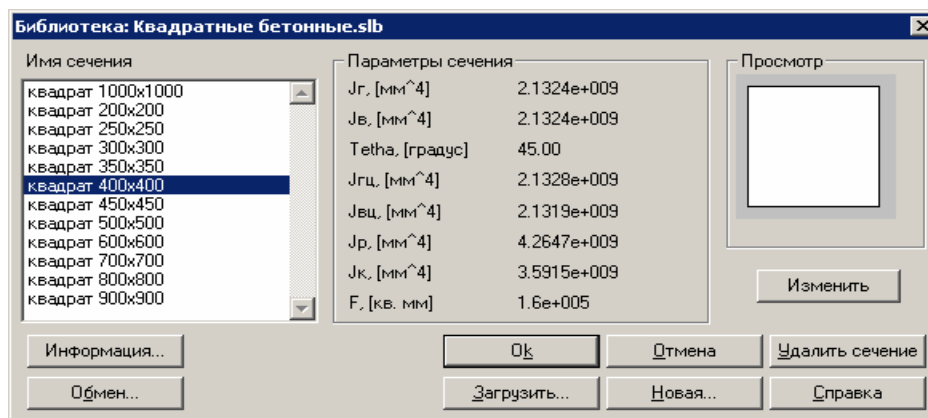





Рис. 7.1.7. Библиотека **Квадратные бетонные**


Замечание: Если нажать кнопку **Загрузить из базы**, то нужное сечение можно взять из параметрических баз данных APM Section Data, поставляемых в комплекте с APM Civil Engineering, и сразу же внести его в рабочий список диалогового окна **Сечения**. При этом предварительной записи сечения в библиотеку не требуется.

Далее в диалоге **Сечение** (см. рис. 7.1.6) выбираем **Квадрат 400х400** и нажимаем кнопку **Присвоить всем**, после чего окно необходимо закрыть.

Присвоим сечение **Прямоуг. 400х500** ригелям. Для этого с помощью команды  **Выбрать группу** (меню **Редактирование/Выбрать группу элементов**) выделим ОХВАТЫВАЮЩЕЙ рамкой слева направо горизонтальные стержни. Кнопка  **Сечения** (меню **Свойства/Сечения...**) вызывает диалоговое окно со списком сечений. Затем выбираем из списка **Прямоуг. 400х500** и нажимаем кнопку **Присвоить выделенным**.

Для отображения на модели стержней с учетом присвоенных им сечений нажмите кнопку  **Объемные сечения** панели инструментов **Фильтры вида** (панель фильтры вида расположена в нижней части окна APM Structure3D).

3. Задание параметров материала

Команда  **Материалы** (меню **Свойства/Материалы**) позволяет работать со списком материалов. После вызова команды на экране появляется одноименное диалоговое окно (рис. 7.1.8). Нажатием кнопки **Добавить...** вызовите диалог выбора типа материала (общий, бетон или кладка), из выпадающего списка выберите тип материала **Бетон** и нажмите кнопку **ОК** (рис. 7.1.9). Далее можно последовательно заполнить поля ввода появившегося диалогового окна (рис. 7.1.10) значениями параметров нужного материала, однако в рассматриваемом случае удобнее воспользоваться базой данных. Кнопка **ДВ...** вызывает окно выбора материала из базы данных (рис. 7.1.11). Выберите тип материала **Бетон**, затем в выпадающем списке – **Бетон тяжелый В25**, и подтвердите выбор нажатием кнопки **ОК**.

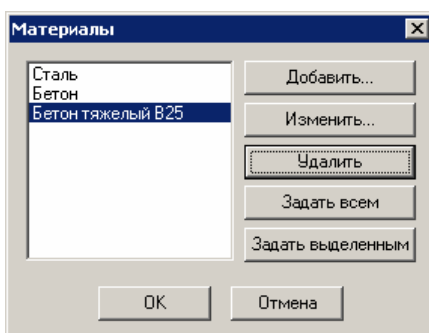


Рис. 7.1.8. Диалоговое окно **Материалы**

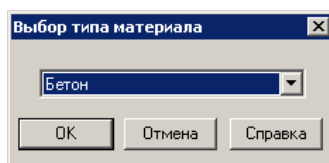


Рис. 7.1.9 Диалоговое окно выбора типа материала

Материал

Название:

Параметры материала

Предел текучести по сжатию, [Н/мм²]:

Предел текучести по растяжению, [Н/мм²]:

Предел текучести по сдвигу, [Н/мм²]:

Модуль Юнга, [Н/мм²]:

Коэффициент Пуассона, [-]:

Плотность, [кг/мм³]:

Коэффициент температурного расширения, [1/°C]:

Коэффициент теплопроводности, [Вт/(°C*мм)]:

Предел прочности по сжатию, [Н/мм²]:

Предел прочности по растяжению, [Н/мм²]:

Предел усталостной прочности (н), [Н/мм²]:

Предел усталостной прочности (к), [Н/мм²]:

Расчетное сопротивление по сжатию (I группа предельных состояний), [Н/мм²]:

Расчетное сопротивление по растяжению (II группа предельных состояний), [Н/мм²]:

Рис. 7.1.10. Диалоговое окно **Материал**

База данных по материалам




Стандарты: Типы материалов: Подгруппы:

Обозначение	Предел Текучести	Модуль Юнга	Плотность	Коэффициент Пуассона	Предел Прочности	Устал
Бетон тяжелый В10	7.500	19000.000	0.000	0.200	6.000	0.000
Бетон тяжелый В15	11.000	24000.000	0.000	0.200	8.500	0.000
Бетон тяжелый В20	15.000	27500.000	0.000	0.200	11.500	0.000
Бетон тяжелый В25	18.500	30000.000	0.000	0.200	14.500	0.000
Бетон тяжелый В30	22.000	32500.000	0.000	0.200	17.000	0.000
Бетон тяжелый В35	25.500	34500.000	0.000	0.200	19.500	0.000
Бетон тяжелый В40	29.000	36000.000	0.000	0.200	22.000	0.000
Бетон тяжелый В45	32.000	37000.000	0.000	0.200	25.000	0.000
Бетон тяжелый В50	36.000	38000.000	0.000	0.200	27.500	0.000
Бетон тяжелый В55	39.500	39000.000	0.000	0.200	30.000	0.000
Бетон тяжелый В60	43.000	39500.000	0.000	0.200	33.000	0.000

Рис. 7.1.11. База данных по материалам

Для того чтобы присвоить выбранный материал всем стержням модели, выберите в списке материалов (см. рис. 7.1.8) **Бетон тяжелый В25** и нажмите кнопку **Задать всем**.

