

В. В. Шелофаст, А. А. Замрий, С. М. Розинский
Д. В. Шанин, А. В. Алехин

Практический учебный курс
CAD/CAE система APM WinMachine

Учебно – методическое пособие

Москва
Издательство АПМ
2013

УДК 621.81.(075.8)

ББК 34.42Я73

З 44

В настоящем издании приведена программа курса обучения системе APM WinMachine, примеры решения типовых задач, а также задачи для самостоятельного решения.

Практический учебный курс рассчитан на пользователей системы APM WinMachine, прошедших обучение работе с ней и применяющих ее модули в повседневной практике проектирования.

Шелофаст В. В., Замрий А. А., Розинский С. М., Шанин Д. В., Алехин А. В.

З 44 Практический учебный курс. CAD/CAE система APM WinMachine. Учебно – методическое пособие — М: Издательство АПМ. 2013. — 144 с.

ISBN 978-5-901346-10-5

УДК 621.81. (075.8)

ББК 34.42Я73

© Замрий А. А.

ISBN 978-5-901346-10-5 © Издательство АПМ, 2013

Глава 1. Создание параметрической модели в редакторе APM Graph

Общий порядок создания модели

1. Составление плана построения модели.
2. Ввод переменных.
3. Графическое задание последовательности команд, ведущих к построению модели, и их параметризация.
4. Проверка корректности работы построенной модели.
5. Задание базовой точки модели.

Задача

Создать параметрическую модель полосы с отверстиями, изображенную на рис. 1.1.

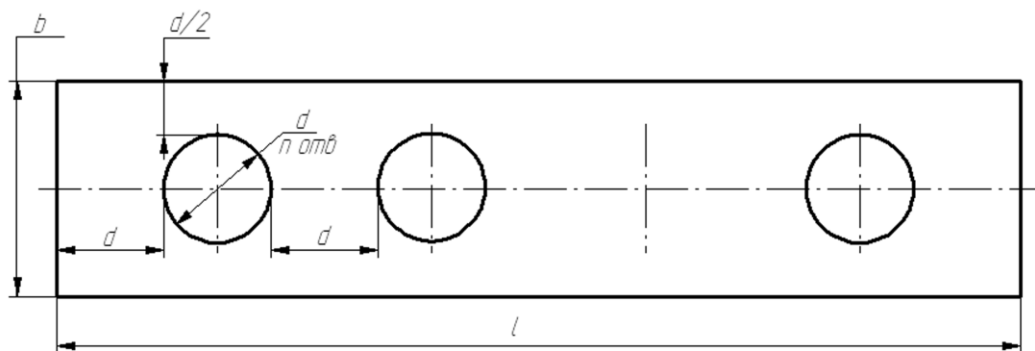


Рис. 1.1

Модель полосы должна содержать n отверстий диаметра d , равномерно расположенных по длине полосы; длина l и ширина полосы b зависят от количества отверстий и их диаметра (см. рис. 1.1).

Число отверстий n и их диаметр d являются независимыми переменными, а длина l и ширина полосы b — зависимыми.

Решение

При создании параметрической модели рекомендуется придерживаться определенных правил и последовательности действий, для того чтобы достигнуть желаемого результата с наименьшей затратой усилий. Рассмотрим эти правила с краткими пояснениями.

- **Заранее продумайте порядок создания конкретной модели.** Все команды, которые использовались при создании модели, документируются, следовательно, если какой-либо объект был создан ошибочно и затем удален, то все относящиеся к этому процессу команды тем не менее войдут в список команд. Очевидно, что модель в этом случае получится явно неоптимальной.

- **В качестве начальной точки при создании модели желательно использовать точку с координатами (0, 0).** При таком выборе начальной точки выражения, описывающие те или иные параметры объектов, получаются более компактными.

- **Желательно параметризовать каждую команду сразу же после ее выполнения.** Другими словами, сразу же после того, как был создан какой-либо объект параметрической модели, нужно, не создавая другой объект, поставить в соответствие его параметрам выражение, состоящее из переменных. При этом появляется возможность визуально убедиться в том, что объект создан корректно, поскольку если при его создании была допущена ошибка, то это сразу же станет заметно.

Если же создать сразу несколько объектов, а потом приступить к процедуре их параметризации, то найти ошибку будет значительно сложнее, т. к. придется отслеживать все выполненные шаги.

Исключение из этого правила может быть сделано при последовательном построении цепочки объектов, например, отрезков, у которых начало каждого последующего отрезка совпадает с концом предыдущего. В этом случае дополнительную привязку к контрольным точкам введенного отрезка выполнять не нужно.


1. План построения модели.

- Указываем начальную точку — центр первой (левой) окружности, и создаем окружность с центром в начальной точке.
- Проводим вертикальную осевую линию отверстия.
- С помощью четырех отрезков создаем внешний замкнутый прямоугольный контур полосы, начиная с левого верхнего угла.
- Проводим общую осевую линию симметрии полосы.
- Создаем прямоугольный массив, состоящий из отверстий.

2. Ввод переменных.

Для перехода в режим создания параметрической модели выбираем в меню **Файл** пункт **Создать модель**.

Вначале вводятся независимые, а затем зависимые переменные. Делается это следующим образом.

Прежде всего на панели инструментов **«Параметризация»** кнопку **«Вызов диалогового окна задания переменных»**  (меню **Параметризация/Переменные...**) для вызова диалогового окна **«Переменные»** (рис. 1.2), поля ввода которого перед началом задания переменных пусты.

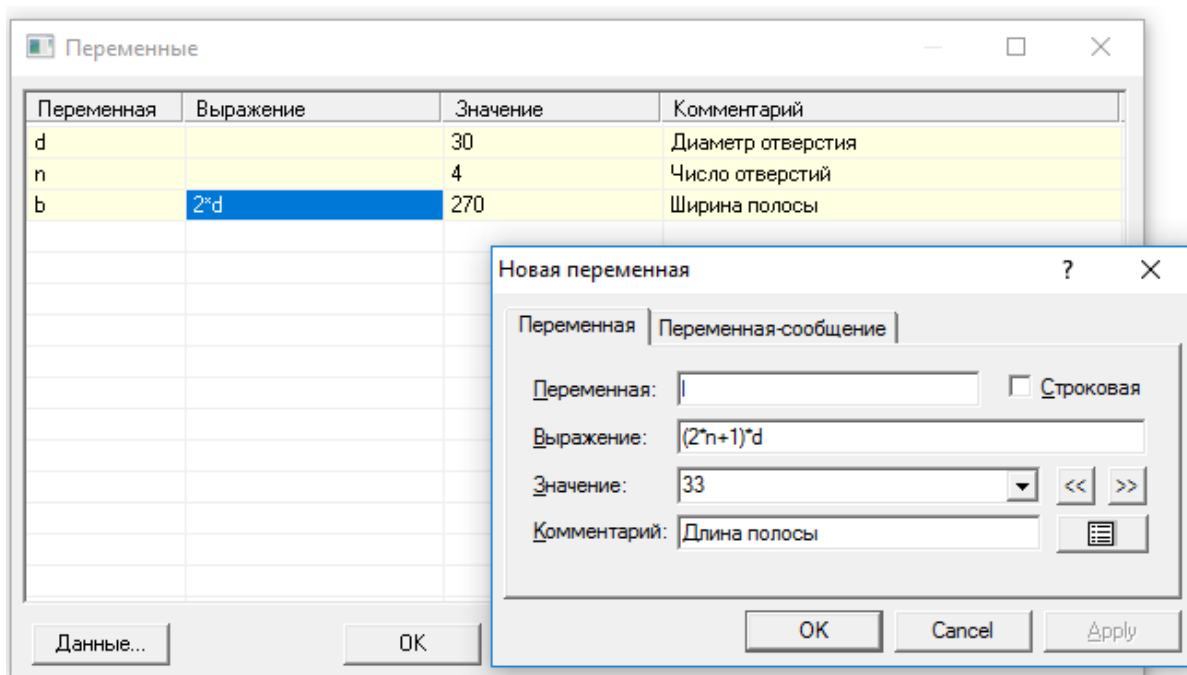


Рис. 1.2


После нажатия кнопки «Добавить» откроется новое диалоговое окно «Переменная». В поля ввода этого диалога записываем характеристики задаваемой переменной.


- В поле ввода «Переменная» записываем имя переменной, которое должно начинаться с буквы латинского алфавита и может содержать цифры.
- В поле ввода «Выражение» следует записать математическое выражение, которое будет использоваться для вычисления этой переменной. Для независимой переменной это поле ввода остается пустым.
- В поле ввода «Значение» задается числовое значение, которое принимает эта переменная. Это поле обязательно к заполнению для любой переменной.
- В поле ввода «Комментарий» при необходимости записываются комментарии к данной переменной.

Ввод переменных заканчивается нажатием кнопки «ОК».

3. Графическое задание последовательности команд, ведущих к построению модели, и их параметризация.

На этом этапе реализуется намеченный выше (п. 1) порядок построения модели.

- а) **Создание окружности и ее параметризация.** Нажимаем кнопку «По центру и радиусу»  на панели инструментов «Рисование» (меню Рисовать/Окружность/Центр и радиус) и создаем окружность произвольного радиуса в произвольном месте поля чертежа. Затем нажимаем на панели инструментов «Параметризация» кнопку «Вызов диалогового окна парамет-

рических команд»  (меню **Параметризация/Команды...**), вызывая тем самым диалоговое окно «Список параметрических команд» (рис. 1.3).

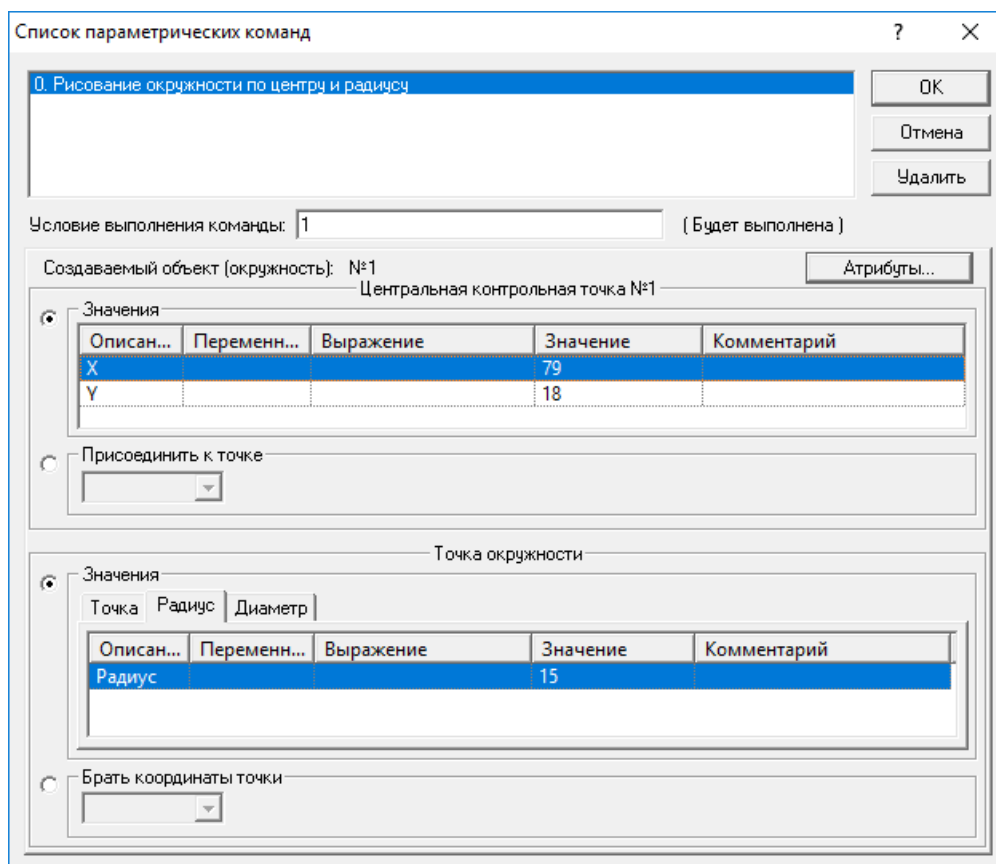


Рис. 1.3

В верхней части этого диалога находится список параметрических команд, выполненных пользователем к текущему моменту.

В центральной и нижней частях окна находятся группы параметров *Центральная точка № 1* и *Точка окружности*. Рассмотрим их более подробно.

- При построении окружности по центру и радиусу, как в рассматриваемом случае, первым шагом является определение координат точки центра окружности. С этой целью в группе параметров *Центральная точка № 1* задаем положение центра окружности, установив переключатель в положение *Значения*. В столбцах таблицы этой группы записаны текущие координаты начальной точки центра окружности.

Если необходимо отредактировать какой-либо параметр, нужно вначале выбрать соответствующую строку однократным щелчком левой кнопки мыши, а затем сделать на ней двойной щелчок левой кнопкой мыши (или нажать клавишу **Enter** или **Пробел** на клавиатуре) и записать нужные значения в поля ввода открывшегося диалогового окна с названием этого параметра (рис. 1.4).

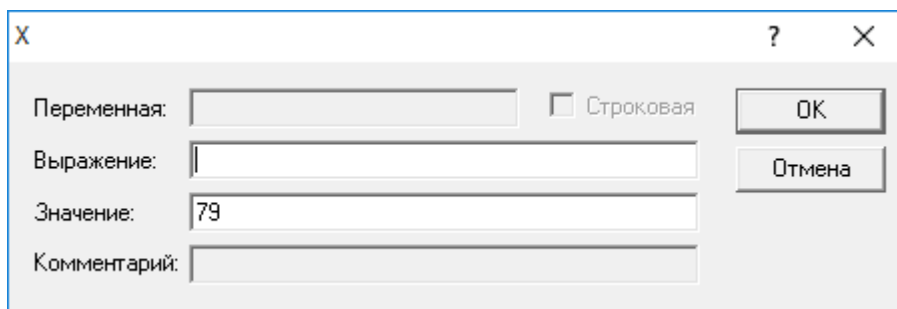


Рис. 1.4

В том случае, если требуется вычислить рассматриваемый параметр, то необходимо ввести в поле ввода «**Выражение:**» его аналитическое выражение. Если же параметр имеет постоянное значение (как в нашем случае), то это значение нужно записать в поле ввода «**Значение:**», оставив поле ввода «**Выражение:**» пустым.

Поле ввода «**Переменная:**» используется для задания дополнительной переменной, которая будет описываться аналитическим выражением, введенным в поле ввода «**Выражение:**». По умолчанию поле ввода «**Переменная:**» неактивно.

Поле ввода «**Комментарий**» соответствует аналогичному полю ввода в окне «**Переменная**» (см. рис. 1.2) и может либо заполняться, либо оставаться пустым.

В рассматриваемом случае в качестве начальной принята точка с координатами $(0, 0)$, следовательно, текущее значение координаты центра окружности X нужно изменить на нулевое. Аналогично приравняем нулю и координату Y .

- Переходим к определению значения радиуса окружности. Сделать это можно с помощью группы параметров *Точка окружности* (см. рис. 1.3). В этой группе параметров есть три вкладки, позволяющие тремя разными способами определить радиус окружности:


- с помощью вкладки «**Точка**» можно задать координаты одной из точек окружности аналогично заданию координат центральной точки окружности;
- на вкладке «**Радиус**» можно в явном виде задать значение радиуса окружности;
- на вкладке «**Диаметр**» можно в явном виде задать значение диаметра окружности.

В рассматриваемом случае, поскольку в качестве переменной выступает значение диаметра окружности d , удобнее воспользоваться вкладкой «**Диаметр**». При этом аналитическое выражение для вычисления параметра будет наиболее простым. Перейдя в эту вкладку, записываем в поле ввода «**Выражение:**» открывшегося диалогового окна «**Диаметр**» значение параметра d , оставляя в поле ввода «**Значение**» то число, которое там уже имеется.

