

### Глава 3. Расчет балочного элемента в APM Beam

#### Задача

Выполнить прочностной расчет балки ABC длиной 3 м, схема нагружения которой приведена на рис. 3.1.

Сечение балки: горячекатаный двутавр №12 по ГОСТ 8239-89.

Материал балки: С235 (ВСт3кп).

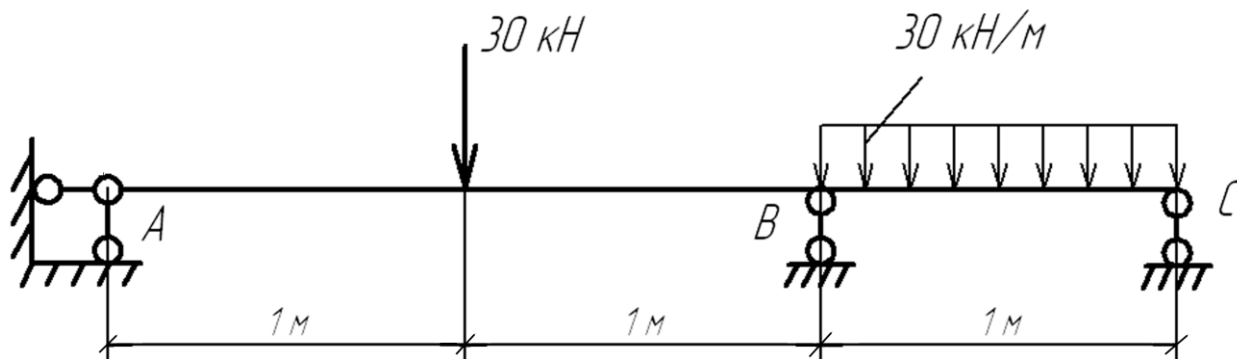


Рис. 3.1. Расчетная схема балки


В результате расчета следует определить напряжения в наиболее нагруженном сечении и выполнить проверку балки на прочность.

#### Общий порядок расчета

1. Задание длины балочного элемента модели.
2. Создание поперечного сечения и присвоение его балочному элементу.
  - 2.1. Создание внешнего контура поперечного сечения.
  - 2.2. Выделение внешнего и внутренних контуров.
  - 2.3. Расчет параметров созданного поперечного сечения.
  - 2.4. Присвоение балочному элементу заданного поперечного сечения.
3. Закрепление модели с помощью опор.
4. Моделирование схемы нагружения балки силовыми факторами.
  - 4.1. Поперечные силы.
  - 4.2. Распределенные силы.
5. Присвоение параметров материала балки.
6. Выполнение расчета.
7. Просмотр и вывод результатов расчета на печать.

#### Решение

##### 1. Задание длины балочного элемента модели

Открываем основное окно модуля APM Beam и переходим в режим создания сегмента балочного элемента нажатием кнопки  **Сегмент** (меню **Задать/Сегмент**). Затем щелчком левой кнопки мыши в окне редактора отмечаем точку начала сегмента. Смещая курсор, «вытягиваем» в горизонтальном направлении динамический объект в виде прямоугольника, значение длины которого отображается в строке состояния. Для завершения создания сегмента балки снова щелкаем левой кнопкой мыши и в поле ввода **Длина сегмента, мм** открывшегося диалогового окна **Сегмент балки** записываем число 3000 (рис. 3.2).

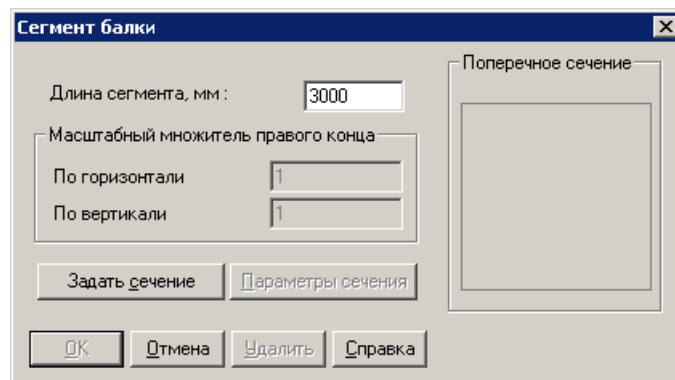




Рис. 3.2. Диалоговое окно **Сегмент балки**



## 2. Создание поперечного сечения и присвоение его балочному элементу

### 2.1. Создание внешнего контура поперечного сечения

Нажатие кнопки **Задать сечение** диалогового окна (см. рис. 3.2) приводит к открытию окна **Редактор сечений** APM Graph, в поле которого следует изобразить контур сечения.