4. Задание закреплений

Вначале необходимо выделить все узлы, в которых установлены опоры. 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. 7.1.12) задаем тип **Жесткая опора**, нажав соответствующую кнопку .

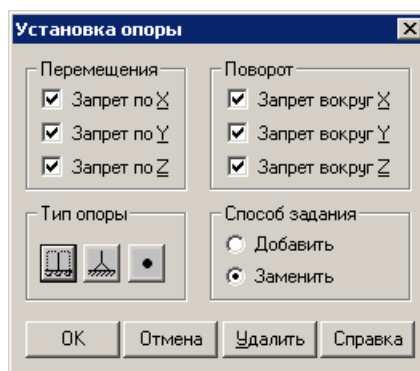


Рис. 7.1.12. Диалоговое окно Установка опоры

5. Создание конструктивных элементов

Поскольку в построенной модели КАЖДОМУ конструктивному элементу соответствует ОДИН конечный элемент, удобно воспользоваться первым способом создания конструктивных элементов (подробнее о создании конструктивных элементов см. п. 4, гл. 6).

Выбираем пункт меню **Проектирование/Типы конструктивных элементов/ Железобетонные конструктивные элементы**. Затем выделяем все элементы, используя команду **Выбрать группу**, и активируем команду **Выделенные объекты в отдельные конструктивные элементы** панели инструментов **Конструктивные элементы** (меню **Проектирование/Выделенные объекты в отдельные конструктивные элементы**). При создании каждого конструктивного элемента программа автоматически распознает его тип: колонна или ригель.

6. Дополнительное разбиение стержней

Для корректного конечно-элементного расчета модели необходимо выполнить дополнительное разбиение стержней, причем сделать это следует ДО задания нагрузки, т. к. распределенные нагрузки после разбиения стержня удаляются.

Разбиение стержневых элементов производится следующим образом. Сначала, как обычно, выделяем все стержни модели ОХВАТЫВАЮЩЕЙ или СЕКУЩЕЙ рамкой (команда **Выбрать группу**). Далее нажимаем кнопку **Разбить стержень** (меню **Рисование/Стержень/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 каждый стержень разбиваем на три элемента, поэтому в соответствующем поле ввода появившегося диалогового окна **Разбить стержень** записываем число **3**.

7. Моделирование режима нагружения

7.1. Загружения

Для задания нагрузок в соответствии со **СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия** удобно каждый вид нагрузки разместить в отдельном загрузении. Команда **Загружения...** (меню **Нагрузки/Загружения...**) вызывает диалоговое окно редактирования загрузений (рис. 7.1.13).

С помощью кнопки **Добавить...** этого диалога создайте два новых загрузения (см. п. 5, гл. 6). Для учета собственного веса выберите одно из загрузений и нажмите кнопку **Изменить...**. В появившемся диалоговом окне введите название загрузения, а именно **Постоянные**, и множитель собственного веса, равный **1.1**. Аналогичным образом измените названия остальных загрузений.

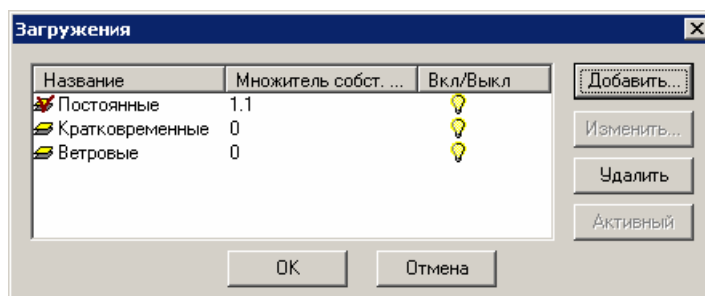




Рис. 7.1.13. Диалоговое окно **Загружения**

7.2. Постоянные и кратковременные нагрузки

Для перехода в режим задания постоянной нагрузки выделяем все горизонтальные стержни с помощью команды  **Выбрать группу** (меню **Редактирование/Выбрать группу элементов**) и активируем команду  **Глобальная нагрузка на стержень** панели инструментов **Нагрузки** (меню **Нагрузки/Глобальная нагрузка на стержень**). Из выпадающего списка загружений появившегося диалогового окна **Распределенная сила** (рис. 7.1.14) выбираем загрузку **Постоянные**. В поле ввода **Значение силы, Н/мм** записываем значение действующей нагрузки $30 \text{ кН/м} = 30 \text{ Н/мм}$, а с помощью полей группы **Направление в глобальной системе координат** задаем ее направление в глобальной системе координат – в рассматриваемом случае с этой целью записываем в поле **Z**: число **-1**.

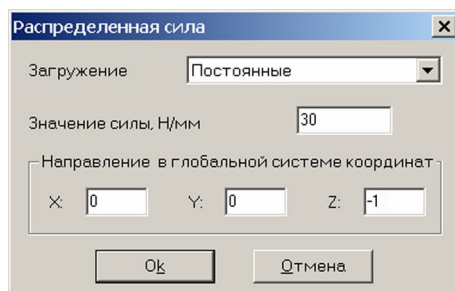



Рис. 7.1.14. Задание постоянной нагрузки

Задание кратковременных распределенных нагрузок производится аналогично, необходимо только выбрать соответствующее загрузку.

7.3. Ветровые нагрузки

Для задания ветровых нагрузок активируем команду  **Сила к узлу** панели инструментов **Нагрузки** (меню **Нагрузки/Сила к узлу**) и указываем узел с приложенной силой F_1 . В появившемся диалоговом окне **Сила** (рис. 7.1.15) выбираем загрузку **Ветровые** и вводим значение действующей нагрузки в направлении Y глобальной системы координат $10 \text{ кН} = 10000 \text{ Н}$.

Задание ветровых нагрузок F_2 , F_3 и F_4 выполняется аналогично.

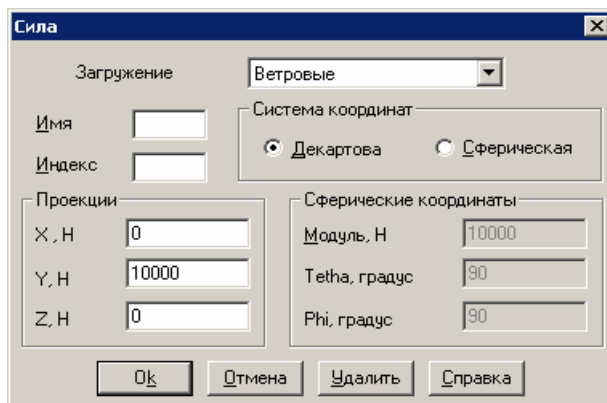


Рис. 7.1.15. Задание **Силы** в узле

8. Статический расчет модели

Для выполнения расчета служит команда меню **Расчет/Расчет**. В появившемся диалоговом окне необходимо отметить пункт **Статический расчет** и нажать кнопку **Ок**.