На этом параметризация создаваемой окружности заканчивается, и после нажатия кнопки «**ОК**» в диалоговом окне «**Список параметрических команд**» (см. рис. 1.3) эта окружность

должна отобразиться в соответствии с введенными параметрами. Если при проведении процедуры параметризации была допущена ошибка, то, скорее всего, она станет заметна при отрисовке.

б) **Вертикальная осевая линия созданной окружности.** Это отрисованный линией типа *Осевая* вертикальный отрезок, проходящий через центр окружности и выступающий за ее контур сверху и снизу на 3 мм.

Выбираем режим задания отрезка, нажимаю кнопку «**Через 2 точки**»  на панели инструментов «**Рисование**» (меню **Рисовать/Отрезок/Через 2 точки**) и строим отрезок сверху вниз таким образом, чтобы он был близок к требуемому, а затем приступаем к параметризации этого отрезка.

В диалоговом окне «**Список параметрических команд**» выбираем из списка параметрических команд «*Рисование отрезка через две точки*». Объект чертежа, к которому относится данная команда, выделится малиновым цветом. Это можно увидеть, если диалоговое окно «**Список параметрических команд**» несколько сдвинуть в сторону (рис. 1.5).

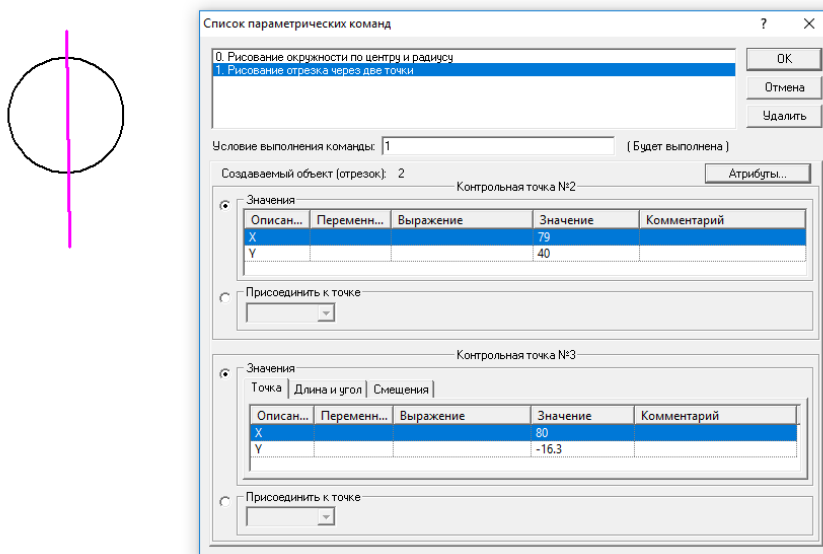


Рис. 1.5

Параметризация введенного отрезка включает в себя:

- Изменение типа линии отрезка.

Для этого нужно нажать в поле окна кнопку «**Атрибуты**» и выбрать тип линии *Осевая*.

При необходимости можно выбрать другой слой.

- Задание координат *Контрольной точки № 2* (верхняя точка) отрезка.

– Координаты этой точки, а именно $X = 0$, $Y = d/2+3$, задаются относительно начальной точки $(0, 0)$, являющейся центром окружности. Аналитическое выражение (Y) вводим в поле ввода «**Выражение:**», а числовое значение (X) — в поле ввода «**Значение:**».

– Задание положения второй *Контрольной точки № 3* (нижней) отрезка.

Координаты этой точки удобнее вводить на вкладке «*Длина и угол*». Длина равна $L = d+6$, а угол — $A = 270^\circ$.

Нажав кнопку «**ОК**» диалогового окна «**Список параметрических команд**», убеждаемся, что все сделано верно: вертикальная осевая линия окружности должна изобразиться в поле чертежа без ошибок.

с) **Создание внешнего замкнутого прямоугольного контура полосы.**

Начинаем построение с левого верхнего угла полосы.

- Создаем верхний горизонтальный отрезок, определяющий длину полосы. Его, как и отрезок вертикальной осевой линии, нужно строить по двум точкам. Первая (левая) точка имеет координаты $X = -3*d/2$; $Y = d$. Координаты левой точки отрезка легко можно определить из рис. 1.1.

Вторую точку отрезка задаем на вкладке «*Длина и угол*». Длина равна $L = l$, а угол — $A = 0^\circ$.

- Затем рядом строим произвольно правый вертикальный отрезок. Он должен присоединиться к концу предыдущего отрезка. Поэтому начальную точку этого отрезка задаем не координатами, а указанием контрольной точки, к которой он будет присоединен. Для этого ставим переключатель в положение *Присоединить к точке* и, нажав стрелку выпадающего списка, выбираем нужную контрольную точку объектов и их расположение на чертеже (рис. 1.6). Присоединяем начальную точку создаваемого отрезка к контрольной точке № 5.

Положение второй точки отрезка задаем по длине и углу. Длина будет равна $L = b$, а угол — $A = 270^\circ$.

- Два последующих отрезка, замыкающих внешний контур полосы, создаем в один прием, используя привязку к уже имеющимся контрольным точкам других отрезков.

Для параметризации нижнего горизонтального отрезка достаточно задать только его длину ($L = l$) и угол ($A = 180^\circ$), а последний, левый отрезок уже будет привязан к двум точкам, поэтому в его параметризации нет необходимости.

После этих построений на экране монитора должен появиться прямоугольный контур полосы с одним (левым) отверстием.

d) **Построение общей горизонтальной линии симметрии полосы.**

Эта линия должна быть штрих-пунктирной и выступать за пределы контура полосы и слева и справа на 5 мм.

Создаем такую осевую линию по аналогии с вертикальной осевой линией окружности. Первая (левая) точка имеет координаты $X = -3*d/2-5$, $Y = 0$; длина отрезка равна $L = l+10$, а угол — $A = 0^\circ$.

Затем нажимаем в поле окна кнопку «Атрибуты» и выбираем тип линии *Осевая*. При необходимости можно выбрать другой слой.

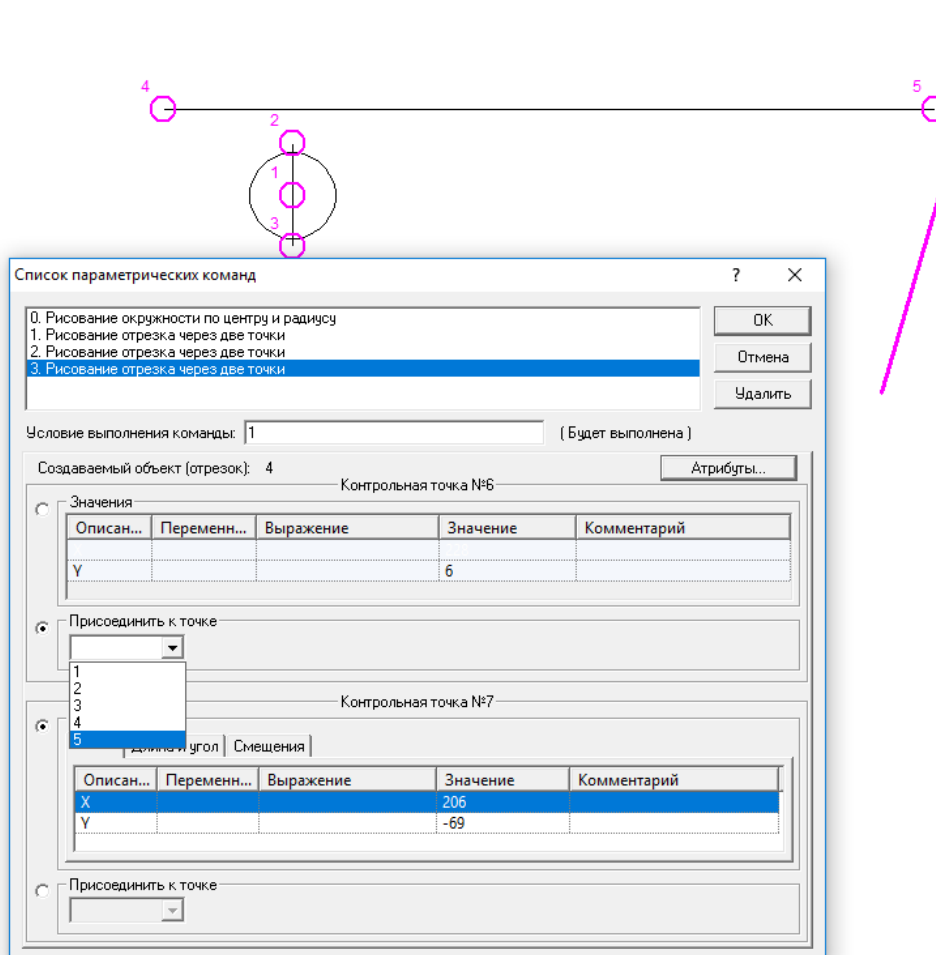


Рис. 1.6

е) Создание прямоугольного массива, состоящего из одной строки и n столбцов.

При создании любого массива необходимо ввести конкретное число его строк и столбцов, которым после параметризации команды ставится в соответствие какое-либо аналитическое выражение. В рассматриваемом примере массив имеет одну строку, а количество столбцов равно числу отверстий. Пусть полоса содержит три отверстия, тогда массив будет состоять из трех столбцов. Объектами массива, т. е. примитивами, из которых и создаются элементы массива, являются *окружность* и *вертикальная осевая линия*. Базовая точка перемещения — центр окружности с координатами $(0, 0)$.

Итак, производим операцию создания прямоугольного массива и приступаем к ее параметризации. При параметризации этой команды имеются некоторые особенности (рис. 1.7).

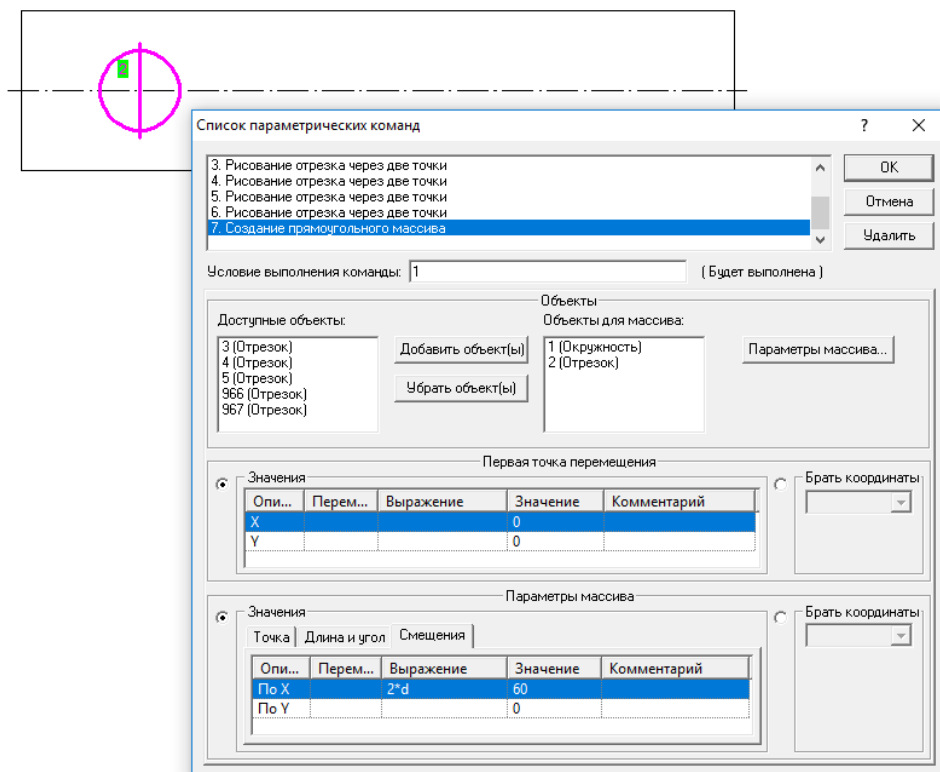


Рис. 1.7

Прежде всего, с помощью элементов группы параметров *Объекты* диалогового окна «Список параметрических команд» нужно уточнить, из каких именно объектов будет формироваться массив. В списке *Доступные объекты* указываются те объекты модели, которые доступны для создания массива, а в список *Объекты для массива* помещаются те объекты, из которых этот массив формируется.

С помощью кнопок «Добавить объект(ы)» и «Убрать объект(ы)» можно либо добавлять объекты в создаваемый массив, либо удалять их из массива.

Для ввода числа строк и столбцов нажимаем кнопку «Параметры массива» и в поля ввода открывшегося одноименного диалогового окна вводим число строк и столбцов массива.

В полях группы параметров *Первая точка перемещения* указываются параметры базовой точки перемещения. Можно задать или координаты базовой точки — переключатель находится в положении *Значения*, или выбрать привязку к одной из контрольных точек — переключатель в положении *Брать координаты*.

В полях группы *Параметры массива* нужно указать вторую точку смещения. Сделать это можно, задав ее координаты или длину и угол отрезка (можно также задать смещение по осям

координат). В рассматриваемой задаче задаем *смещение* по оси X, равное $2 \cdot d$, оставив смещение по Y равным нулю.


После выполнения этой команды получаем корректно созданную параметрическую модель.

4. Проверка корректности работы построенной модели.

Для проверки корректности работы построенной модели нужно открыть список всех ее переменных и изменить их (в разумных пределах), проверяя, как созданная параметрическая модель обрабатывает эти изменения. Если при создании модели была допущена ошибка, то ее таким образом легко заметить и исправить, вернувшись к списку параметрических команд.

5. Задание базовой точки модели.

Положение базовой точки определяет удобство последующего встраивания созданной параметрической модели в чертеж, поэтому важно корректно задать эту точку. Если положение базовой точки не задавать, то по умолчанию ее координаты будут равны (0, 0), что не всегда удобно.

Для задания положения базовой точки следует нажать на панели инструментов «Параметризация» кнопку «Задание базовой точки параметрической модели»  (меню **Параметризация/Базовая точка...**), после чего откроется диалоговое окно «Базовая точка» (рис. 1.8).

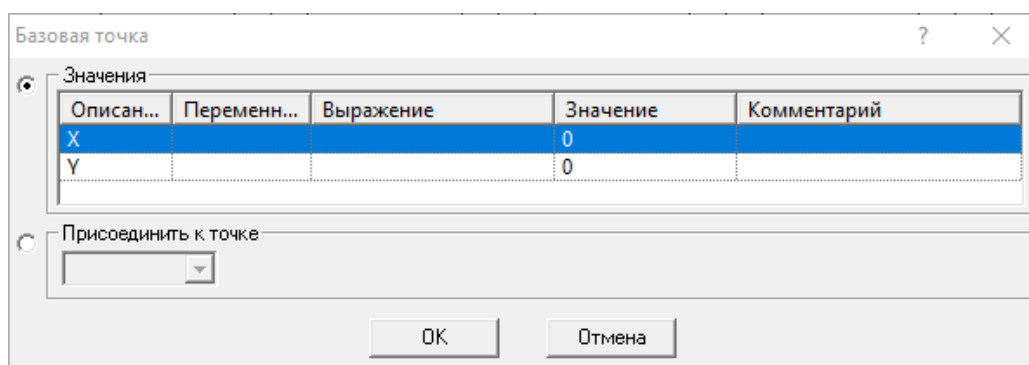


Рис. 1.8

Положение базовой точки задается значением ее координат, в том числе и аналитическим выражением (переключатель стоит в положении *Значения*), или положением какой-либо контрольной точки модели. В последнем случае переключатель устанавливается в положение *Присоединить к точке*.

На этом процесс создания параметрической модели завершен. Модель следует сохранить, после этого она может быть встроена в чертеж с помощью функции «**Вставка блока**».