Создать чертеж поперечного сечения поперечное сечение можно несколькими способами, которые перечислены в гл. 2, п. 3.1.1:

- построить в редакторе поперечных сечений APM Graph;
- открыть файл редактора поперечных сечений с расширением **\*.wcr** (команда меню **Файл/Загрузить...**);
- импортировать в редактор поперечных сечений файл собственного формата модуля APM Graph с расширением **\*.agr** или сторонний файл формата **\*.dxf** (команда меню **Файл/Импорт...**);
- импортировать сечение в режиме  **Вставка блока** из библиотеки простых блоков APM Graph **\*.agl** или параметрических моделей **\*.agr** (команда **Файл/Рисовать/Блок/Вставить блок**);
- импортировать параметрическую модель сечения из базы данных APM Base, нажав кнопку  панели инструментов **Рисование** (команда **Файл/Рисовать/Блок/Вставить объект из базы данных**).

В рассматриваемом случае в качестве поперечного сечения используется стандартный профиль, поэтому целесообразно вставить его контур из базы данных. Для этого переходим в режим вставки объекта из базы данных нажатием одноименной кнопки  панели инструментов **Рисование** (команда **Рисовать/Блок/Вставить объект из базы данных**). После этого в дополнительном окне, находящемся в левой части окна редактора сечений, откроется дерево базы данных, сформированное предыдущими обращениями к базе, причем не обязательно из модуля APM Beam. Если к текущему моменту обращений к базе данных еще не было и дерево пусто, нажмите на панели **Инструменты** кнопку  **Менеджер баз данных** (команда **Инструменты/Менеджер баз данных...**) и в открывшемся диалоговом окне (рис. 3.3) отметьте флажком одну или несколько баз данных, в которых находятся необходимые параметрические библиотеки сечений. Библиотеки стандартных сечений расположены в разделе **Сортаменты** в следующих базах данных, поставляемых с системой APM Civil Engineering 2010:

- **Section Data** (База данных Сечения):  
C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\APM Civil Engineering\DataBase\APM Section Data
- **Mechanical Data** (Механическая база данных):  
C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\APM Civil Engineering\DataBase\APM Mechanical Data

**Замечание.** Если список не содержит необходимых баз данных, их можно добавить, нажав соответствующую кнопку диалогового окна (см. рис. 3.3) и указав путь к нужным базам. Перед тем как внести базу в список **Менеджер баз данных**, необходимо в проводнике Windows выбрать команду меню **Сервис/Свойства папки** и установить переключатель **Скрытые файлы и папки** вкладки **Вид** появившегося диалогового окна в положение **Показывать скрытые папки и файлы**, т.к. папка **Application Data** является скрытой.