9. Создание расчетной комбинации загружений

Выбираем пункт меню **Расчет/Расчетные комбинации загружений....** В появившемся диалоговом окне **Таблица загружений для вычисления РСУ** (рис. 7.1.16) формируем состав комбинации загружений: поочередно выбираем из списка необходимое загрузку и его тип, а затем вводим необходимые значения коэффициентов и нажимаем кнопку **Добавить в комбинацию**. Добавочный коэффициент учитывает коэффициент надежности γ_f для каждого вида на-

грузки согласно **СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия**. Для вычисления расчетных сочетаний усилий необходимо нажать кнопку **Расчет**. После выполнения расчета окно закроется автоматически.

Таблица загружений для вычисления РСУ

Параметры загрузки

Загружение: Постоянные | Тип загрузки: Постоянное | Доля длительности: 1 | Добавочный коэффициент: 1

☐ Учитывать знакопеременность | Добавить в таблицу

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

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

Изменить | Удалить | Группы >>>

OK | Расчет | Отмена | Справка

Рис. 7.1.16. Диалоговое окно **Таблица загружений для вычисления РСУ**

10. Задание параметров и подбор армирования колонн

Задание параметров необходимо проводить для каждого конструктивного элемента отдельно или для группы элементов одного типа (колонна, ригель) с одинаковым поперечным сечением. По условию, параметры армирования колонн едины и имеют одинаковое сечение.

Задание параметров армирования осуществляется в диалоговом окне (рис. 7.1.17), которое вызывает команда **Конструктивные элементы** одноименной панели инструментов (меню **Проектирование/Конструктивные элементы**). В верхней левой части диалогового окна **Результаты армирования** расположен список всех конструктивных элементов.

Результаты армирования (СП 52-101-2003) - К. элемент 1

Тип расчета: Проектировочный

Имя элемента	Тип элемента
К. элемент 1	ЖБ колонна
К. элемент 2	ЖБ колонна
К. элемент 3	ЖБ ригель
К. элемент 4	ЖБ колонна
К. элемент 5	ЖБ ригель
К. элемент 6	ЖБ колонна
К. элемент 7	ЖБ ригель
К. элемент 8	ЖБ колонна
К. элемент 9	ЖБ ригель
К. элемент 10	ЖБ колонна

Общие: Тип элемента: ЖБ колонна | Кол-во элементов: 3 | Длина стержня, мм: 5000.00

Размеры сечения: b = 400.000000, мм | h = 400.000000, мм

Данные: **Общие** | Бетон | Арматура | Нагрузки | Трещиностойкость

☐ Статическая определимость | ☒ Расчет на трещиностойкость

Тип сечения: Прямоуг. | ☐ Пользовательский вариант армирования

Коэффициенты расчетной длины (расчет на внецентренное сжатие п.6.2.18)

Коз.ф. длины в пл. XY: 0.8 | Выбор | ☒ Пользовательское значение

Коз.ф. длины в пл. XZ: 0.8 | Выбор | ☐ Рекомендованное значение

Результаты: Арматура | Коз.ф. использования | Трещиностойкость

Арматура	Диаметр, мм	Кол-во
Верхняя арматура	6	2
Нижняя арматура	6	2
Коэффициент армирования, %		0.0706867

Поперечная арматура: Интенсивность в плоскости XZ, мм²/мм: 3.349040 | Интенсивность в плоскости XY, мм²/мм: 0.000000

Калькулятор площади | Подбор поперечного армирования

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

Рис. 7.1.17. Диалоговое окно **Результаты армирования** – проектировочный расчет

Для того чтобы скрыть ригели и оставить в списке конструктивных элементов только колонны, нажмите кнопку фильтра **P** (рис. 7.1.18):

Р **Р** – Показать/Скрыть конструктивные элементы – ригели.



Рис. 7.1.18. Фрагмент диалогового окна **Результаты армирования** – список конструктивных элементов

Для выделения всех колонн необходимо в списке конструктивных элементов, во-первых, щелкнуть левой кнопкой мыши на первом конструктивном элементе списка, а затем, удерживая клавишу **Shift** нажатой – на нижнем. При этом все конструктивные элементы с именем **ЖБ колонна** выделятся как в списке, так и на модели (рис. 7.1.19).

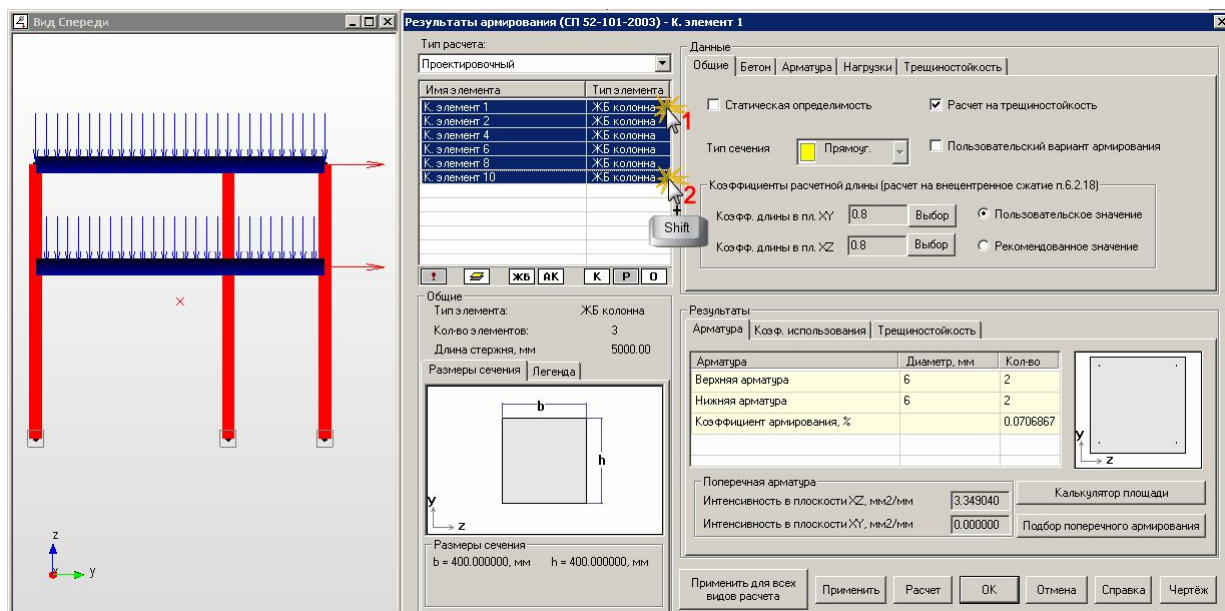


Рис. 7.1.19. Выделение всех колонн

При проектировочном расчете программа автоматически производит подбор арматуры из указанного диапазона геометрических размеров. Кроме того, проектировщик может выполнить процедуру армирования самостоятельно в режиме проверочного расчета. Рассмотрим эти типы расчета более подробно.