Практическое задание.

Создать параметрическую модель фланца, размеры которого указаны на рис. 1.9, с учетом следующих особенностей:

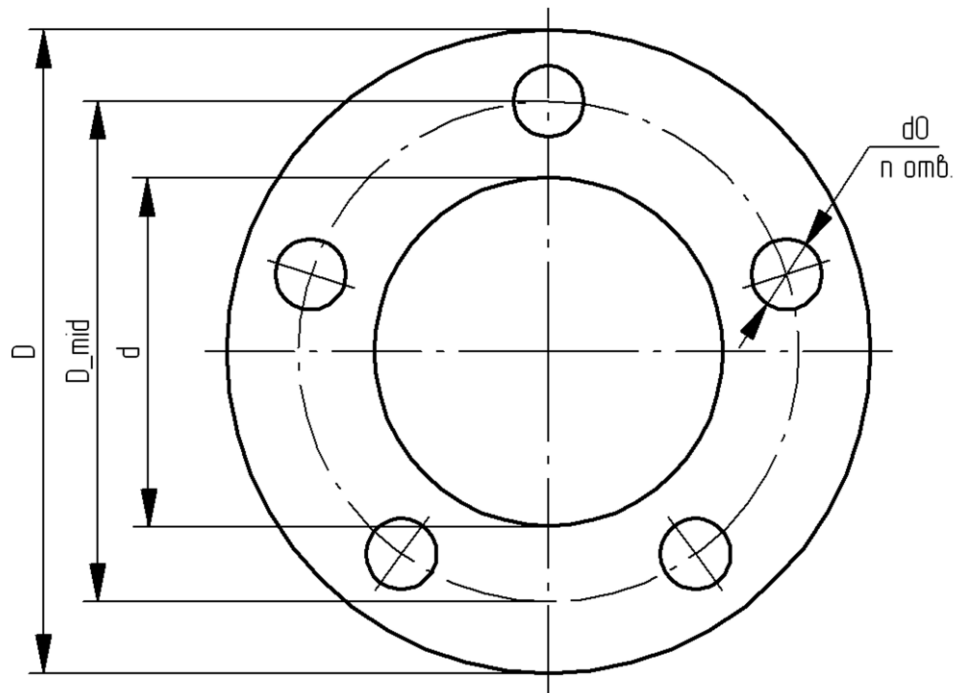


Рис. 1.9

1. Наружный и внутренний диаметры фланца являются независимыми переменными.
2. Центры малых окружностей (отверстий) находятся на вспомогательной окружности, которая расположена строго посередине между наружной и внутренней окружностями.
3. Количество и диаметр отверстий также являются переменными величинами.

Глава 2. Прочностной расчет пролета моста в модуле APM Structure3D

Пример 1. Статический расчет стержневой модели пролета моста

Общий порядок расчета

1. Создание плоской стержневой модели рамы моста.
2. Умножение плоской рамы с целью создания трехмерной модели стержневой конструкции.
3. Присвоение стержневым элементам модели конструкции поперечного сечения и задание параметров материала.
4. Закрепление модели конструкции.
5. Задание силовых факторов, действующих на элементы модели.
6. Выполнение расчета.
7. Просмотр результатов расчета.
8. Вывод результатов расчета на печать и в файл формата ***.rtf**.

Задача

Выполнить статический расчет модели металлоконструкции (пролет моста), изображенной на рис. 2.1.

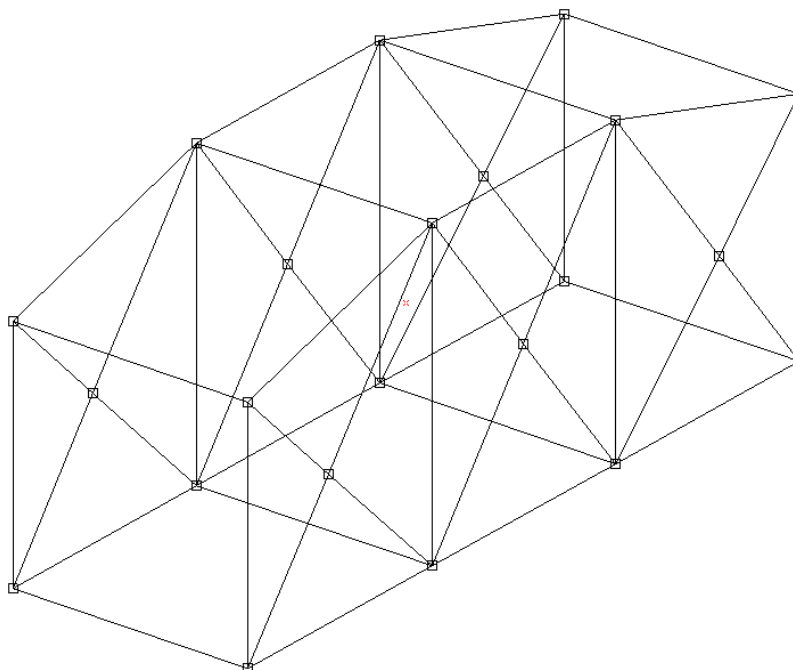


Рис. 2.1

Размеры стержневых элементов конструкции (в миллиметрах) приведены на рис. 2.2.

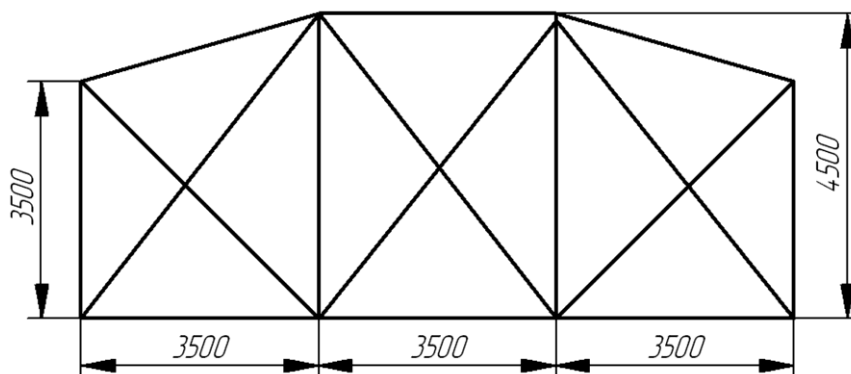


Рис. 2.2

Вертикальные и горизонтальные стержневые элементы конструкции имеют поперечное сечение *Двутавр № 20* с уклоном полок по ГОСТ 8239-89, а наклонные стержневые элементы — нестандартное поперечное сечение, чертеж которого изображен на рис. 2.3. Сечение ориентировано таким образом, что его ось расположена в вертикальной плоскости. Материал всех стержней — сталь СтЗкп. Соединение стержневых элементов друг с другом жесткое. Ширина пролета моста 3500 мм.

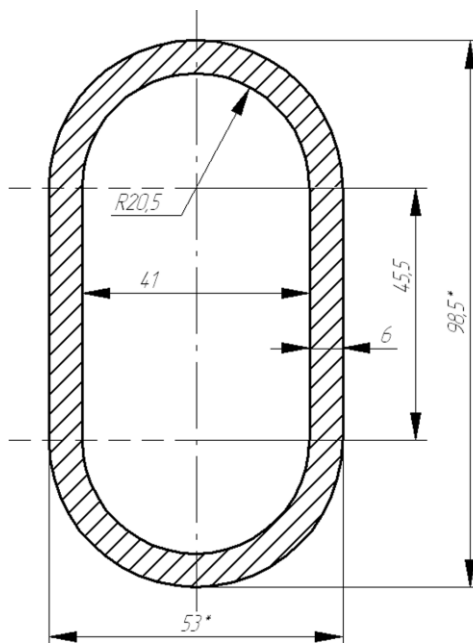



Рис. 2.3

Пролет моста установлен на четырех шарнирных опорах, располагающихся по углам нижнего основания, причем на одном конце моста опоры неподвижные, а на другом могут смещаться в продольном направлении.


К нижним горизонтальным стержням (10 шт.) приложена распределенная нагрузка, направленная вертикально вниз, удельная величина которой (на единицу длины) равна -20 Н/мм. Кроме того, следует учесть действие силы тяжести, вызванной наличием собственного веса конструкции.


Решение

1. Создание плоской стержневой модели рамы моста.

1.1. Установка единиц измерения. Единицы измерения показываются в строке статуса, располагающейся в нижней части основного окна программы. Убеждаемся в том, что установлены единицы измерения – мм. Если по каким-то причинам установлены другие единицы, то необходимо нажать кнопку «Единицы измерения»  (меню Вид/Единицы измерения...) и в открывшемся диалоговом окне «Установки» вкладка «Единицы» выбрать *Миллиметры*.

1.2. Создание базового (начального) узла. Создавать модель можно в любом из четырех окон (в котором удобнее пользователю), при этом она будет автоматически изображаться на всех остальных видах. В данном случае будем это делать в окне «Вид спереди».

Построение стержневой модели начинаем с того, что в произвольном месте выбранного окна ставим начальный (базовый) узел: вначале нажимаем кнопку «Новый узел»  на панели инструментов «Нарисовать» (меню Рисование/Узел/По координатам), а затем щелкаем левой кнопкой мыши в произвольной точке поля окна «Вид спереди». Пусть это будет, например, левый нижний узел модели конструкции.


1.3. Создание стержня. Нажимаем на панели инструментов «Нарисовать» кнопку «Стержень по длине и углу»  (меню Рисование/Стержень/По длине и углу) и щелкаем левой кнопкой мыши в области чувствительности привязки к узлу. Затем, смещая курсор, «вытягиваем» динамический объект в вертикальном направлении и по щелчку правой кнопки мыши вызываем диалоговое окно «Добавить стержень» для задания координат стержня (в данном случае длины и значения угла):

- в поле ввода «Угол, град» вводим значение **90**;
- в поле ввода «Длина, мм» вводим значение **3500**.


Угол отсчитывается от орта оси ординат в направлении против часовой стрелки.

Аналогичным образом создаем горизонтальный стержень с началом в базовом узле в направлении слева направо, затем из конечной точки этого стержня строим вертикальный стерж-

жень длиной 4500 мм и т. д., вплоть до получения плоской рамы, состоящей из вертикальных и горизонтальных стержней.

1.4. Создание наклонных и пересекающихся стержней. Такие стержни удобно создавать тогда, когда точно определено положение их концов. В этом случае используем режим «**Новый стержень**», который включается одноименной кнопкой на панели инструментов «**Нарисовать**»  (меню **Рисование/Стержень/По координатам**). Для построения нового стержня вначале щелкаем левой кнопкой мыши в области чувствительности привязки к узлу, который будет являться началом создаваемого стержня, а затем, смещая курсор, щелкаем в области того узла, который фиксирует конец стержня. Между этими узлами появится новый стержень. Таким же образом строим стержни, соединяющие верхние части плоской рамы, а также пересекающиеся стержни.

1.5. Создание общего узла в точке пересечения двух стержней. Для того чтобы создать узел в точке пересечения двух стержней, следует вначале на каждом из стержней отметить по одному узлу, находящемуся вблизи точки пересечения, а затем объединить их в один узел. Делается это следующим образом.

Вначале переходим в режим создания узла на стержне (кнопка «**Новый узел на стержне**»  на панели инструментов «**Нарисовать**» или меню **Рисование/Узел/На стержне**). Затем щелкаем крестиком курсора на том стержне, на котором будем создавать узел. Этот стержень выделится. Кроме того, появится совпадающая с ним динамическая прямая, а другая динамическая прямая, перпендикулярная выделенному стержню, будет «привязана» к указателю мыши. Смещая указатель мыши к видимой точке пересечения стержней, щелкаем левой кнопкой мыши. В полях ввода открывшегося диалогового окна «**Узел на стержне**» можно уточнить координаты создаваемого узла. Однако в рассматриваемой задаче положение узла определяется визуально, и уточнять его положение изменением числовых параметров нет никакой необходимости.




Итак, мы зафиксировали узел на первом стержне вблизи точки его пересечения со вторым стержнем. Аналогичным образом создаем узел на втором стержне. В результате получаем на пересекающихся стержнях два близкорасположенных узла, которые должны быть объединены.

Для объединения близкорасположенных узлов выбираем пункт меню **Инструменты/Соединить узлы...** и в поле ввода открывшегося диалогового окна «**Совместить узлы**» записываем значение расстояния, на котором будут совмещены узлы. В рассматриваемом случае, например, можно это расстояние выбрать равным **20 мм**. Если после нажатия кнопки «**ОК**» программа выдаст сообщение «*Объединено 0 узлов*», то это означает, что заданного значения расстояния недостаточно, и операцию следует повторить, выбрав *большее* значение.

Точно таким же образом создаем общие узлы на всех пересекающихся стержнях.


2. Умножение плоской рамы с целью создания трехмерной модели стержневой конструкции.

После выполнения всех предыдущих операций получаем плоскую раму, соответствующую боковой секции моста. Для того чтобы преобразовать плоскую модель в трехмерную, нужно произвести операцию умножения, предварительно выделив подлежащие умножению элементы.

2.1. Выделение элементов модели конструкции. Для выделения отдельных элементов модели можно воспользоваться кнопкой «**Выбрать**»  на панели инструментов «**Нарисовать**» (меню **Редактирование/Выбрать элемент**) или «**Выбрать группу**»  (меню **Редактирование/Выбрать группу элементов**). В рассматриваемой задаче необходимо выделить всю плоскую раму целиком, поэтому удобнее воспользоваться режимом выделения группы элементов. После перехода в режим «**Выбрать группу**»  (меню **Редактирование/Выбрать группу элементов**) следует, нажав левую кнопку мыши, создать прямоугольник, в который будет вписана плоская рама. Элементы рамы выделятся и окрасятся в красный цвет.

Снятие выделения производится щелчком правой кнопкой мыши в свободном месте поля редактора в одном из режимов выбора элементов.

2.2. Умножение элементов модели конструкции. Операцию умножения удобнее всего производить в окне «**Вид сверху**», поскольку на этом виде вектор умножения будет показываться в натуральную величину, но возможно использовать и любой другой вид.

Переход в режим умножения осуществляется нажатием кнопки «**Вытолкнуть**»  на панели инструментов «**Инструменты**» (меню **Инструменты/Вытолкнуть**). Затем нужно показать направление умножения с помощью вектора умножения. Первым щелчком мыши фиксируем начало этого вектора, затем смещаем мышь — указываем направление умножения, и, наконец, вторым щелчком завершаем отрисовку вектора умножения. Одновременно с последним щелчком мыши открывается диалоговое окно «**Выталкивание**» (рис. 2.4). В полях ввода этого окна можно уточнить параметры умножения.