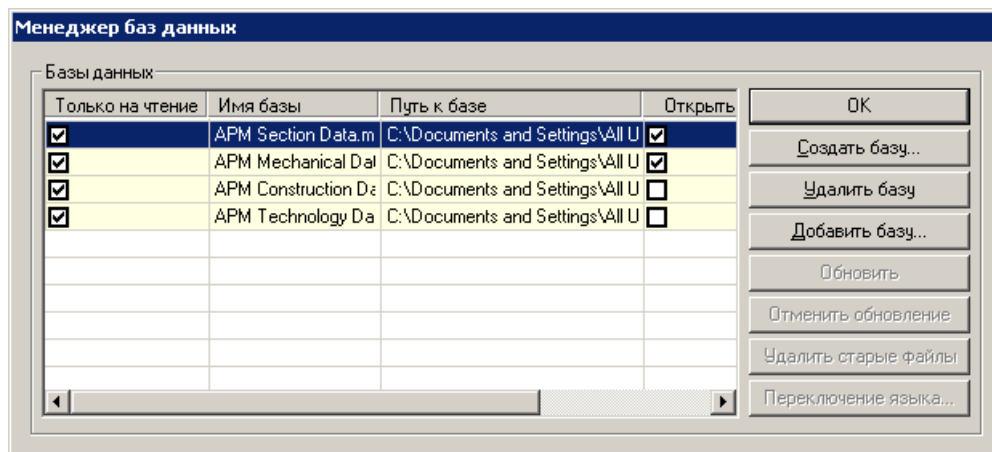


Рис. 3.3. Диалоговое окно **Менеджер баз данных**

Выбираем в разделе **Сортаменты/Горячекатаный двутавр (ГОСТ 8239-89)** параметрическую модель сечения **Разрез**, выделив ее на дереве базы данных (рис. 3.4). При этом в окне **Данные** в виде таблицы отображается номенклатурный ряд геометрических параметров выделенной модели. Выберите из списка двутавр высотой сортамента  $h = 120$  мм (что соответствует требованию по условию двутавру №12) и нажмите кнопку **OK** окна **Данные**. Эти действия приведут к закрытию окна **Данные** и появлению диалогового окна с переменными рассматриваемой параметрической модели (рис. 3.5). Значение любой из переменных может быть изменено, однако делать это для стандартных сечений **НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ**. Нажатием кнопки **OK** закрываем окно **Переменные** и переходим в режим вставки параметрической модели в поле редактора.