10.1. Проектировочный расчет

По умолчанию в выпадающем списке **Тип расчета** установлен **Проектировочный** расчет. С помощью группы вкладок **Данные** записываем параметры проектировочного расчета:

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: В25 (зависит от материала конструктивного элемента)

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: 0,8 (γ_s , п. 5.2.7 СП 52-101-2003)

Симметричное расположение арматуры: Да
Учет конструктивных ограничений: Да (проверка минимального защитного слоя п. 8.3.2 СП 52-101-2003)
Расстояние до центра арматуры, мм:
Верхний: 34, Нижний: 34, Боковой: 34 (п. 8.3.2 СП 52-101-2003)
(Защитный слой 20 мм, и предполагаемая арматура <28 мм)

Нагрузки
Источник нагрузок для расчета: PCY

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. Затем нажимаем кнопку **Расчет** диалогового окна, после чего программа выполнит подбор армирования для выделенных конструктивных элементов.

Результаты проекровочного расчета в виде числовых значений диаметра и шага продольной арматуры, поперечной интенсивности, коэффициентов использования и ширины раскрытия трещин доступны в соответствующих вкладках группы **Результаты**. В режиме проекровочного расчета для каждого конструктивного элемента программа подберет различное армирование в зависимости от действующей нагрузки. Подбор армирования осуществляется исходя из условия минимальной интенсивности.

10.2. Проверочный расчет

Конструктор может применить иную схему армирования и осуществить процедуру армирования самостоятельно в режиме проверочного расчета, который позволяет выполнить проверку заданного варианта армирования по первой и второй группам предельных состояний и некоторым другим критериям. Необходимость единого армирования возникает для унификации армирования группы конструктивных элементов. В качестве примера унифицируем армирование для всех колонн. Для этого вначале необходимо определить конструктивный элемент с максимальным армированием, опираясь на результаты армирования, которые представлены во вкладке **Арматура** группы **Результаты**. Последовательно выбирая конструктивные элементы в списке и просматривая результаты армирования, видим, что максимальное армирование требуется для колонны **К. элемент 2** (рис. 7.1.20).

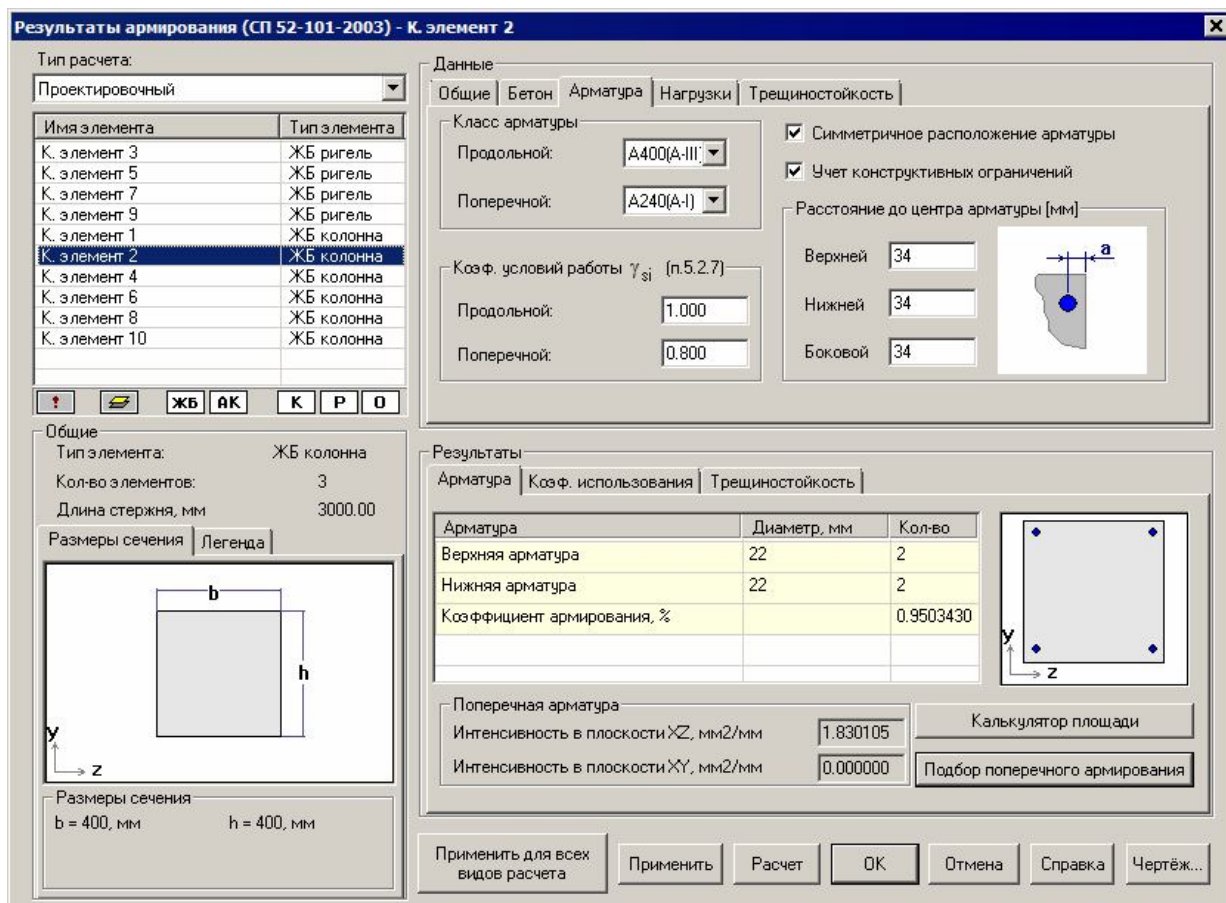


Рис. 7.1.20. Колонна с максимальным армированием в режиме проверочного расчета

Выполним конструктивный подбор поперечного армирования для интенсивности 2.71 мм²/мм, нажав кнопку **Подбор поперечного армирования**. Из выпадающих списков появившегося диалогового окна **Поперечное армирование** (рис. 7.1.21) выберите диаметр или шаг поперечной арматуры, второй параметр рассчитывается автоматически, например d8s50 или d10s75. Интенсивность определяется исходя из расположения в сечении двух стержней поперечной арматуры по каждому направлению, Y и Z, согласно легенде (рис. 7.1.22).