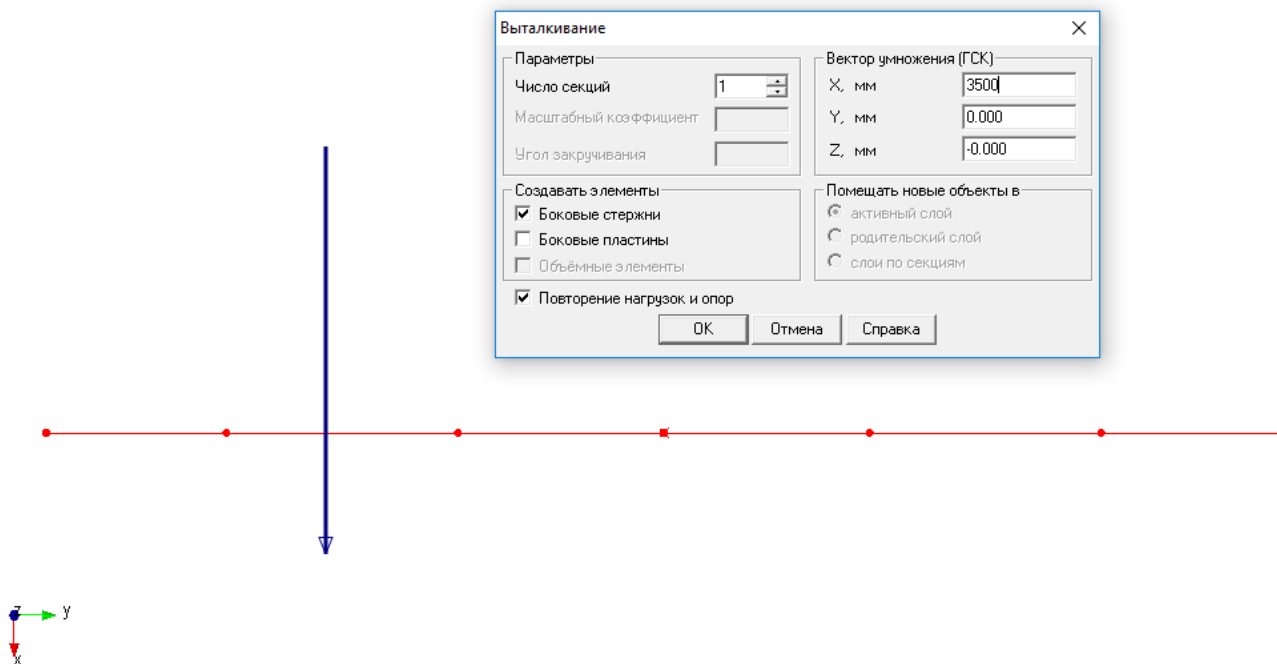




Рис. 2.4

В поля ввода диалогового окна «**Выталкивание**» (см. рис. 2.4) вводим следующие параметры умножения:


- **Число секций** — 1;
- **Вектор Умножения по X, мм** — 3500;
- **Y, мм и Z, мм** — эти поля оставляем нулевыми.

Кроме того, должна быть отмечена галочкой опция *Создавать боковые стержни*.

2.3. Удаление лишних элементов модели конструкции. После выполнения операции умножения (при включенном флажке опции *Создавать боковые стержни*) в направлении вектора умножения появятся новые стержни, начальные точки которых находятся в выделенных узлах.

На этом этапе построенная модель конструкции почти полностью соответствует той, которую следует создать по условию задачи. Однако в процессе умножения возникли лишние стержни, а именно те, которые начинаются от узлов, находящихся в месте пересечения диагональных стержней. Лишние стержни следует удалить. Для этого прежде всего выделяем эти элементы, нажав кнопку «**Выбрать**»  на панели инструментов «**Нарисовать**» (меню **Редактирование/Выбрать элемент**) и щелкнув левой кнопкой мыши на конкретном стержне (для выделения группы элементов нужно держать нажатой клавишу **Shift** на клавиатуре, в противном случае при выделении последующего элемента со всех предыдущих выделение будет снято). Удаление выделенных элементов производится нажатием кнопки «**Удалить выбранное**»  на панели инструментов «**Нарисовать**» (меню **Рисование/Удалить выбранное**) или нажатием клавиши **Delete** на клавиатуре.

2.4. Добавление необходимых элементов в модель конструкции. В созданной модели не хватает диагональных пересекающихся стержней, соединяющих узлы верхнего яруса конструкции. Так как контуры верхнего яруса представляют собой прямоугольники, то для построения пересекающихся стержней, имеющих общий узел в точке пересечения, удобнее всего создать диагональные стержни, а затем произвести их разбиение на две равные части.

Новые стержни создаем в соответствии с алгоритмом, описанным в п. 1.4, а затем используем режим разбиения стержня на равные части. Но, поскольку эта операция будет одновременно применяться к нескольким стержням, то их необходимо предварительно выделить (как это делается, рассказано в п. 2.1). Для разбиения стержней нажимаем на панели инструментов «Нарисовать» кнопку «Разбить стержень»  (меню **Рисование/Стержень/Разбить стержень**) и щелкаем указателем мыши на одном из выделенных стержней. В поле ввода *Число стержней* открывшегося диалогового окна «Разбить стержень» записываем число **2**.

3. Присвоение стержневым элементам модели конструкции поперечного сечения и задание параметров материала.

Стержневые элементы модели (все или некоторые из них) могут иметь как *стандартное*, так и *нестандартное* поперечное сечение. Если сечение *нестандартное*, то оно должно быть предварительно создано (или импортировано) и помещено в одну из библиотек сечений (см. далее п. 3.1).

3.1. Создание нестандартного поперечного сечения и занесение его в библиотеку сечений.

Новое поперечное сечение может быть создано четырьмя способами:

- построено в редакторе поперечных сечений;
- открыто в заранее сохраненном файле собственного формата модуля APM Graph с расширением ***.agr**;
- импортировано из базы данных в виде параметрической модели;
- импортировано в редактор поперечных сечений через файл формата ***.dxf**.

3.1.1. Построение поперечного сечения во внутреннем редакторе. Построение нового поперечного сечения производится во внутреннем редакторе APM Graph. Рассмотрим построение с помощью APM Graph произвольного сечения, изображенного на рис. 2.3 (более подробно процедуры построения сечений описаны в главе 1).

а) В меню «Файл» выбираем **Новый/Сечение**.

б) Процесс создания сечения начинаем с построения верхней внутренней окружности радиусом 20,5 мм.



с) Копируем эту окружность, смещая ее вниз по вертикали на величину межцентрового расстояния, равного 45,5 мм.

д) Обе созданные окружности соединяем двумя вертикальными касательными, с привязкой к точкам квадрантов окружностей.

е) Производим удаление ненужных частей полуокружностей в режиме **«Усечь объект»**. В результате возникает внутренний контур создаваемого сечения.

ф) Внешний контур сечения создаем путем смещения элементов внутреннего контура (двух отрезков и двух дуг) на величину толщины профиля, равную 6 мм.

После последней процедуры получаем два контура сечения – внешний и внутренний. На этом процесс построения рисунка поперечного сечения заканчивается.

3.1.2. Выделение контуров поперечного сечения. Для того чтобы подготовленный рисунок стал поперечным сечением, в нем необходимо выделить внешний и внутренние контуры. Для этого на панели **«Контур»** есть специальные кнопки – **«Простой контур»**  (меню **Контур/Простой контур**) и **«Набираемый контур»**  (меню **Контур/Набираемый контур**). После нажатия кнопки **«Простой контур»** следует щелкнуть сначала на любом из элементов наружного контура, а затем на любом из элементов каждого из внутренних контуров (если они есть). Замкнутые контуры после щелчка должны окраситься в синий цвет. Одновременно с нажатием одной из этих кнопок открывается диалоговое окно **«Выбор контура»**, в котором после выделения всех контуров нужно нажать кнопку **«Ок»** (вместо этой кнопки можно нажать правую кнопку мыши или клавишу **Пробел** на клавиатуре). Область между выделенными контурами, т. е. собственно поперечное сечение, окрасится в серый цвет. Это означает, что программа адекватно «поняла» задачу, т. е. будет воспринимать выделенный объект как поперечное сечение (рис. 2.5).

Режим **«Набираемый контур»** используется тогда, когда имеет место неоднозначность определения контура. В этом случае, войдя в режим, нужно поочередно щелкать левой кнопкой мыши на элементах контура, добиваясь их выделения; если же предыдущий элемент выделился, а последующий – нет, то между этими элементами нет связи, т. е. в этом месте контур незамкнут.

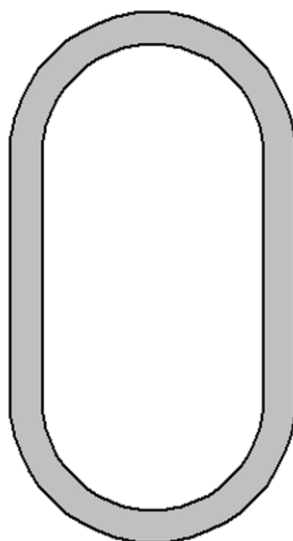


Рис. 2.5

3.1.3. Занесение нового сечения в библиотеку сечений. Созданное поперечное сечение нужно занести в библиотеку сечений. Переходим в соответствующий режим, для чего выбираем в меню «Библиотека» опцию «Добавить в библиотеку», после чего на экране появляется окно «Добавить сечение в библиотеку» (рис. 2.6). Затем нажимаем кнопку «Загрузить библиотеку...» и выбираем из открывшегося списка ту библиотеку, в которую необходимо занести созданное сечение (тем самым указываем путь к ней) – в рассматриваемом случае это библиотека **deflib.slb** – и записываем в поле «Имя сечения» название сечения, под которым оно будет добавлено в выбранную библиотеку. После нажатия кнопки «Ок» программа начинает расчет геометрических параметров сечения, по окончании которого это сечение будет добавлено в соответствующую библиотеку. Присвоение этого поперечного сечения элементам модели конструкции производится так, как описано далее в п. 3.2.

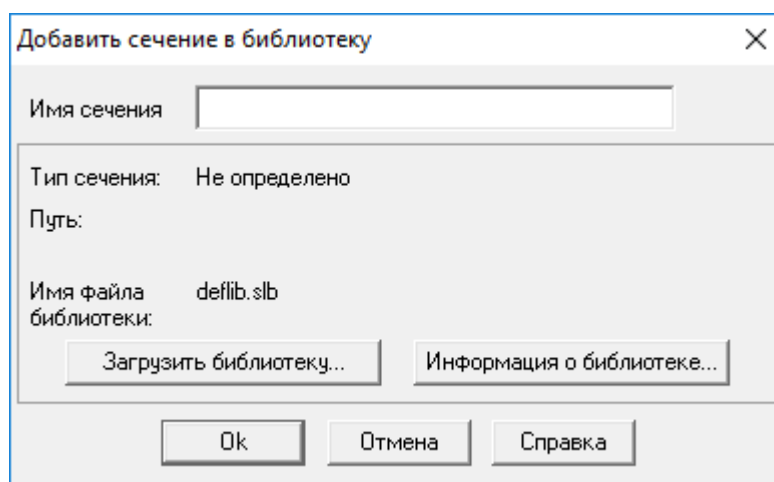



Рис. 2.6

3.2. Присвоение поперечного сечения стержневым элементам модели конструкции.

Поперечное сечение может быть присвоено как всем стержневым элементам конструкции, так и отдельной группе элементов. В последнем случае соответствующая группа должна быть предварительно выделена (см. п. 2.1).

Если элементы (или группы элементов) модели конструкции имеют различные поперечные сечения, то целесообразно вначале присвоить всем элементам то сечение, которое имеет большинство элементов модели, а затем последовательно выделить группы элементов с другими сечениями и присвоить им эти сечения.

Для присвоения поперечного сечения всем элементам модели используем кнопку «Сечения всем»  панели инструментов «Свойства» (меню **Свойства/Сечения всей конструкции**), при этом выделения всех элементов не требуется. Нажатие этой кнопки приведет к открытию диалогового окна задания сечения из библиотеки «Библиотека:...» (рис. 2.7). Затем необходимо загрузить требуемую библиотеку. Для этого нажимаем кнопку «Загрузить» и указываем путь к этой библиотеке. Стандартные библиотеки, которые поставляются вместе с модулем APM Structure3D, располагаются в той же директории, где установлена система APM Win-Machine.

В рассматриваемом случае после загрузки библиотеки выбираем из списка *Имя сечения* нужное по условию сечение — *Двутавр с уклоном № 20...* — и нажимаем кнопку «Ок». После этого в открывшемся диалоговом окне подтверждаем желание присвоить выбранное сечение всем стержням. Ориентация сечения будет произведена программой автоматически.

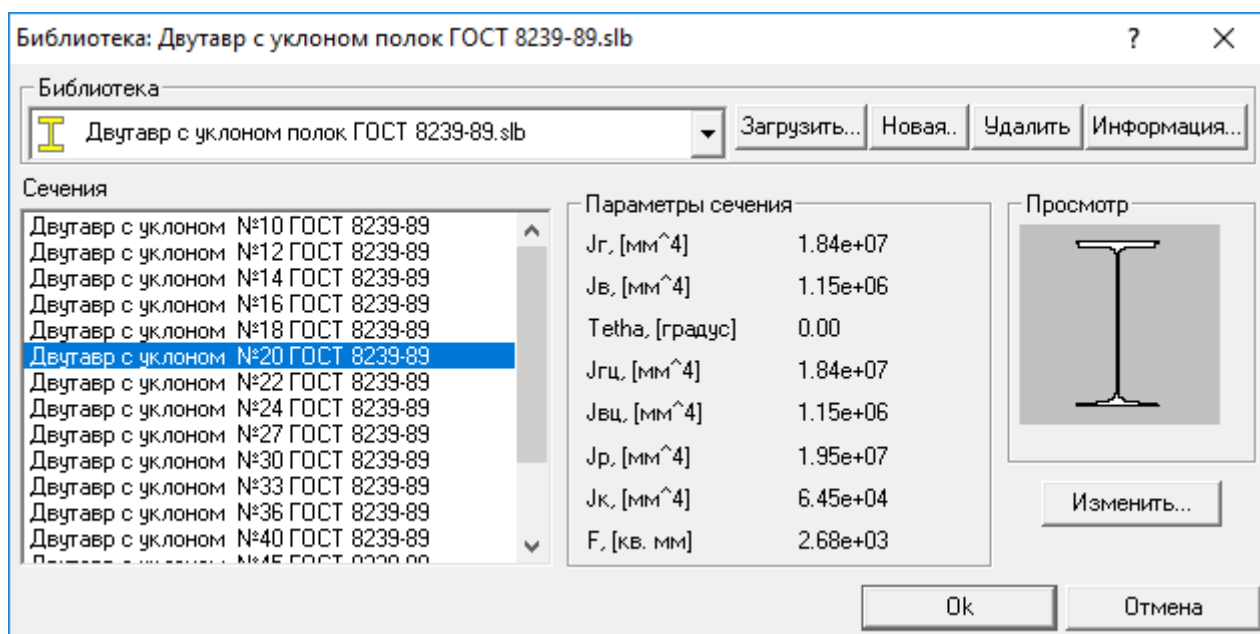



Рис. 2.7

Для присвоения поперечного сечения выделенным элементам нажимаем на панели инструментов «Свойства» кнопку «Сечения»  (меню **Свойства/Сечения**), после чего открывается диалог сечений (рис. 2.8). В данном диалоговом окне отображается информация по имеющимся сечениям в модели, а также кнопки по работе с сечениями.

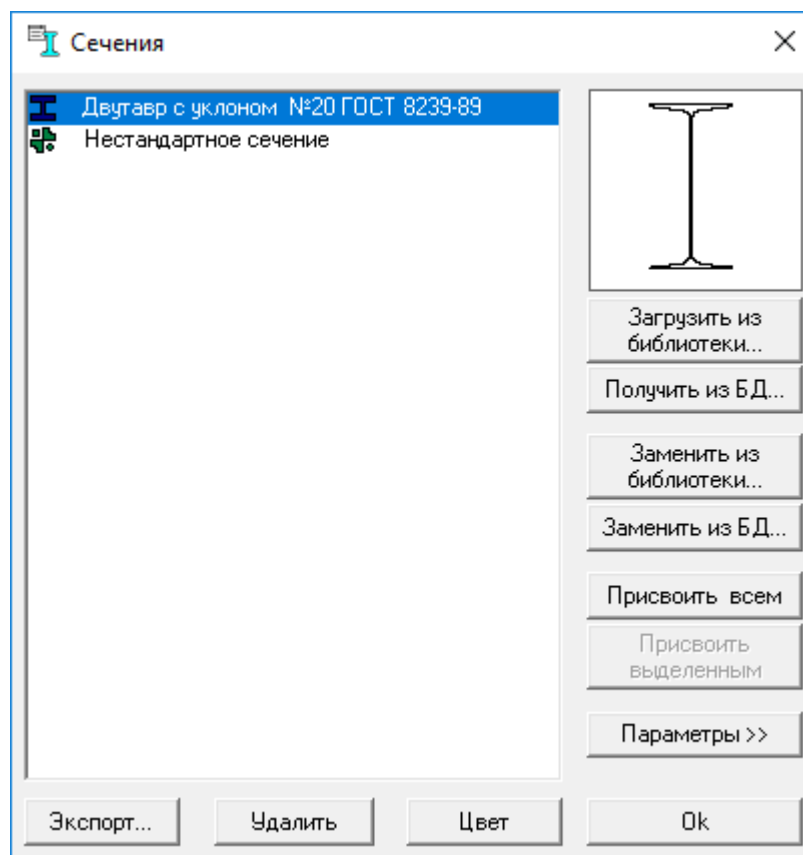




Рис. 2.8

После того как стержневым элементам модели конструкции будут присвоены поперечные сечения, все стержни окрасятся в различные цвета, соответствующие присвоенному сечению.