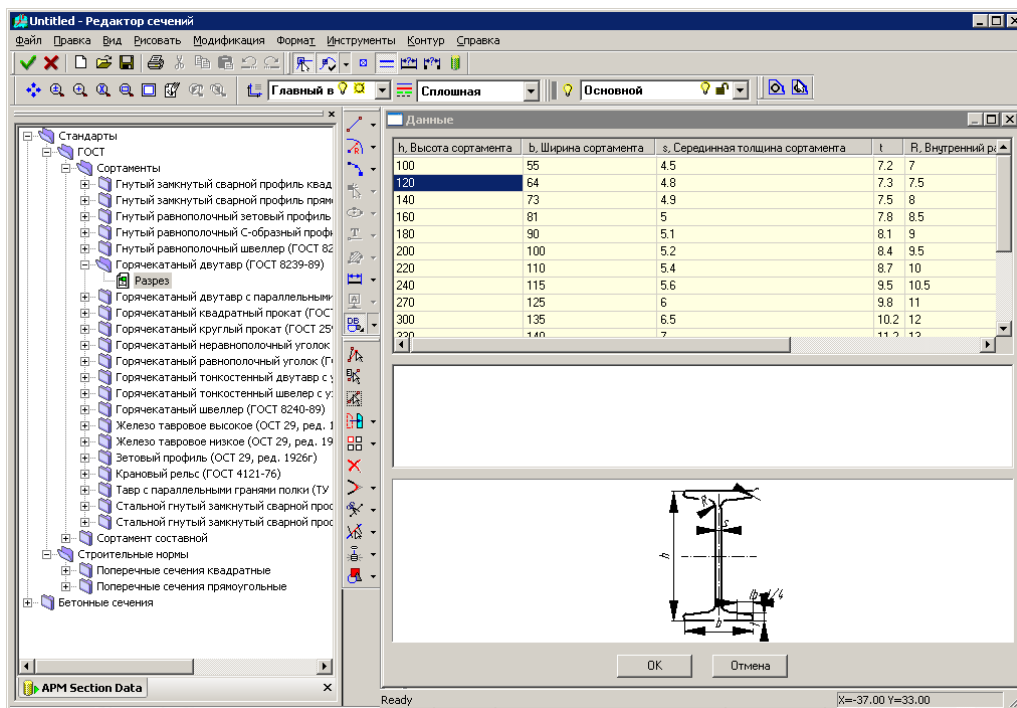


Рис. 3.4. Диалоговые окна **База данных** и **Данные**

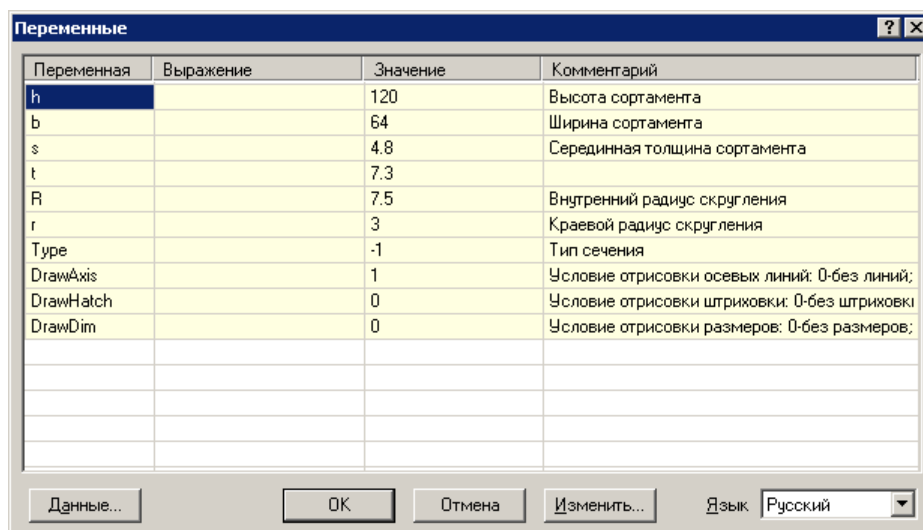


Рис. 3.5. Диалоговое окно **Переменные**

Вставка параметрической модели в поле редактора осуществляется последовательно в три этапа. После завершения предыдущего этапа программа автоматически переходит к выполнению следующего.

1) *Указание базовой точки.* Отметьте указателем мыши произвольную точку рабочего поля редактора — она будет являться базовой для вставки чертежа сечения. Если необходимо задать ее точные координаты, нажмите любую клавиатурную клавишу, например **Пробел**, что приведет к появлению диалогового окна ввода координат базовой точки с клавиатуры.

2) *Задание масштабного коэффициента.* Если нажать клавишу **Enter**, то произойдет вставка параметрической модели в масштабе 1x1. Для ввода с клавиатуры значения отличного от единицы масштабного коэффициента нажмите **Пробел**.

3) *Задание угла наклона сечения.* Нажатие клавиши **Enter** приведет к вставке параметрической модели с углом наклона 0, что соответствует положению сечения в окне **Данные** (см. рис. 3.4). Для ввода иного угла наклона сечения вызовите соответствующий диалог, нажав клавишу **Пробел**.

Завершаем создание поперечного сечения активацией команды **Расчленить блок** панели инструментов **Модификация** (команда **Модификация/Расчленение блока**) и щелчком левой кнопкой мыши в произвольной точке чертежа сечения.

Сохранение файла поперечного сечения может быть осуществлено на любом этапе его создания. Для сохранения созданного чертежа поперечного сечения нажмите кнопку **Сохранить** на панели инструментов **Файл** либо выберите команду **Файл/Сохранить**. Файл поперечного сечения можно сохранить с расширением \*.wsg или \*.agr.

## 2.2. Выделение внешнего и внутренних контуров

Для того чтобы подготовленный чертеж стал поперечным сечением, в нем необходимо выделить внешний и внутренние контуры. С этой целью панель **Контур** содержит специальные кнопки — **Простой контур** (команда **Контур/Простой контур**) и **Набираемый контур** (команда **Контур/Набираемый контур**). После нажатия кнопки **Простой контур** следует щелкнуть сначала на любом из элементов наружного контура, а затем на каждом из внутренних контуров (если они есть). Замкнутые контуры при этом окрашиваются в синий цвет. После выделения всех контуров нужно нажать кнопку **ОК** открывшегося диалогового окна **Выбор контура** (можно также нажать правую кнопку мыши или клавишу **Пробел** на клавиатуре). При этом область между выделенными контурами, т. е. собственно поперечное сечение, окрасится в серый цвет (рис. 3.6).

**Замечание.** Подчеркнем, что выделить можно только замкнутые контуры. При неоднозначности определения замкнутости целесообразно воспользоваться режимом **Набираемый контур**.