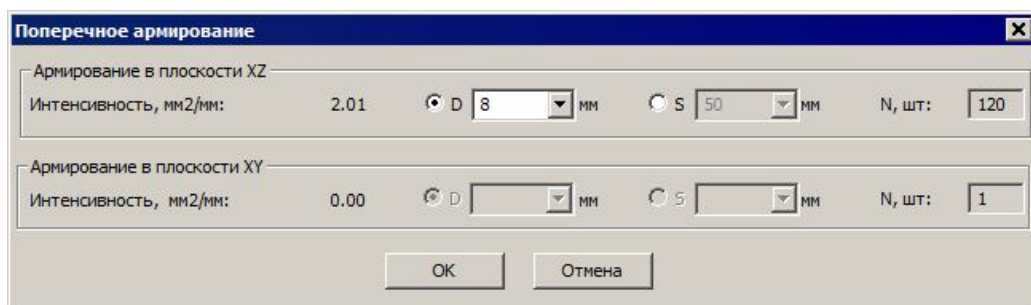


Рис. 7.1.21. Диалоговое окно подбора поперечного армирования

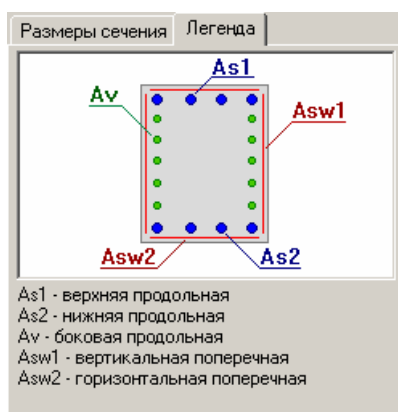


Рис. 7.1.22. Легенда расположения арматуры колон и ригелей

Интенсивность поперечной арматуры d8s50 или d10s75 является достаточно высокой с точки зрения удобства конструктивной реализации, поэтому в режиме проверочного расчета увеличим продольную арматуру, чтобы снизить необходимую интенсивность поперечной. Для перехода в режим проверочного расчета в выпадающем списке **Тип расчета** выбираем **Проверочный**. Далее выделяем все колонны и задаем армирование согласно рис. 7.1.23.

Назначаемое армирование задается во вкладке **Расположение арматуры**. Для верхней, нижней и боковой (если необходимо) продольной арматуры это диаметр и количество стержней, для поперечной – интенсивность. Задать интенсивность можно, нажав кнопку **Подбор поперечного армирования**. Из выпадающих списков появившегося диалогового окна **Поперечное армирование** (рис. 7.1.24) выберите диаметр и шаг поперечной арматуры. Интенсивность определяется автоматически исходя из расположения в сечении двух стержней поперечной арматуры по каждому направлению (см. рис. 7.1.22).