3.3. Проверка ориентации сечения и его поворот. Для того чтобы просмотреть, как ориентировано поперечное сечение на том или ином стержне, следует этот стержень выделить, а затем нажать на панели инструментов «Свойства» кнопку «Ориентация сечения»  (меню **Свойства/Ориентация сечения**). На выделенных стержнях будет показано положение их сечения. Если сечение слишком маленькое (большое), то увеличить (уменьшить) его показ можно с помощью кнопки «+» «-») на клавиатуре.


В этом же режиме можно поворачивать сечение отдельного стержня (или группы предварительно выделенных стержней) вокруг своей оси. Делается это так. Вначале нужно щелкнуть мышью в непосредственной близости от этого стержня – при этом сечение приобретает зеленый цвет. Перемещение мыши по полю вида в горизонтальном направлении будет сопровождаться

поворотом сечения вокруг своей оси. Внизу, в строке статуса, появится числовое значение угла поворота данного сечения в градусах. Шаг угла поворота равен шагу курсора в угловом направлении, по умолчанию принимаемому за 1 град. Щелчком правой кнопкой мыши в процессе поворота вызывается диалоговое окно, в поле которого можно задать угол поворота сечения.

3.4. Задание параметров материала, из которого изготовлены стержневые элементы модели конструкции. Всем элементам модели конструкции по умолчанию присваиваются свойства того материала, который является текущим. При первоначальном обращении к программе таким материалом является сталь СтЗкп, что и соответствует условию рассматриваемой задачи. Для того чтобы в этом убедиться, нужно нажать на панели инструментов «Свойства» кнопку «Материалы»  (меню **Свойства/Материалы...**). В открывшемся диалоговом окне «Материалы» текущий материал (Сталь) выделен, значит, он будет присваиваться всем вновь создаваемым элементам модели. Нажатием кнопки «Изменить...» можно просмотреть параметры выбранного материала и при необходимости изменить их вручную или воспользовавшись базой данных по материалам, нажав кнопку «БД...».

4. Закрепление модели конструкции с помощью опор.

По условию задачи пролет моста установлен на четырех шарнирных опорах. Две из них на одном конце моста — абсолютно жесткие во всех направлениях, а две на другом конце имеют подвижность в продольном направлении. Поэтому на одной стороне модели поставим шаровые шарниры, а с противоположной стороны — шарниры с разрешением перемещения вдоль направления оси моста.

Шарниры устанавливаются в узлах. Для установки шаровых шарниров выделим два узла в «ближней» к нам части модели моста. Затем нажимаем на панели инструментов «Нарисовать» кнопку «Опора»  (меню **Рисование/Опора**) и щелкаем на одном из выделенных узлов. Открывается диалоговое окно «Установка опоры» (рис. 2.9), в полях ввода которого задаем тип устанавливаемых опор.

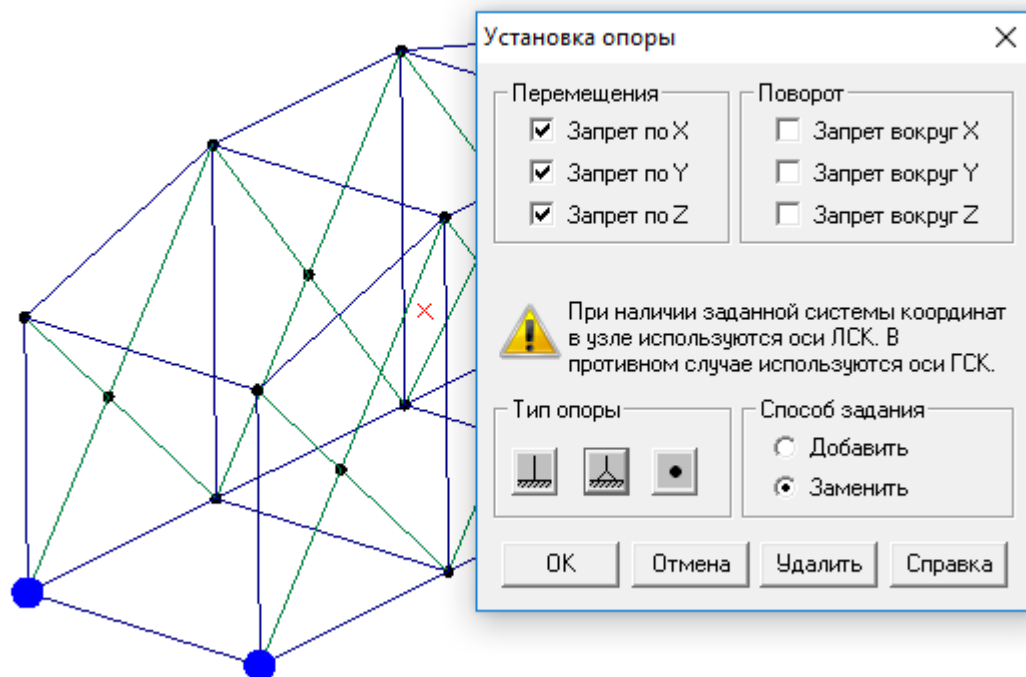



Рис. 2.9

В рассматриваемом случае для установки шарнирных шаровых опор достаточно запретить все перемещения, т. е. поставить флажки опций *Запрет по X*, *Запрет по Y* и *Запрет по Z* или же нажать кнопку «Шарнирная опора» , в результате чего флажки запретов перемещения по всем координатам появятся автоматически.

В узлах с другой стороны модели устанавливаем такой же тип опоры, но снимаем флажок с опции *Запрет по Y*. На этом установка опор завершена.

5. Задание силовых факторов, действующих на элементы модели.

Мост будет находиться под действием двух силовых факторов:

- собственного веса;
- распределенной нагрузки, приложенной к нижним горизонтальным стержням.

5.1. Учет собственного веса конструкции. Собственный вес конструкции — это распределенная сила, приложенная ко всем элементам модели и действующая в направлении, противоположном оси *Z* глобальной системы координат. Для учета собственного веса в меню **Нагрузки** выбираем пункт **Загрузки...** и в открывшемся диалоговом окне «**Загрузки**» задаем множитель собственного веса для *Загрузки 0*. По умолчанию всегда создается *Загрузка 0*, которое активно и включено, т. е. в окнах редактора отображаются те нагрузки, которые в нем находятся. В этом загрузении в рассматриваемом случае будут находиться все дей-

ствующие на модель силовые факторы. О том, что это загрузка активно, говорит флажок, расположенный слева от названия загрузки. В этом загрузке (как и в любом другом) есть *множитель собственного веса*, по умолчанию равный нулю. Это означает, что вес конструкции при расчете учитываться не будет.

Для учета собственного веса следует изменить этот множитель на 1. Делается это следующим образом. Сначала необходимо выделить *Загрузку 0*, щелкнув на нем левой кнопки мыши, а затем нажать кнопку «Изменить». После этого откроется диалоговое окно «Загрузка» (рис. 2.10), в поле ввода которого записываем множитель **1**.

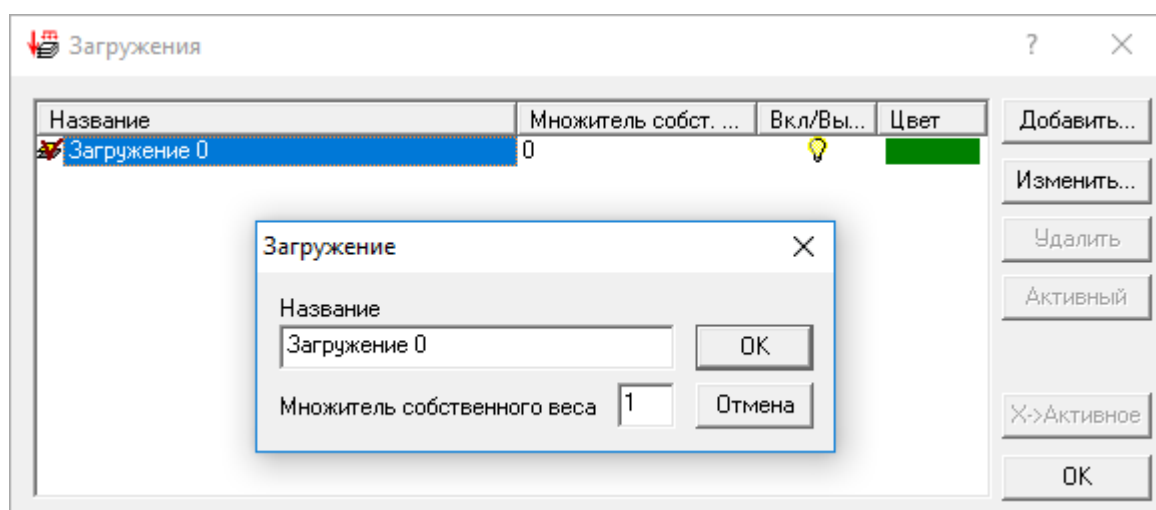



Рис. 2.10

В общем случае в указанное поле ввода можно записать значение, отличное от единицы. Это приведет к тому, что вес будет учитываться с соответствующим множителем.

Внимание! Если в модели конструкции создано несколько загрузок и рассчитывается составленная из них комбинация, то для учета действия собственного веса множитель собственного веса необходимо вводить **только в одном** из загрузок, входящих в эту комбинацию.

5.2. Задание распределенной нагрузки, действующей на стержневые элементы конструкции. Выделяем те стержни модели, на которые действует распределенная нагрузка, и нажимаем кнопку «Нагрузка на стержень»  на панели инструментов «Нагрузки» (меню **Нагрузки/Локальная на Стержень**). Затем щелкаем на одном из выделенных стержней, после чего появляется диалоговое окно «Нагрузка на стержни» (рис. 2.11). В нижней части этого окна показывается участок модели с тем стержнем, на котором щелкнули мышью, а в верхней части — схематическое изображение этого же стержня (одинаковое для любого стержневого элемента модели). В обеих частях окна показывается также соответствующая локальная система координат стержня.

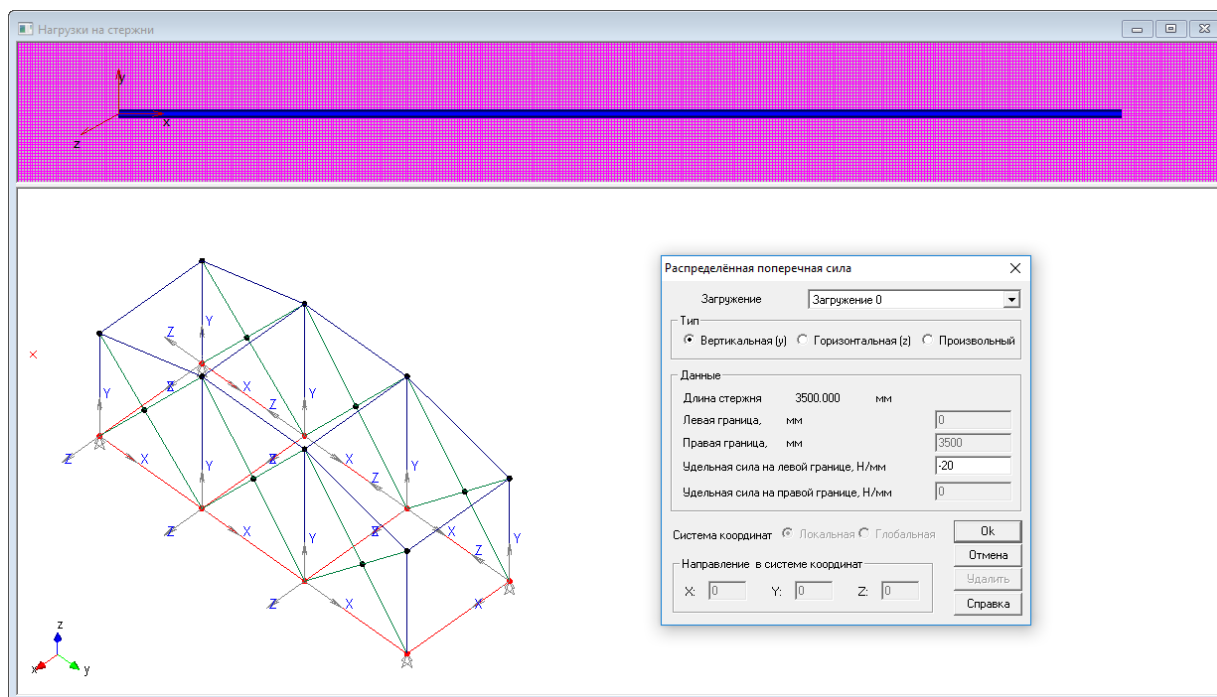


Рис. 2.11

Для задания действующей на стержень распределенной нагрузки следует в меню «Нагрузка»/ «Тип нагрузки на стержень» выбрать тип нагрузки — «**Радиальная распределенная сила**», а затем занести в поля открывшегося диалогового окна «**Распределенная поперечная сила**» необходимые числовые данные.

***Внимание!** К отдельному (невыделенному) стержню можно приложить и постоянную, и линейно изменяющуюся силу, кроме того, в этом случае сила может действовать не только на весь стержень, но и на любой его участок. Если же речь идет о **группе выделенных стержней**, то нагрузка, во-первых, может быть только постоянной, а во-вторых, действовать **только по всей длине стержня**.*

Распределенную нагрузку можно задать в горизонтальной (по оси Z) или в вертикальной (по оси Y) плоскости локальной системы координат стержня. Выбор плоскости происходит с помощью соответствующего переключателя диалогового окна «**Распределенная поперечная сила**» (см. рис. 2.11).

В рассматриваемом случае по условию к стержню следует приложить постоянную нагрузку величиной -20 Н/мм в вертикальной (Y) плоскости (знак « $-$ » говорит о том, что нагрузка направлена противоположно положительному направлению оси Y локальной системы координат), следовательно, в поле **Удельная сила на левой границе, Н/мм** записываем -20 Н/мм и переводим переключатель «**Распределенная поперечная сила**» в положение «**В вертикальной (Y) плоскости**». После нажатия кнопки «**Ок**» эта нагрузка будет приложена ко всем выделенным стержням.

6. Выполнение расчета.

Для запуска модели конструкции на расчет следует выбрать в меню **Расчет** пункт **Расчет...** и в открывшемся диалоговом окне «**Расчет**» отметить флажком тот тип расчета, который необходимо выполнить – в данном случае это **Статический расчет**.

7. Просмотр результатов расчета.