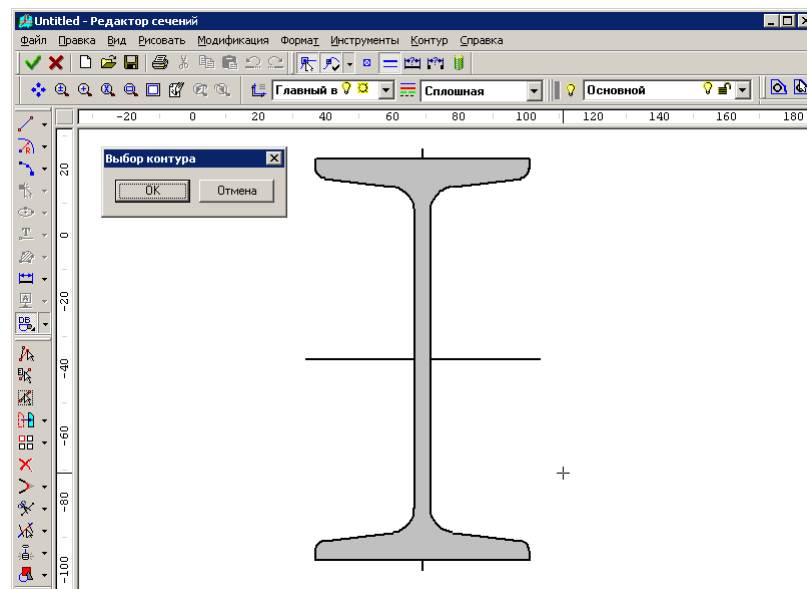


Рис. 3.6. Задание контура сечения

### 2.3. Расчет параметров созданного поперечного сечения

Для завершения создания поперечного сечения нажимаем кнопку **Ок** (меню **Файл/Ок**), после чего программа производит расчет параметров поперечного сечения. Если в выполнении расчета нет необходимости, нажмите кнопку **Отмена** (меню **Файл/Отменить**), что вызовет закрытие окна редактора.

### 2.4. Присвоение балочному элементу заданного поперечного сечения

После того как расчет параметров поперечного сечения завершится, изображение созданного сечения появится в поле диалогового окна **Сегмент балки**. Нажав кнопку **Параметры сечения** этого окна, можно визуализировать значения параметров поперечного сечения сегмента в открывшемся диалоговом окне **Результаты**. Нажатием кнопки **Ок** диалогового окна **Сегмент балки** сегменту балки присваивается это поперечное сечение. В основном окне редактора появится схематическое изображение сегмента балки, поперечные размеры которого соответствуют реальным размерам поперечного сечения.

## 3. Закрепление модели с помощью опор

Для перехода в режим установки опор нажимаем кнопку **Опора** (меню **Задать/Опора**) и в открывшемся диалоговом окне **Редактирование опоры** (рис. 3.7) выбираем тип устанавливаемой опоры из выпадающего списка **Тип**. Могут быть установлены следующие типы опор:

- неподвижная жесткая опора ;
- подвижная жесткая опора ;
- упругая опора .

В рассматриваемом случае для установки левой опоры (точка А) выбираем тип **Неподвижная жесткая опора** , а в поле ввода **Расположение, мм** записываем 0.

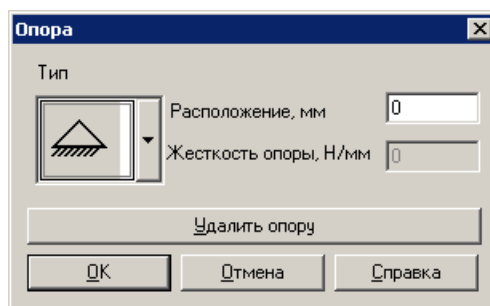



Рис. 3.7. Диалоговое окно **Опора**

Аналогичным образом устанавливаем подвижные жесткие опоры в точках В и С.

Для редактирования существующей опоры следует после перехода в режим создания опоры щелкнуть на ней правой кнопкой мыши.

#### 4. Моделирование схемы нагружения балки силовыми факторами

##### 4.1. Поперечные силы

По условию на балку действует поперечная сила величиной 30 кН. Для моделирования этой силы нажимаем кнопку  **Радиальная сила** (меню **Задать/Радиальная сила**) и в открывшемся диалоговом окне **Поперечная сила** (рис. 3.8) указываем параметры и обозначение силы, а именно:

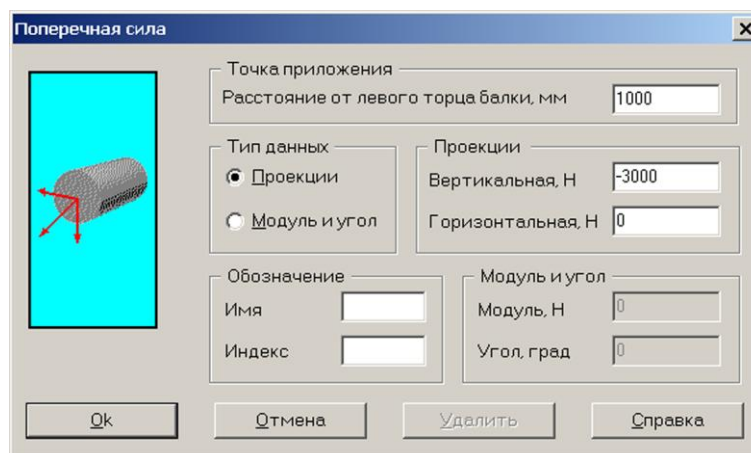


Рис. 3.8. Диалоговое окно **Поперечная сила**


1) Для фиксации точки приложения силы в поле ввода **Расстояние от левого конца балки, мм** вводим число 1000.