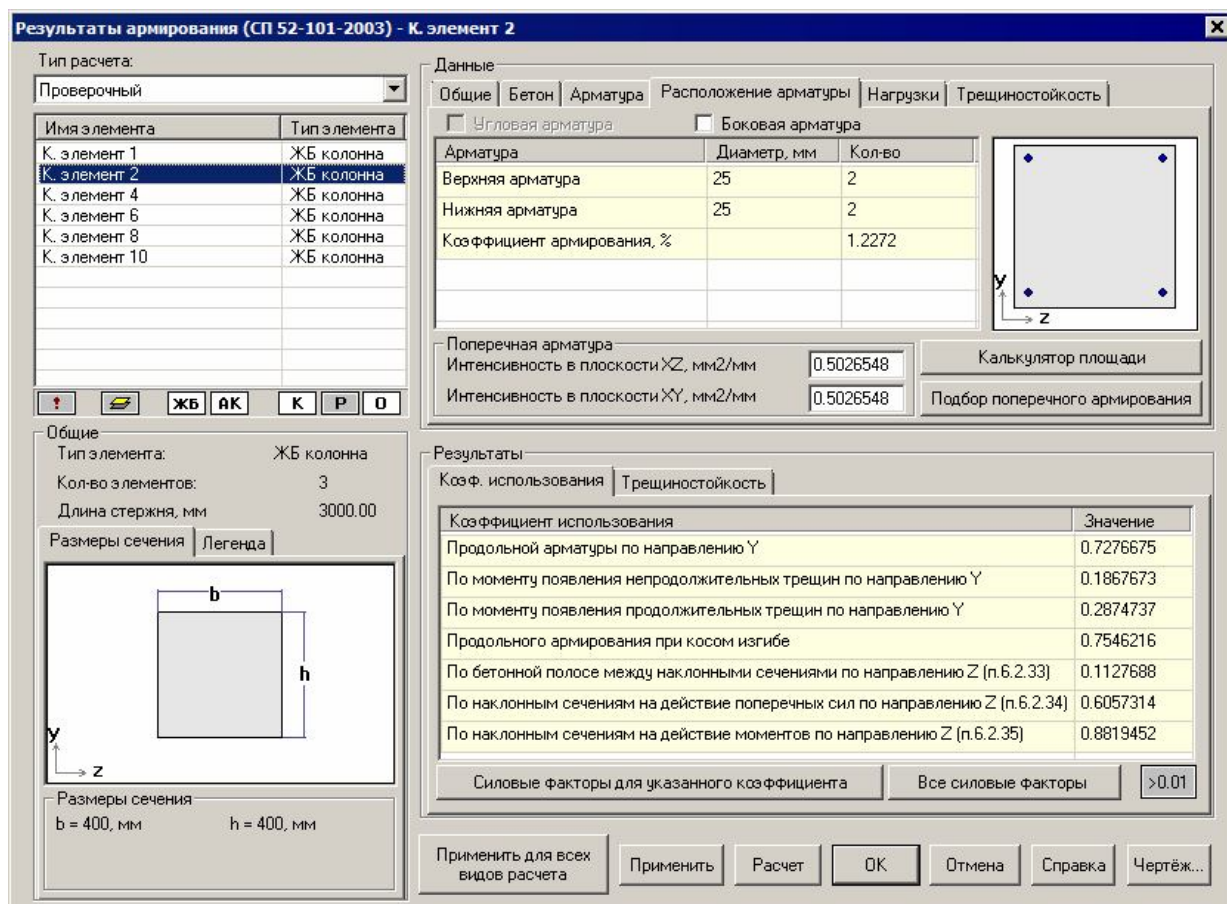


Рис. 7.1.23. Диалоговое окно **Результаты армирования** – проверочный расчет

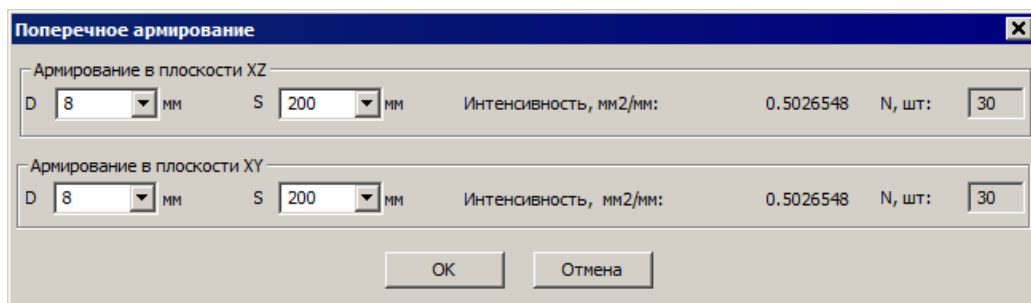


Рис. 7.1.24. Подбор поперечного армирования

После задания поперечной арматуры нажмите кнопку **Расчет** – программа выполнит проверочный расчет всех выделенных конструктивных элементов.

11. Задание параметров и подбор армирования ригелей

Задание входных параметров и расчет ригелей производится аналогично колоннам (см. п. 10).

Чтобы имена конструктивных элементов – ригелей отображались в списке конструктивных элементов, необходимо нажать кнопку **Р**. Чтобы в списке конструктивных элементов остались только имена ригелей, нужно нажать на кнопку фильтра **К** и скрыть названия колонн: **К** **К** – **Показать/Скрыть конструктивные элементы – колонны**.

Для выделения всех ригелей необходимо в списке конструктивных элементов, во-первых, щелкнуть левой кнопкой мыши на первом конструктивном элементе списка, а затем, удерживая клавишу **Shift** нажатой – на нижнем. При этом все конструктивные элементы с именем **ЖБ ригель** выделяются все как в списке, так и на модели (рис. 7.1.25).

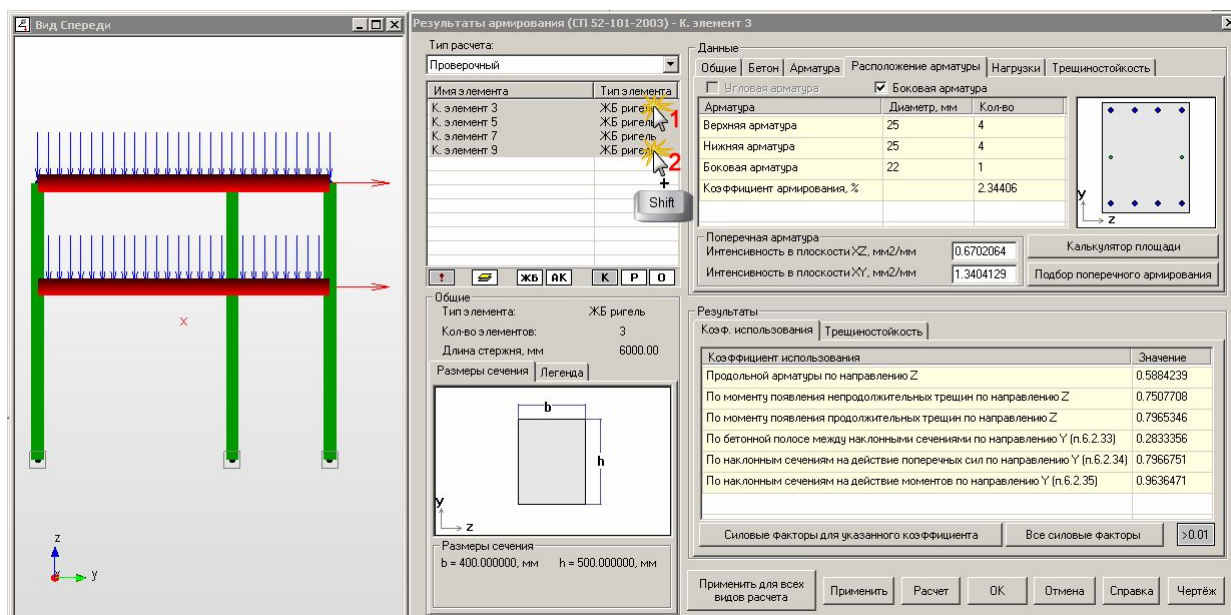


Рис. 7.1.25. Результаты проверочного расчета ригелей

Выбираем тип расчета **Проверочный** и вводим параметры группы вкладок **Данные** (см. п. 10.1). Затем нажимаем кнопку **Применить для всех видов расчета** диалогового окна **Результаты армирования**, при этом введенные исходные данные будут использованы как для проектного, так и для проверочного расчетов. Задание схемы армирования осуществляется во вкладке **Расположение арматуры** (см. рис. 7.1.25). Для верхней и нижней продольной арматуры это диаметр и количество стержней, для поперечной – интенсивность. Задать интенсивность можно, нажав кнопку **Подбор поперечного армирования**. Из выпадающих списков появившегося диалогового окна **Поперечное армирование** (рис. 7.1.26) выберите диаметр и шаг поперечной арматуры. Интенсивность определяется исходя из расположения в сечении двух стержней поперечной арматуры по каждому направлению, Y и Z, согласно легенде (см. рис. 7.1.22). В данном случае предполагается поперечное армирование в сечении хомутом d8s150 и дополнительное армирование по направлению Y двумя скобами d8s150.

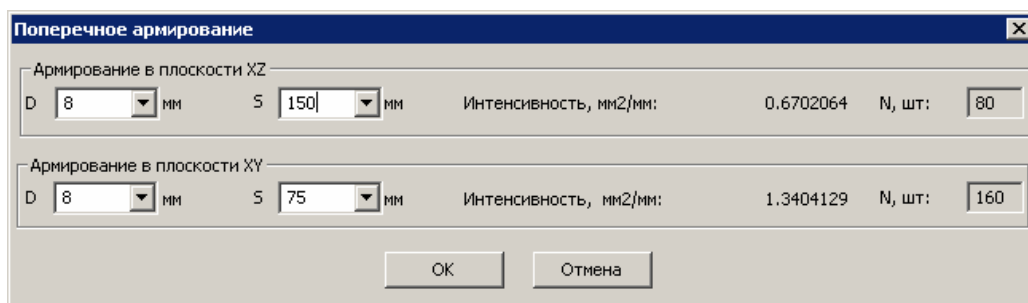


Рис. 7.1.26. Подбор поперечного армирования


После задания поперечной арматуры нажмите кнопку **Расчет** – программа выполнит проверочный расчет всех выделенных конструктивных элементов.