После выполнения расчета пользователь имеет возможность посмотреть:

- Карты результатов по напряжениям, перемещениям и нагрузкам, а также коэффициентам запаса по текучести, главным напряжениям и усталостной прочности.
- Числовые значения максимального напряжения, максимального перемещения и максимального внутреннего силового фактора, а также коэффициента запаса по текучести, величины главных напряжений и усталостной прочности в произвольном сечении стержневых элементов.
- Распределение напряжений в произвольном сечении любого стержневого элемента модели.
- Эпюры различных силовых факторов в стержневых элементах модели конструкции.
- Значения реакций во всех опорах модели конструкции.
- Значения всех внутренних силовых факторов во всех узлах модели конструкции.

Анализ результатов расчета проиллюстрируем на примере просмотра карт напряжений, распределения напряжений в поперечном сечении, величин силовых факторов для стержневого элемента в узле, а также эпюры силовых факторов для выбранного стержня.

7.1. Просмотр карты результатов. Выбираем в меню **Результаты** пункт **Карта результатов...**, что приводит к появлению диалогового окна «**Параметры вывода результатов**» (рис. 2.12).

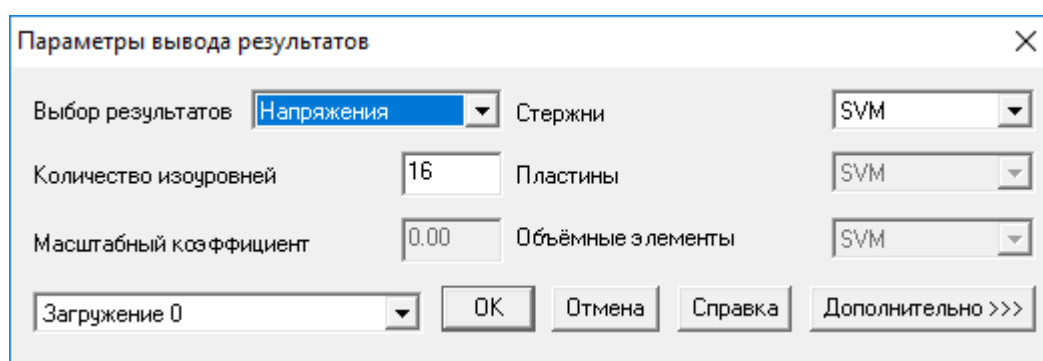


Рис. 2.12

Из выпадающего списка *Выбор результатов* выбираем тип карты результатов (по напряжениям, перемещениям или нагрузкам), а в выпадающем списке *Стержни* отмечаем вид представления результатов расчета выбранного параметра (например, в случае просмотра карты напряжений это эквивалентные напряжения, нормальные и касательные компоненты напряже-

ний и т. д.). Если поля окна «**Параметры вывода результатов**» заполнены так, как показано на рис. 2.12, то на экране монитора появится карта напряжений (рис. 2.13), на которой с помощью различных цветов показываются максимальные величины эквивалентных напряжений в стержневых элементах модели конструкции.

Важно, что на карте напряжений с помощью соответствующего цвета показан максимальный уровень эквивалентных напряжений в стержнях конструкции. Карта напряжений построена на деформированной модели, но на ней показывается также и исходная недеформированная модель (черным цветом). Максимальное число на шкале напряжений соответствует максимальному значению возникшего в модели напряжения.

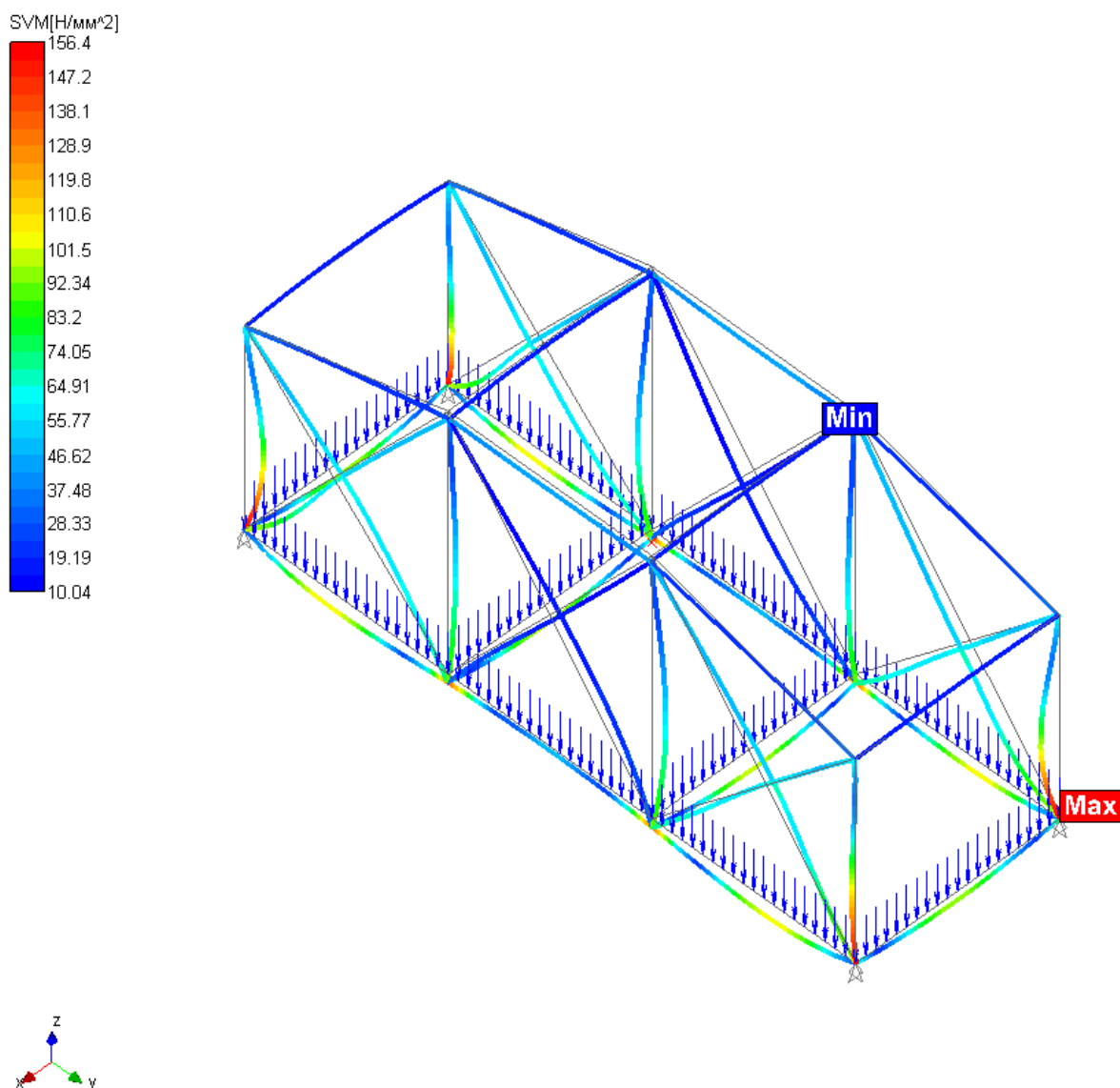


Рис. 2.13

7.2. Просмотр внутренних силовых факторов в узлах элементов. Для просмотра внутренних нагрузок в узлах элементов выбираем в меню **Результаты** пункт **Нагрузки...** . Затем в

открывшемся диалоговом окне «**Результаты**» (рис. 2.14) указываем тот элемент, результаты расчета которого необходимо просмотреть. Выбор элемента можно осуществить либо с помощью списка элементов, либо простым щелчком на этом элементе в режиме выбора элементов.

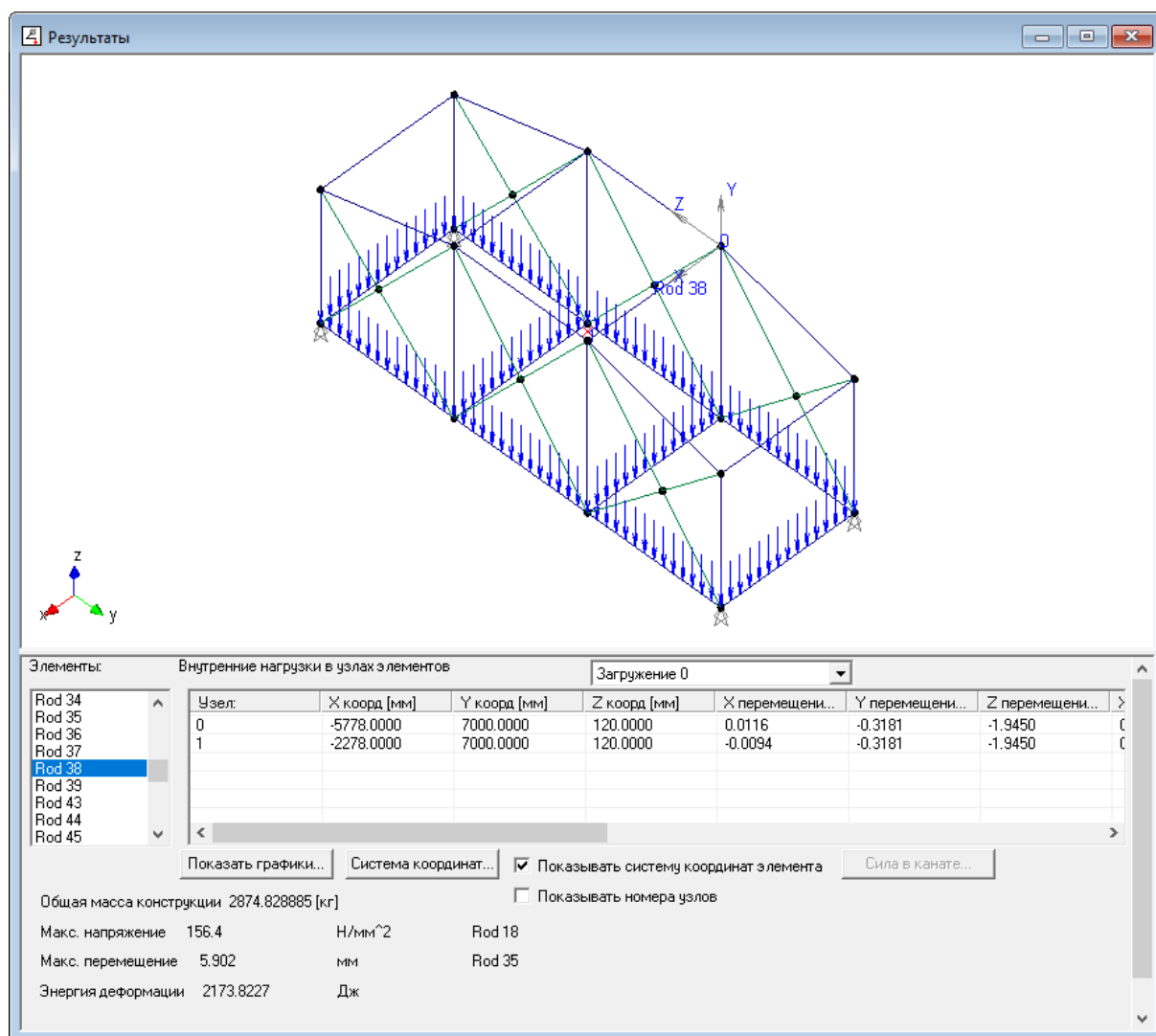


Рис. 2.14

В окне «**Результаты**» показываются: общая масса модели конструкции, величины максимальных напряжений и перемещений, а также номера элементов, в которых наблюдаются максимальные напряжения и перемещения.

У выбранного элемента в таблице *Внутренние нагрузки в узлах элементов* показываются: координаты узлов, смещения узлов, угловые перемещения, а также силы и моменты в узлах в локальной системе координат.

Для любого выбранного стержня можно просмотреть эпюры силовых факторов: нажимаем кнопку «**Показать графики...**» и в открывшемся диалоговом окне «**Графики**» (рис. 2.15) отмечаем для просмотра один из перечисленных графиков.

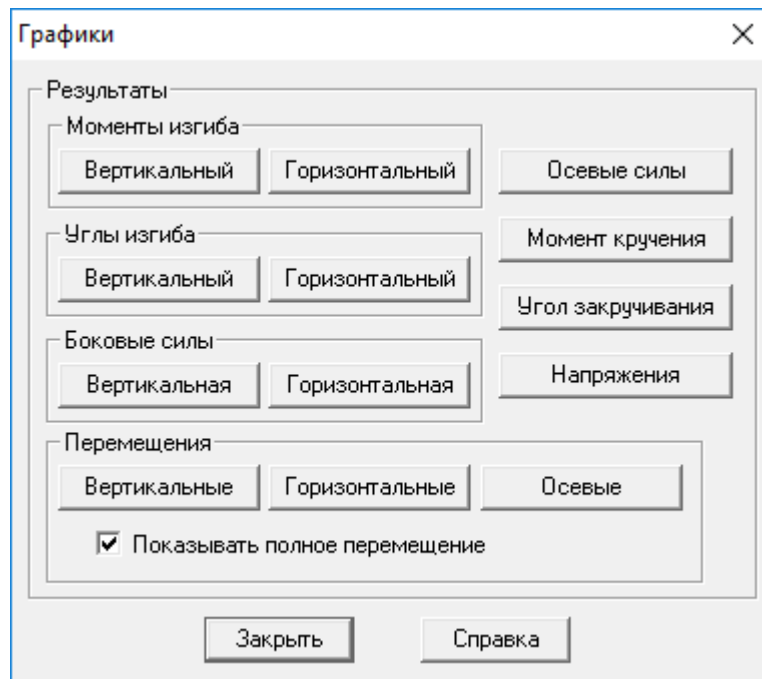


Рис. 2.15

В качестве примера нажмем кнопку «**Вертикальный**» в группе параметров *Моменты изгиба*. Открывается окно «**Графики**» в котором показывается соответствующий график, рис. 2.16.

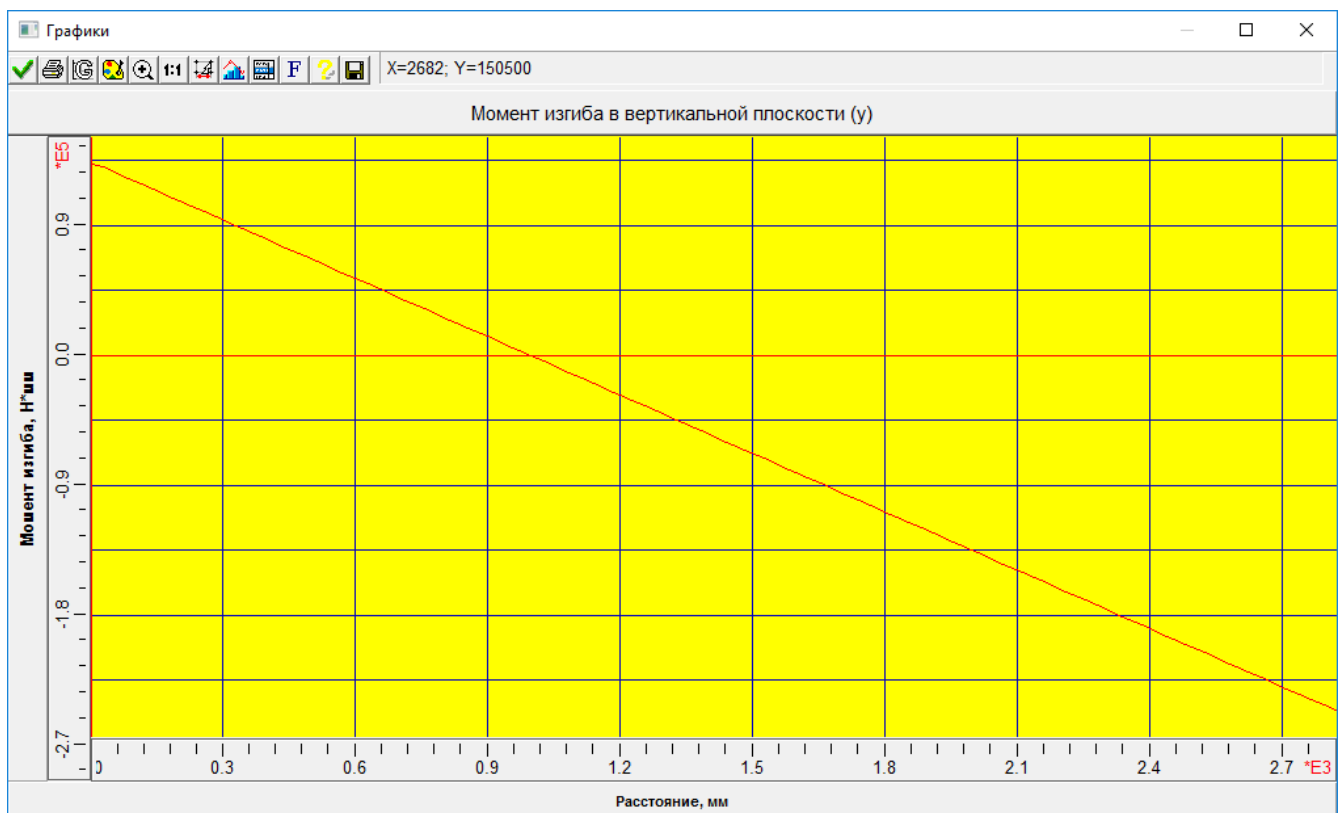


Рис. 2.16

Слева на графике находится узел 0 (начало) для выбранного стержня, а справа — узел 1 (конец). Наведя указатель мыши на какую-либо точку графика, получаем значения координат X и Y в тех единицах, которые указаны на координатных осях (эти значения отображаются в верхней части окна правее окна с кнопками).