2) Величину суммарной поперечной силы можно задавать либо ее модулем и направлением (выбрать **Тип данных** — **Модуль и угол**), либо величинами проекций (выбрать **Тип данных** — **Проекция**); в рассматриваемом примере выбираем тип данных **Проекция** и записываем в соответствующие поля ввода следующие величины:

- **Вертикальная, Н** — -30000 (поскольку сила направлена вниз);
- **Горизонтальная, Н** — оставляем пустым;
- **Имя** — можно оставить пустым;
- **Индекс** — можно оставить пустым.

Если при визуализации изображения силы обнаружится, что оно имеет противоположное заданной расчетной схеме направление (см. рис. 3.1), вызовите соответствующее окно щелчком правой кнопки мыши и измените знак силового фактора.

##### 4.2. Распределенные силы

Для задания распределенной силы нажимаем кнопку  **Распределенная сила** (меню **Задать/Распределенная сила**) и в открывшемся диалоговом окне **Распределенная сила** (рис. 3.9) указываем границы и величину распределенной силы. Рассмотрим задание распределенной силы величиной 30 кН/м.

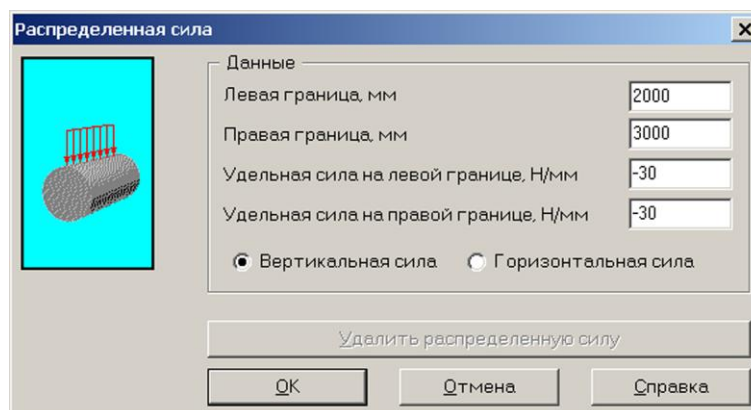


Рис. 3.9. Диалоговое окно **Распределенная сила**

1) Для фиксации точки приложения силы:

- в поле ввода **Левая граница, мм** записываем 2000;
- в поле ввода **Правая граница, мм** записываем 3000.

2) Для задания величины распределенной силы:

- в поле ввода **Удельная сила на левой границе, Н/мм** записываем -30 ( $30 \text{ кН/м} = 30 \text{ Н/мм}$ );
- в поле ввода **Удельная сила на правой границе, Н/мм** записываем -30 (направление силы – сверху вниз);

Переключатель **Вертикальная/Горизонтальная сила** следует установить в положение **Вертикальная сила**.

Если при визуализации изображения силы обнаружится, что оно имеет противоположное заданной расчетной схеме направление (см. рис. 3.1), вызовите соответствующее окно щелчком правой кнопки мыши и измените знак силового фактора. Для вызова режима редактирования вертикальной силы достаточно просто щелчка на ней правой кнопки мыши, а для редактирования горизонтальной силы необходимо одновременно нажать правую кнопку мыши и клавишу **Shift** на клавиатуре.

## 5. Присвоение параметров материала балки

Для присвоения балочному элементу параметров материала либо нажимаем кнопку **М** **Материал** (меню **Материал/Материал...**) и в открывшееся диалоговое окно **Материал** заносим параметры материала балки, либо выбираем марку материала из базы данных, которая вызывается нажатием кнопки **База данных....** На этом подготовка модели к расчету завершается (рис. 3.10).