Для выполнения проверки/подбора армирования ВСЕХ конструктивных элементов предусмотрены соответствующие команды меню **Расчет**.

12. 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. 7.1.20, 7.1.23 и 7.1.25).

В группе **Результаты** представлены коэффициенты использования арматуры (вкладка **Козф. использования**), каждый из которых должен быть меньше единицы, а также ширина непродолжительного раскрытия трещин (вкладка **Трещиностойкость**), величина которой должна быть меньше предельной. По умолчанию предельная ширина непродолжительного раскрытия принимается согласно СП 52-103-2007, но при желании ее можно изменить или же применить критерий полного отсутствия трещин. Если для рассматриваемого конструктивного элемента значение хотя бы одного из коэффициентов использования арматуры превышает единицу или ширина непродолжительного раскрытия трещин больше предельной, то соответствующая строка выделяется красным цветом.

После выполнения расчета нажмите кнопку  для показа элементов с отрицательным результатом расчета (арматура не подобрана или не проходит по проверочному расчету). Если таких конструктивных элементов нет, следовательно, условие прочности по первой и второй группам предельных состояний выполнено для всех конструктивных элементов. В зависимости от того критерия, по которому не обеспечиваются требования расчета, следует изменить параметры продольной или поперечной арматуры и повторить расчет.

При значительном количестве конструктивных элементов удобно воспользоваться картой армирования, чтобы проверить 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 (рис. 7.1.27) 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 параметрами армирования НЕ удовлетворяет требованиям расчета по первой или второй группам предельных состояний.

В данном случае статус для всех элементов равен 1.

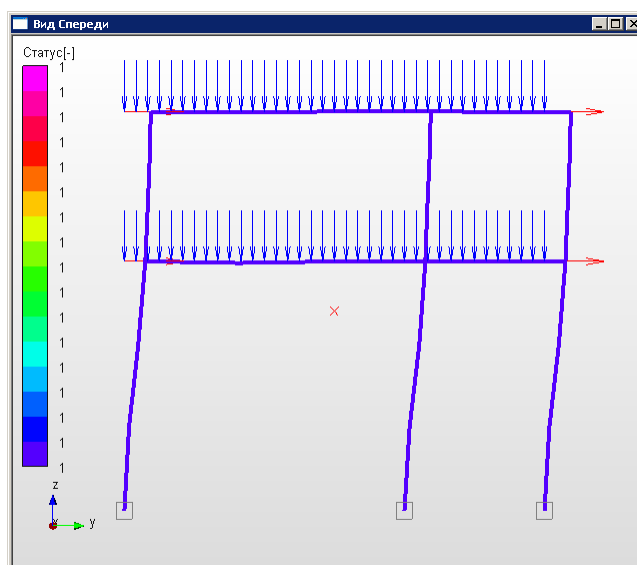


Рис. 7.1.27. Статус армирования

Команда меню **Результаты/Карта армирования** позволяет просмотреть изокарту по каждому из параметров армирования. Пример карты ширины непродолжительного раскрытия трещин приведен на рис. 7.1.28. На карте армирования не показываются конструктивные элементы с отрицательным результатом расчета.

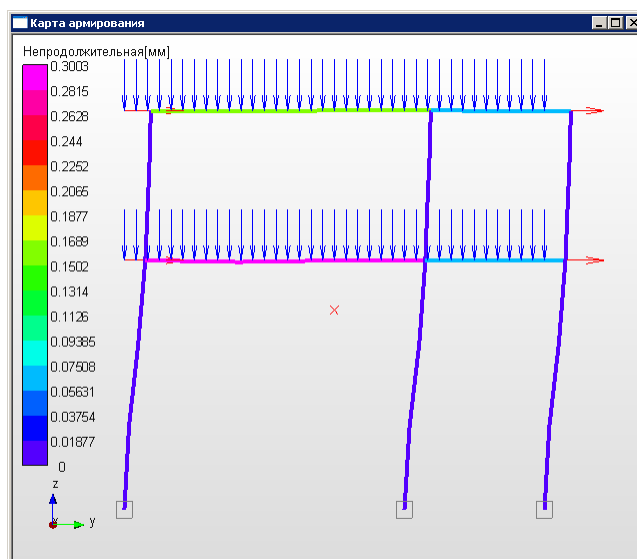


Рис. 7.1.28. Карта ширины непродолжительного раскрытия трещин


Для расширенного 3D-представления армирования служат команды панели инструментов **Результаты армирования** (рис. 7.1.29). Выберите тип расчета и нажмите кнопку  **Объемное отображение армирования стержневых элементов** (рис. 7.1.30).



Рис. 7.1.29. Панель инструментов **Результаты армирования**

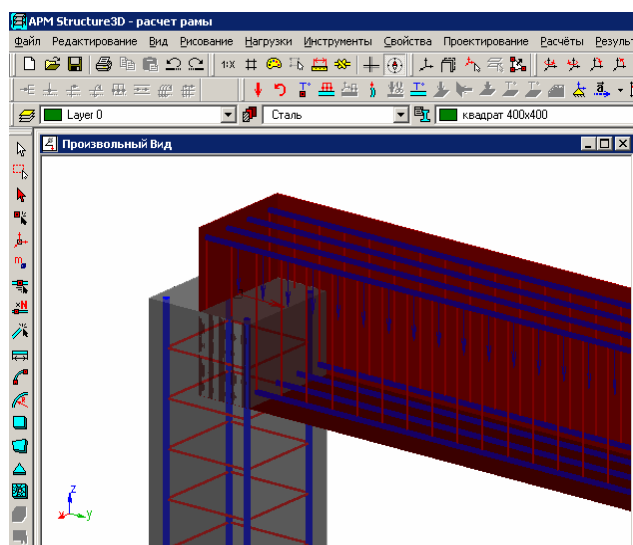



Рис. 7.1.30. Объемное отображение армирования

13. Подготовка чертежей конструктивных элементов

После выполнения расчета возможна генерация чертежа параметрической модели конструктивного элемента. Рассмотрим подготовку чертежа на примере большепролетного ригеля перекрытия первого этажа. Для этого выделим этот ригель на модели (рис. 7.1.31). После нажатия кнопки  **Конструктивные элементы** одноименной панели инструментов (меню **Проектирование/Конструктивные элементы**) появится диалог **Результаты армирования**, в списке конструктивных элементов которого выделен **К. элемент 3**, который соответствует выделенному на схематическом изображении модели стержню (ригелю). Для генерации чертежа параметрической модели выбранного конструктивного элемента необходимо переключиться в режим проверочного расчета и нажать кнопку **Чертеж** диалогового окна (см. рис. 7.1.31). Система предложит ввести имя файла формата редактора APM Graph (*.agr) для сохранения чертежа.