7.3. Просмотр напряжений в поперечном сечении стержня. Можно посмотреть картину распределение напряжений в поперечном сечении любого из стержневых элементов. Для этого необходимо войти в меню **Результаты/Напряжения в сечении...** и указать нужный стержень, щелкнув на нем левой кнопкой мыши. На стержне появится небольшая стрелка, которая при движении мыши перемещается по выбранному стержню. С помощью этой стрелки следует уточнить конкретное положение сечения на стержне. Щелчок левой кнопки мыши вызывает появление диалогового окна, с помощью которого можно задать положение интересующего сечения, после чего откроется карта напряжений в выбранном сечении (рис. 2.17).

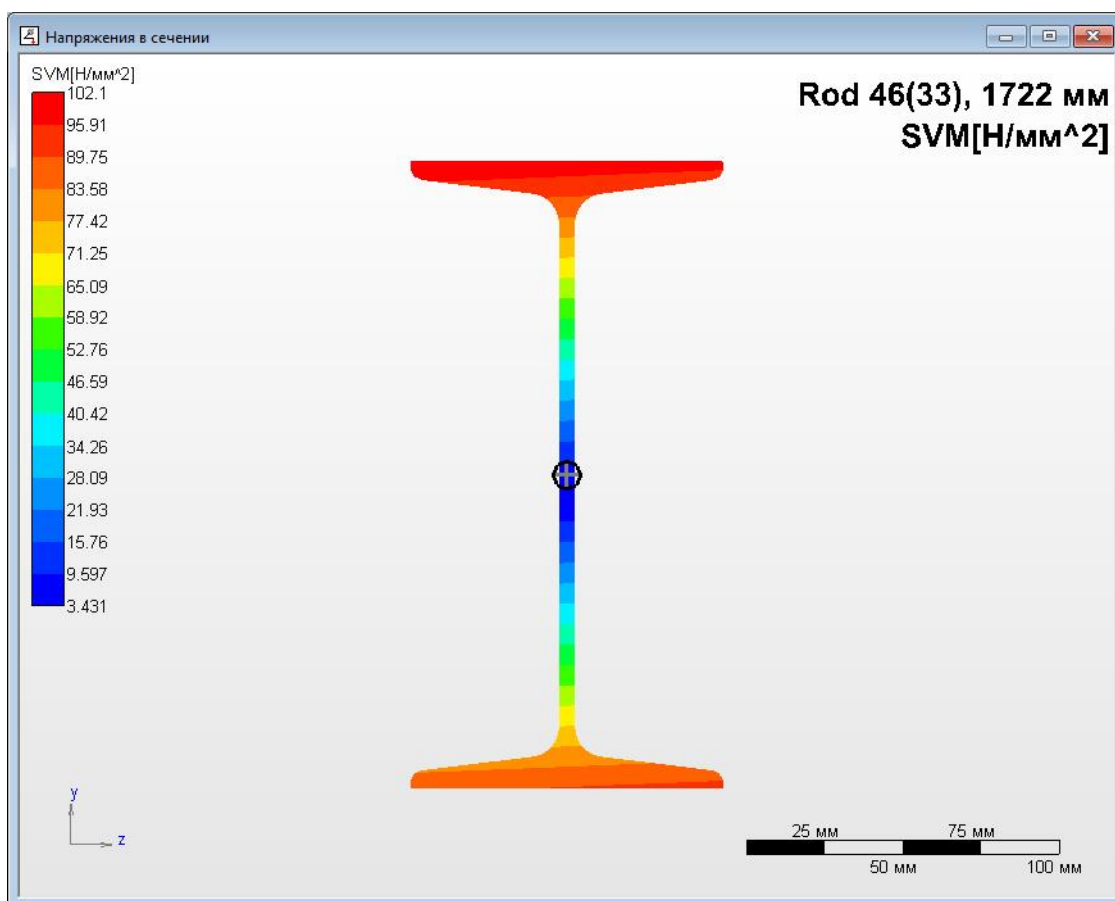


Рис. 2.17

Расположенная слева вертикальная шкала напряжений показывает диапазон напряжений в этом поперечном сечении.

Пример 2. Статический расчет стержнево-пластинчатой модели пролета моста

Общий порядок расчета

1. Создание плоской стержневой модели рамы моста (см. пример 1).
2. Создание пластинчатых элементов модели конструкции и их разбиение на отдельные конечные элементы.
3. Соединение пластинчатых элементов со стержневыми.
4. Присвоение пластинчатым элементам модели толщины и параметров материала.
5. Задание силовых факторов, действующих на пластинчатые элементы модели.
6. Выполнение расчета.
7. Просмотр результатов расчета.
8. Вывод результатов расчета на печать и в файл формата *.rtf.

Задача

Выполнить статический расчет стержнево-пластинчатой модели металлоконструкции (пролет моста), изображенной на рис. 2.19. Стержневая модель конструкции (ее размеры и поперечные сечения, а также закрепления) полностью соответствует условиям, сформулированным в примере 1.

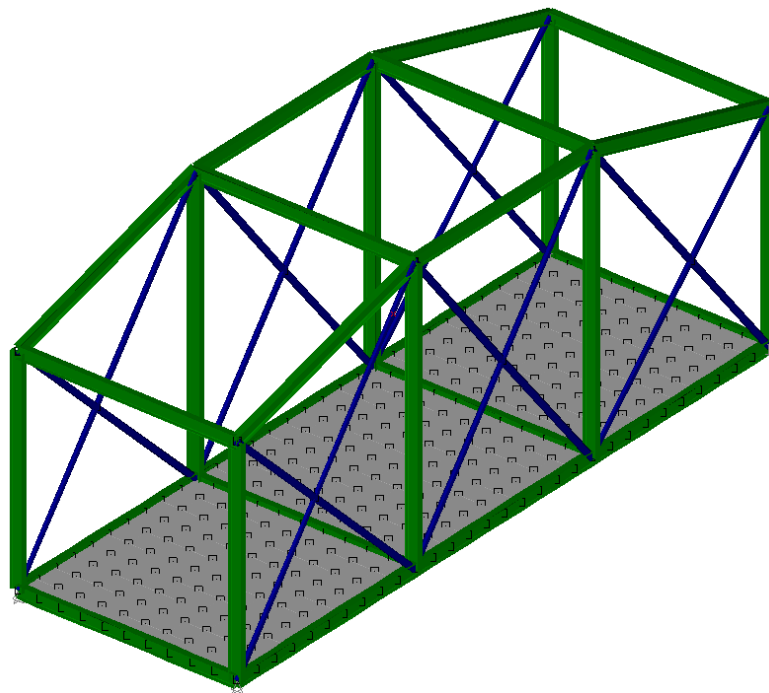


Рис. 2.19

Материал всех элементов (стержней и пластин) — сталь СтЗкп. Толщина пластинчатых элементов 4 мм. Соединение пластин со стержневыми элементами — сварка по длине. Пластины нагружены нормальной распределенной силой — давлением, величина которого равна $-0,8$ кПа. Кроме того, следует учесть действие на мост силы тяжести, вызванной наличием собственного веса конструкции.

Решение

1. Создание плоской стержневой модели рамы моста.

Создание этой рамы производим точно так же, как и в примере 1.

Если воспользоваться уже готовой моделью (см. пример 1), нагруженной и закрепленной, то возникнет необходимость удалить действующую на стержни распределенную нагрузку. Для этого выделяем соответствующие стержни и выбираем в меню «Нагрузки» пункт «Удалить нагрузки на стержень».


2. Создание пластинчатых элементов модели конструкции и их разбиение на отдельные конечные элементы.

2.1. Основные правила создания и разбиения пластин. При создании и разбиении пластинчатых элементов следует придерживаться нескольких правил.

- Если пластина должна закрывать несколько контуров стержневой модели, то желательно в каждом из контуров создавать отдельную пластину. В противном случае процесс соединения пластины со стержневыми элементами будет затруднен.


- При создании нескольких пластин целесообразно действовать *однотипно*, т. е. щелкая по узлам стержневой модели в определенной последовательности (по часовой стрелке или против нее). От этой последовательности зависит ориентация *локальной системы координат* создаваемой пластины. К пластинам с одинаково ориентированной локальной системой координат может быть применен принцип работы с группой объектов: разбиение на конечные элементы, задание нагрузок и т. п.


- Все пластины должны быть разбиты на отдельные конечные элементы. В большинстве случаев достаточно, чтобы в направлении максимальной стороны пластины имелось 10 элементов разбиения, а в направлении минимальной стороны — как минимум 2. Кроме того, созданные при разбиении конечные элементы не должны быть сильно вытянутыми (соотношение сторон не более чем 1:2,5) и иметь острые (менее 30°) и тупые (более 150°) углы, поскольку такие пластины могут служить источником дополнительной погрешности, например, необоснованным концентратором напряжений.

2.2. Создание пластинчатых элементов модели конструкции. Переходим в режим «Четырехугольная прямоугольная пластина» нажатием кнопки  на панели инструментов «Нарисовать» (меню **Рисование/Пластина/Четырехугольная прямоугольная**). Далее последовательно щелкаем левой кнопкой мыши на тех узлах контура стержневой модели, где создается пластина. Делаем это единообразно для всех трех пластин.

Если в модели есть несколько пластин, то процесс их создания должен быть однотипен, например, построение всех пластин начинается с левого переднего узла пластины, а узлы обходятся по часовой стрелке. В рассматриваемой задаче создаем пластины именно так: начинаем обход с левого переднего узла в направлении по часовой стрелке.

2.3. Разбиение пластин на конечные элементы. Поскольку пластины создавались однотипно, то их локальная система координат будет ориентирована одинаково, и все три пластины после выделения одновременно могут быть разбиты на конечные элементы.

Для выделения пластин нужно нажать кнопку «Выбрать»  на панели инструментов «Нарисовать» (меню **Редактирование/Выбрать элемент**) и щелкнуть левой кнопкой мыши на конкретной пластине (для выделения группы элементов нужно держать нажатой клавишу **Shift** на клавиатуре, в противном случае при выделении последующего элемента со всех предыдущих выделение будет снято).


Для разбиения пластин нажимаем кнопку «Разбить пластину»  на панели инструментов «Нарисовать» (меню **Рисование /Пластина/Разбить пластину**) и щелкаем на одной из выделенных пластин. При этом открывается диалоговое окно «**Параметры разбиения**» (рис. 2.20), а на пластинах появляется схематическое изображение их локальной системы координат.

Поскольку, по условию задачи, пластины следует приварить к стержням, а для моделирования сплошного сварного шва пластину и стержень следует разбивать не менее, чем на 10 частей. Поэтому в полях ввода диалогового окна «**Параметры разбиения**» вводим в *Направлении X* и *Направлении Y* по 10. *Тип элемента* выбираем *4-х угольная пластина*. После нажатия кнопки «**ОК**» все выделенные пластины будут разбиты.

3. Соединение пластинчатых элементов со стержневыми по их контуру.

Для моделирования сплошного сварного шва должно быть обеспечено соединение пластин со стержнями общими узлами, причем не только по углам, но и по длине стержня. Для обеспечения такого соединения следует разбить стержень на такое же количество частей, на которое была разбита пластина. Тогда в местах расположения узлов пластины появятся соответствующие узлы на стержне, и благодаря привязке эти пары узлов объединятся.

Поскольку все стержни, к которым необходимо «приварить» пластину, следует разбивать на 10 частей, то стержни можно выделить и работать с группой стержней.

Для разбиения стержней нажимаем на панели инструментов «Нарисовать» кнопку «Разбить стержень»  (меню **Рисование/Стержень/Разбить стержень**) и щелкаем указателем мыши на одном из выделенных стержней. В поле ввода *Число стержней* открывшегося диалогового окна «Разбить стержень» записываем число **10**.

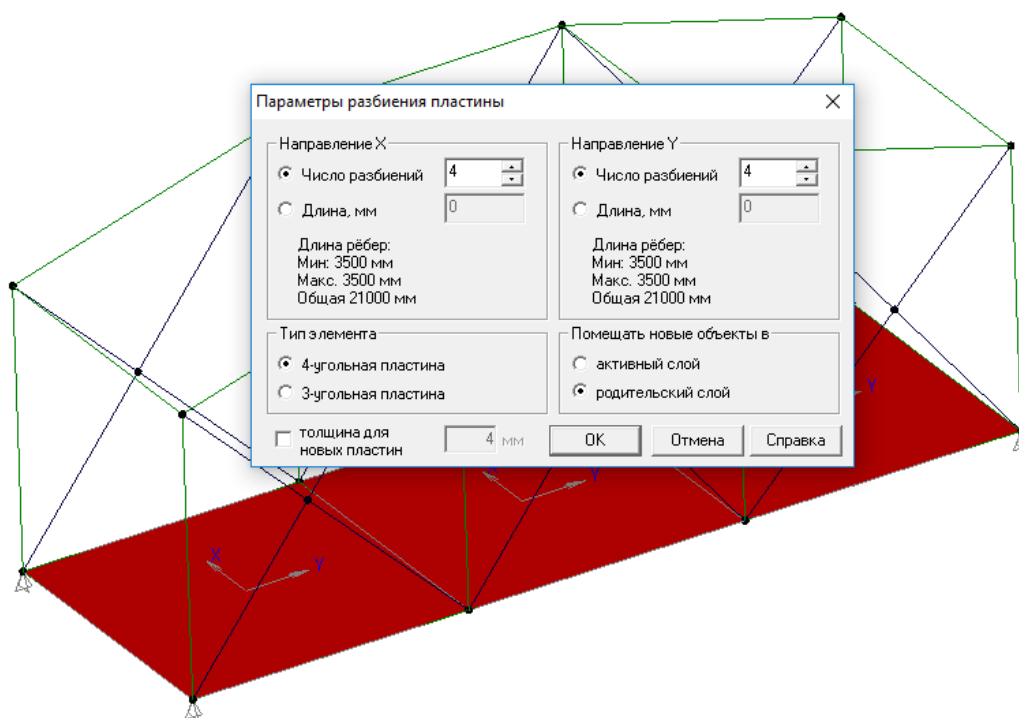





Рис. 2.20


Поскольку все стержни, к которым необходимо «приварить» пластину, следует разбивать на 10 частей, то стержни можно выделить и работать с группой стержней.