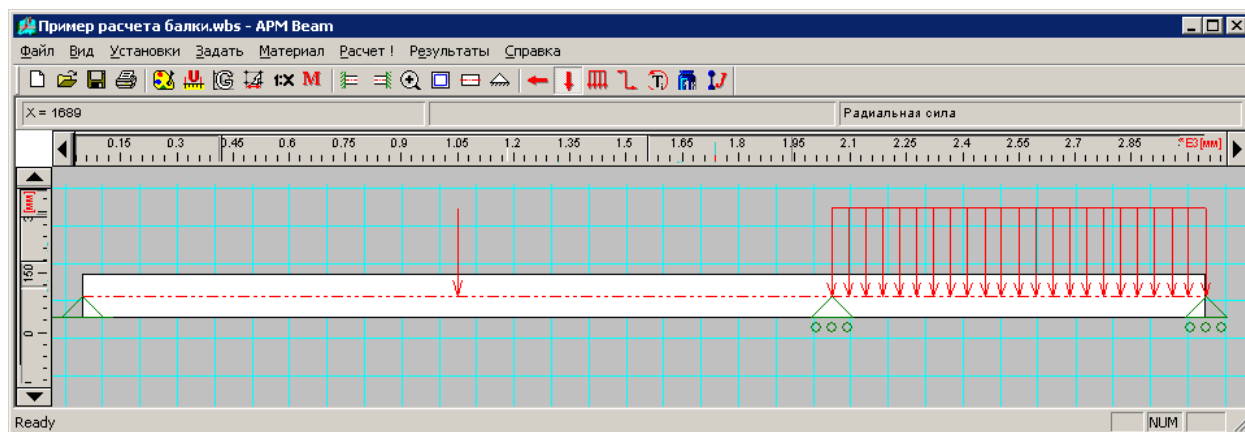


Рис. 3.10. Расчетная модель балки с нагрузками

## 6. Выполнение расчета

Для запуска на расчет выбираем команду **Рассчитать!**, в открывшемся диалоговом окне **Выбор типа расчета** выбираем **Статический расчет** и нажимаем кнопку **Ок**.

## 7. Просмотр и вывод результатов расчета на печать

Для просмотра графического представления результатов расчета выбираем в меню **Результаты** пункт **Графики...**, а в открывшемся вслед за этим окне **Выбор результатов расчета** — необходимый для просмотра график. Если отметить флажком опцию **Рисовать балку**, то эпюры силовых факторов будут изображены на фоне схематического изображения балки. Примеры эпюр изгибающих моментов в вертикальной плоскости и эквивалентных напряжений приведены на рис. 3.11 и рис. 3.12.

Полученное в результате расчета значение максимального эквивалентного напряжения составляет 180 МПа. Это меньше расчетного сопротивления  $R_y$ , которое согласно таблице **В.5 СП 53-102-2004 «Общие правила проектирования стальных конструкций»** для материала С235 составляет 230 МПа. Коэффициент запаса прочности равен  $230/180 = 1,28$ .