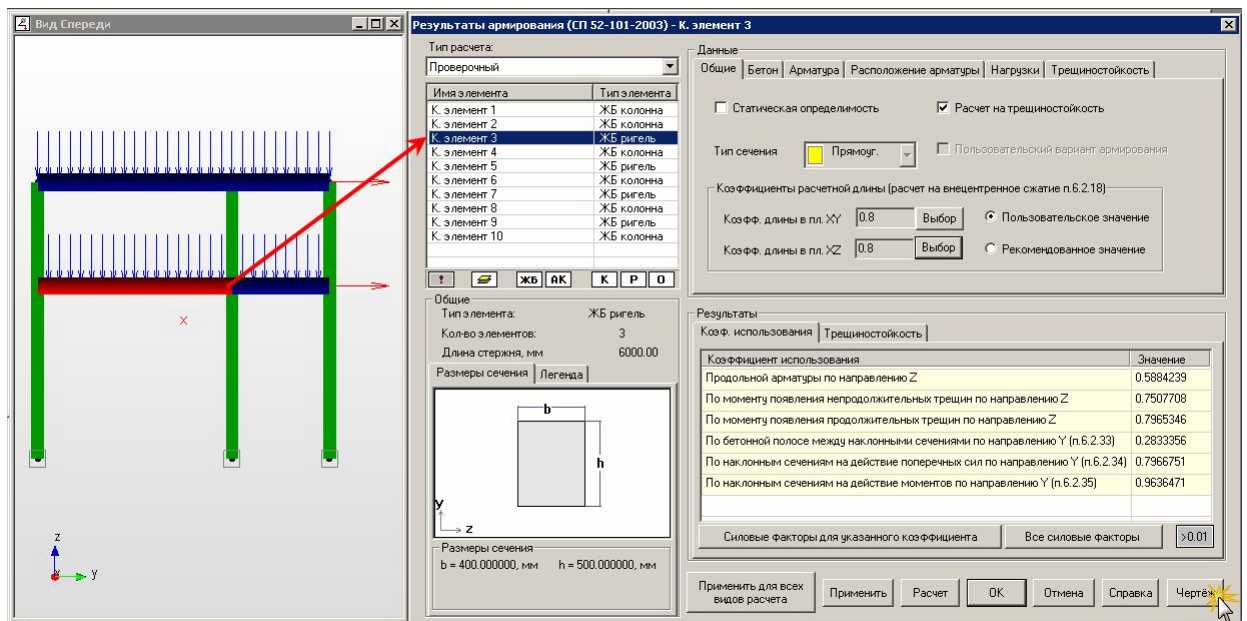


Рис. 7.1.31. Подготовка чертежа ригеля

Полученная параметрическая модель (рис. 7.1.32) может быть отредактирована средствами чертежно-графического редактора APM Graph.

Экспорт чертежа из APM Graph в CAD-системы сторонних разработчиков возможен через формат *.dxf. Для корректной передачи чертежа в формат *.dxf необходимо выполнить разбиение всех параметрических блоков командой **Расчленить блок** панели инструментов **Модификация** (команда **Модификация/Расчленение блока**). После активации команды выделите весь чертеж рамкой.

Для сохранения чертежа в формате *.dxf воспользуйтесь командой меню **Файл/Экспорт**.

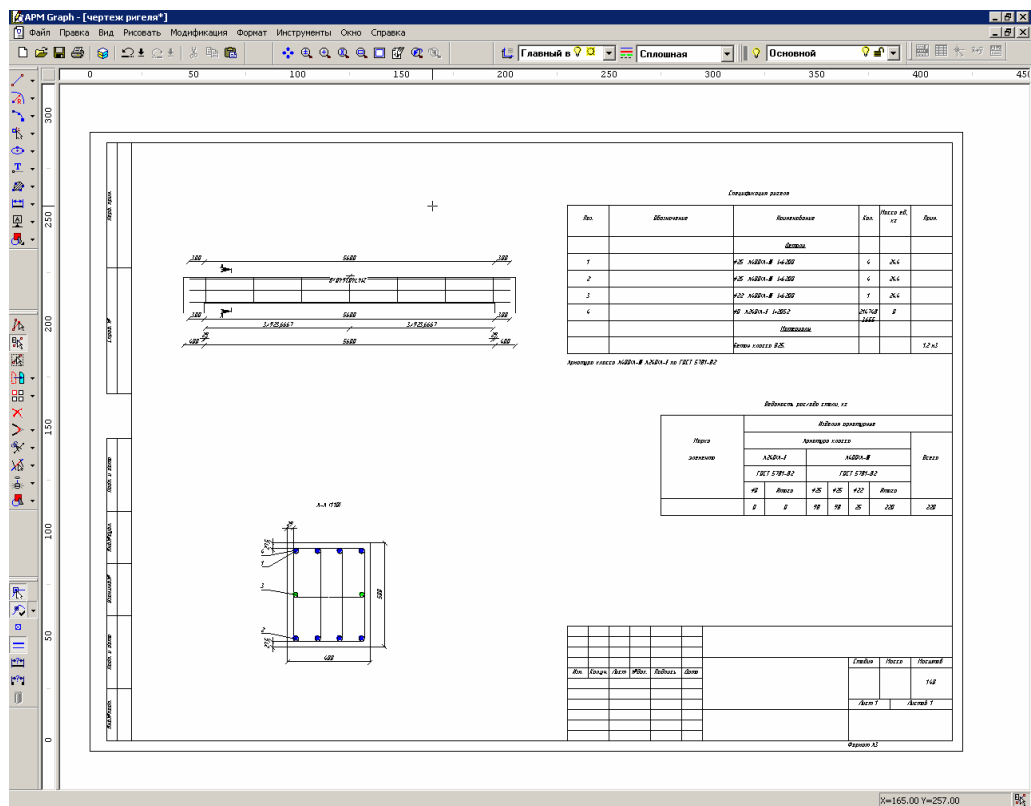


Рис. 7.1.32. Чертеж ригеля в редакторе APM Graph