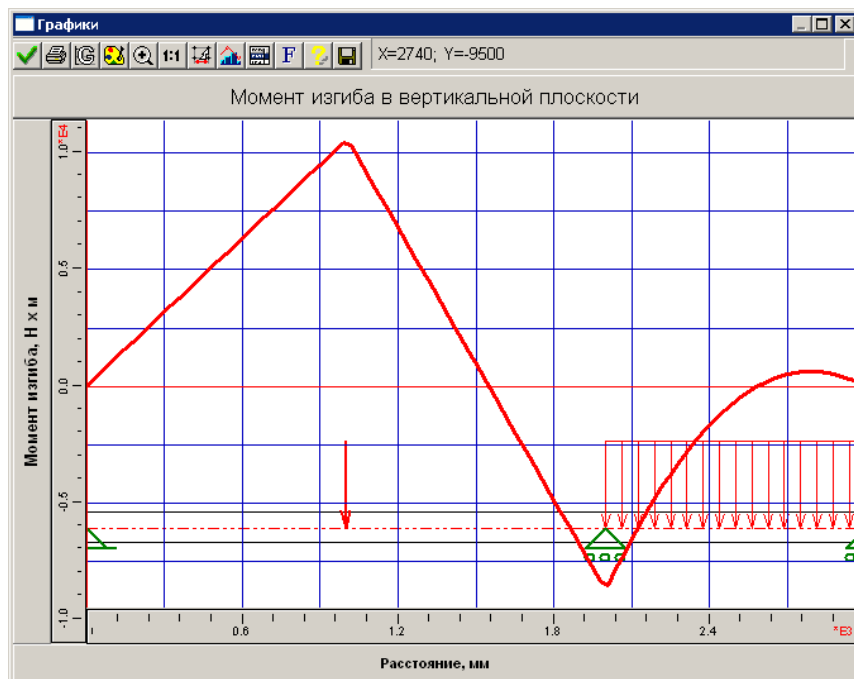


Рис. 3.11. Эпюра моментов в вертикальной плоскости

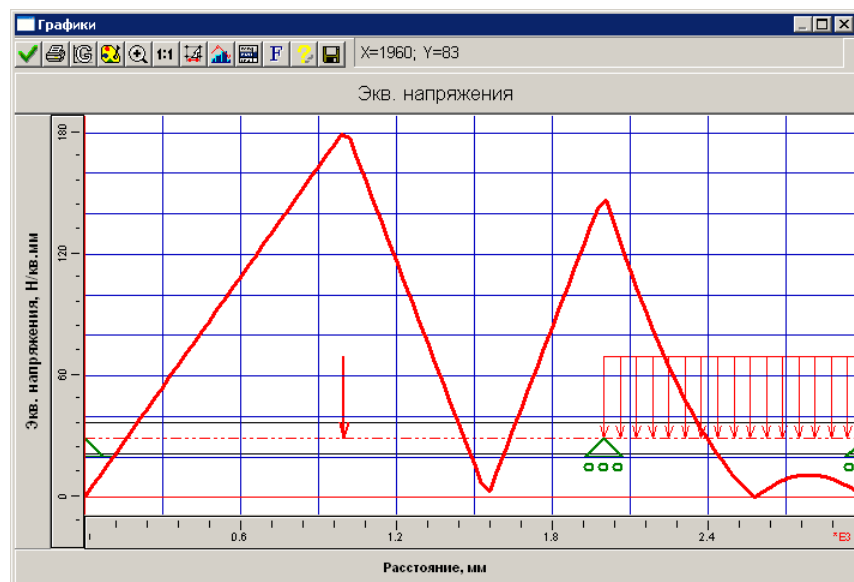


Рис. 3.12. Эпюра эквивалентных напряжений

Для визуализации напряжений в поперечном сечении балки выбираем меню **Результаты/Напряжения в сечении** и отмечаем указателем мыши нужное сечение. После этого откроется окно **Карта напряжений**, в котором показано распределение напряжений в выбранном сечении балки в соответствии с цветовой шкалой (рис. 3.13). При перемещении указателя мыши по поперечному сечению в строке состояния отображаются его координаты и величина эквивалентных напряжений на конкретном конечном элементе поперечного сечения.



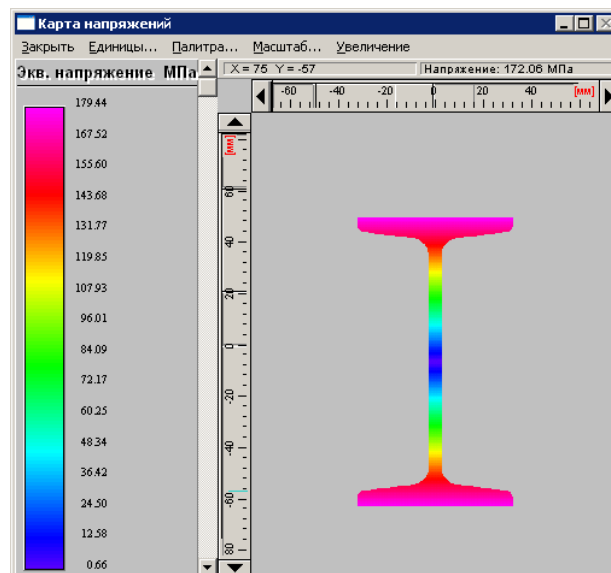



Рис. 3.13. Карта эквивалентных напряжений в сечении

Для вывода результатов расчета на печать нажмите в основном окне программы кнопку  **Печать** (меню **Файл/Печать...**), затем в открывшемся стандартном окне **Печать** выберите один из установленных принтеров и произведите печать. Исходные данные и результаты расчета можно вывести в текстовый файл формата **\*.rtf**, доступный для дальнейшего чтения большинством современных текстовых редакторов. Для вывода результатов в формат **\*.rtf** следует выбрать в меню **Файл/Сохранить** тип файла **\*.rtf** и сохранить его в этом формате.