Для разбиения стержней нажимаем на панели инструментов «Нарисовать» кнопку «Разбить стержень»  (меню **Рисование/Стержень/Разбить стержень**) и щелкаем указателем мыши на одном из выделенных стержней. В поле ввода *Число стержней* открывшегося диалогового окна «Разбить стержень» записываем число **10**.

4. Присвоение пластинчатым элементам модели толщины и параметров материала.

Для присвоения пластинам заданной толщины следует их выделить  и нажать на панели инструментов «Свойства» кнопку «Задать толщину пластинам»  (меню **Свойства/Задать толщину пластинам ...**) и в поле ввода появившегося диалогового окна «Задать толщину» записать числовое значение толщины пластины, в данном случае **4 мм**. Если толщину


пластин не задавать, то по умолчанию она будет приниматься равной 1 мм, независимо от выбранных единиц измерения.

Для присвоения пластинам свойств материала нужно их выделить, затем нажать на панели инструментов «Свойства» кнопку «Материалы»  (меню **Свойства/Материалы...**) и с помощью полей открывшегося диалогового окна «Материалы» задать свойства материала. По умолчанию новым элементам присваиваются свойства того материала, который установлен по умолчанию и является текущим. Таким материалом при первоначальном запуске программы является сталь Ст3кп, что и соответствует условию рассматриваемой задачи.

5. Задание силовых факторов, действующих на пластинчатые элементы модели.

Пролет моста находится под действием двух силовых факторов:

- собственного веса (его задание подробно рассмотрено в примере 1, п. 5.1);
- распределенной нагрузки, приложенной к стальным пластинам.

5.1. Задание распределенной нагрузки, действующей на пластинчатые элементы конструкции. Выделяем пластинчатые элементы модели, на которые действует распределенная нагрузка, и нажимаем кнопку «Нормальная нагрузка на пластину»  на панели инструментов «Нагрузки» (меню **Нагрузки/Нормальная нагрузка на пластину**). Затем щелкаем на одной из выделенных пластин, после чего откроется диалоговое окно «Нормальная распределенная нагрузка», в полях ввода которого следует задать величину и направление действующей силы (рис. 2.21).

Действующая на пластину распределенная нагрузка (давление) задается в локальной системе координат пластины. Нормалью к пластине является орт оси Z, и величину нагрузки в зависимости от его направления следует задавать с тем или иным знаком. В рассматриваемой задаче нагрузка действует в направлении сверху-вниз (в направлении вектора нормали), т. е. имеет знак «+». Величину распределенной нагрузки, выраженную в МПа ($1 \text{ МПа} = 1 \text{ Н/мм}^2$), т. е. число **0,0008**, что соответствует давлению 0,8 кПа, записываем в поле ввода **Значение 1, Н/мм²**. После того как процесс задания распределенной нагрузки завершается, на соответствующих элементах появляется ее схематическое изображение

6. Выполнение расчета.

Для запуска модели конструкции на расчет следует выбрать в меню **Расчет** пункт **Расчет...** и в открывшемся диалоговом окне «Расчет» отметить тот тип расчета, который необходимо выполнить — в данном случае это **Статический расчет**.

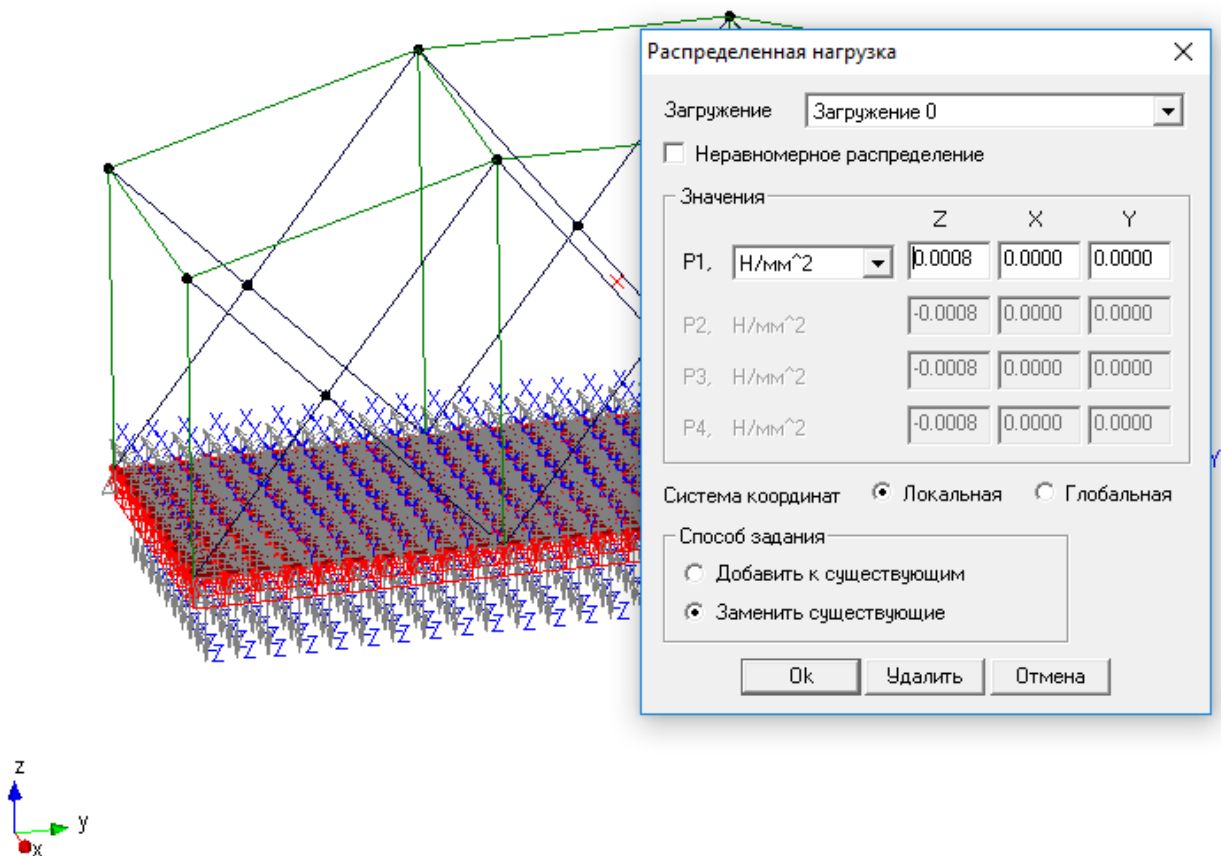


Рис. 2.21

7. Просмотр результатов расчета.

После завершения расчета пользователь имеет возможность посмотреть результаты расчета параметров стержневых и пластинчатых элементов модели конструкции. Визуализация результатов расчета стержневых элементов была подробно рассмотрена ранее (см. Пример 1, п. 7), поэтому здесь остановимся только на результатах расчета пластин.

Анализ результатов расчета проиллюстрируем на примере особенностей просмотра карты напряжений в пластинах.

7.1. Просмотр особенностей карты результатов расчета параметров пластин. Выбираем в меню **Результаты** пункт **Карта результатов...**, что приводит к появлению диалогового окна «**Параметры вывода результатов**». Это диалоговое окно может быть развернуто нажатием кнопки «**Дополнительно >>>**» (рис. 2.22).

Рассмотрим особенности просмотра карты напряжений для пластин. Из выпадающего списка *Пластины* выбираем те компоненты напряжений, результаты расчета которых нас интересуют.

Обозначения, применяемые для описания компонент напряжений в выпадающем списке, вводятся по следующим правилам. Нормальные напряжения обозначаются двумя буквами, одна из которых — заглавная S (от англ. stress — напряжение), а другая — название той координат-

ной оси локальной системы координат пластины, вдоль которой действует этот компонент. Например, «SY+» обозначает напряжение, действующее на положительной поверхности пластины в направлении оси Y.

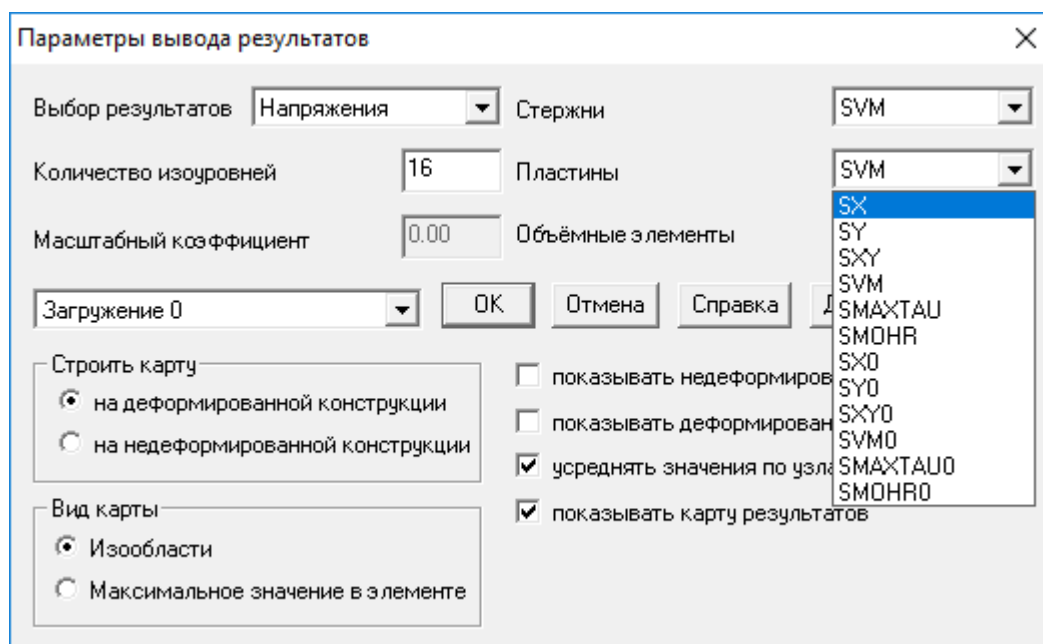


Рис. 2.22

Поверхность, располагающаяся выше срединной поверхности пластины (т. е. той, в которой напряжения изгиба равны нулю), называется положительной и на компонентах напряжений обозначается символом «+». Соответственно отрицательная поверхность расположена ниже срединной, т. е. в отрицательном направлении по отношению к вектору нормали пластины. Она обозначается символом «-». Выбор компонента со значком «max» соответствует показу максимального напряжения (по отношению к обеим поверхностям).

Для обозначения напряжений сдвига (касательных напряжений) используется три буквы, одна из которых по-прежнему S, а две другие указывают на плоскость, в которой действует данное напряжение. Например, «SXY-» — это напряжение в плоскости XOY пластины на ее отрицательной поверхности.

Составляющие напряжений любого вида (кроме эквивалентных по Мизесу, которые всегда положительные) могут быть как положительными, так и отрицательными. Положительные напряжения — это растягивающие напряжения на какой-либо поверхности пластины, а отрицательные — сжимающие.

После нажатия кнопки «ОК» на экране монитора открывается карта напряжений, на которой с помощью различных цветов показываются максимальные величины эквивалентных напряжений в стержневых и пластинчатых элементах модели конструкции (рис. 2.23).

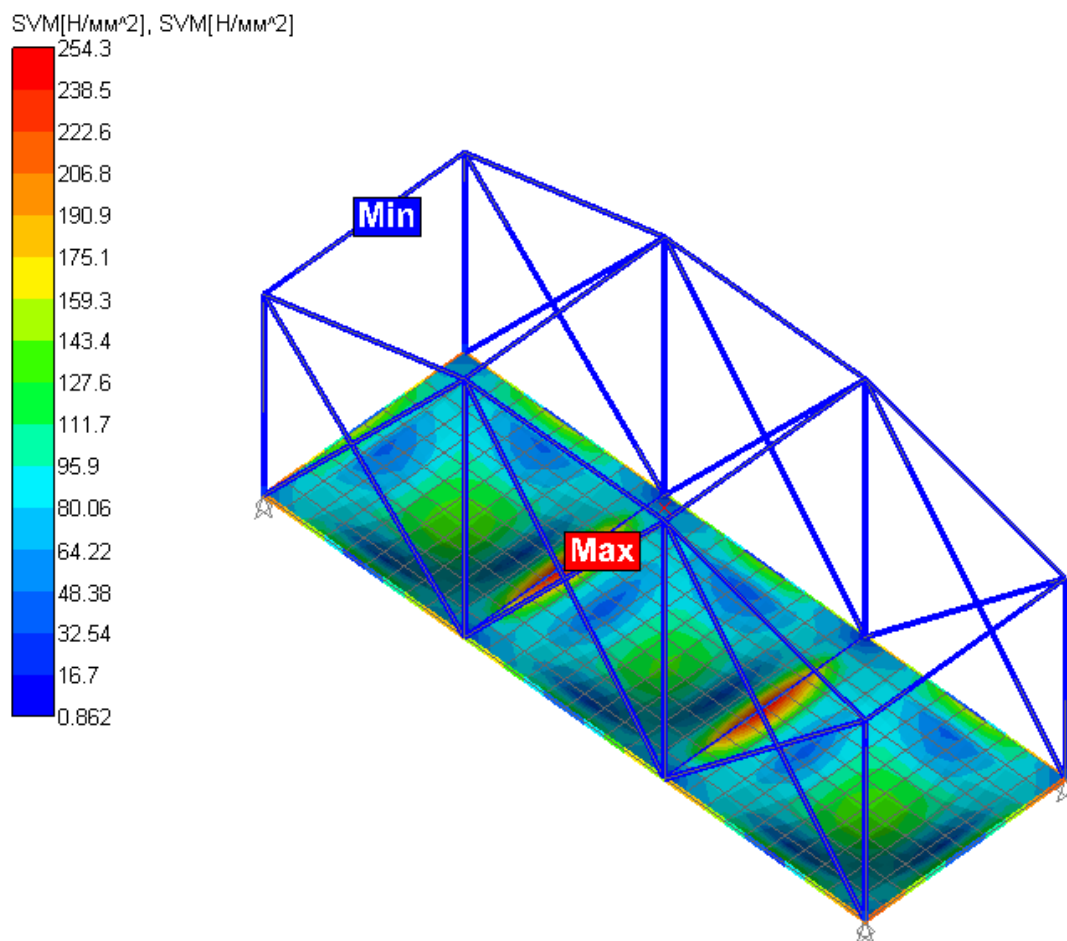


Рис. 2.23

По умолчанию показывается карта напряжений в виде *Изообластей*, кроме того, включена опция *Усреднять значения по узлам*. В этом случае узловое значение соответствующего параметра (в данном случае напряжения) рассчитывается как среднее арифметическое его значений, вычисленных во всех примыкающих к данному узлу конечных элементах (для которых узел является общим), и в области этого узла будет присутствовать один цвет. Такой режим наиболее точно отражает реальное распределение параметра, по которому строится карта по поверхности пластинчатого элемента модели.

Если карта напряжений строится по *Максимальным значениям в элементе*, то весь конечный элемент будет окрашиваться в цвет, соответствующий максимальному значению из возникающих в середине и узлах конечного элемента напряжений.

7.2. Просмотр результатов расчета внутренних силовых факторов в узлах пластинчатых элементов. Для просмотра внутренних нагрузок в узлах пластин выбираем в меню **Результаты** пункт **Нагрузки....** Затем в открывшемся диалоговом окне «Результаты» (рис. 2.24) указываем тот элемент, результаты расчета которого необходимо просмотреть. Выбор элемента можно осуществить либо с помощью списка элементов, либо простым щелчком на нем в режиме выбора элементов.

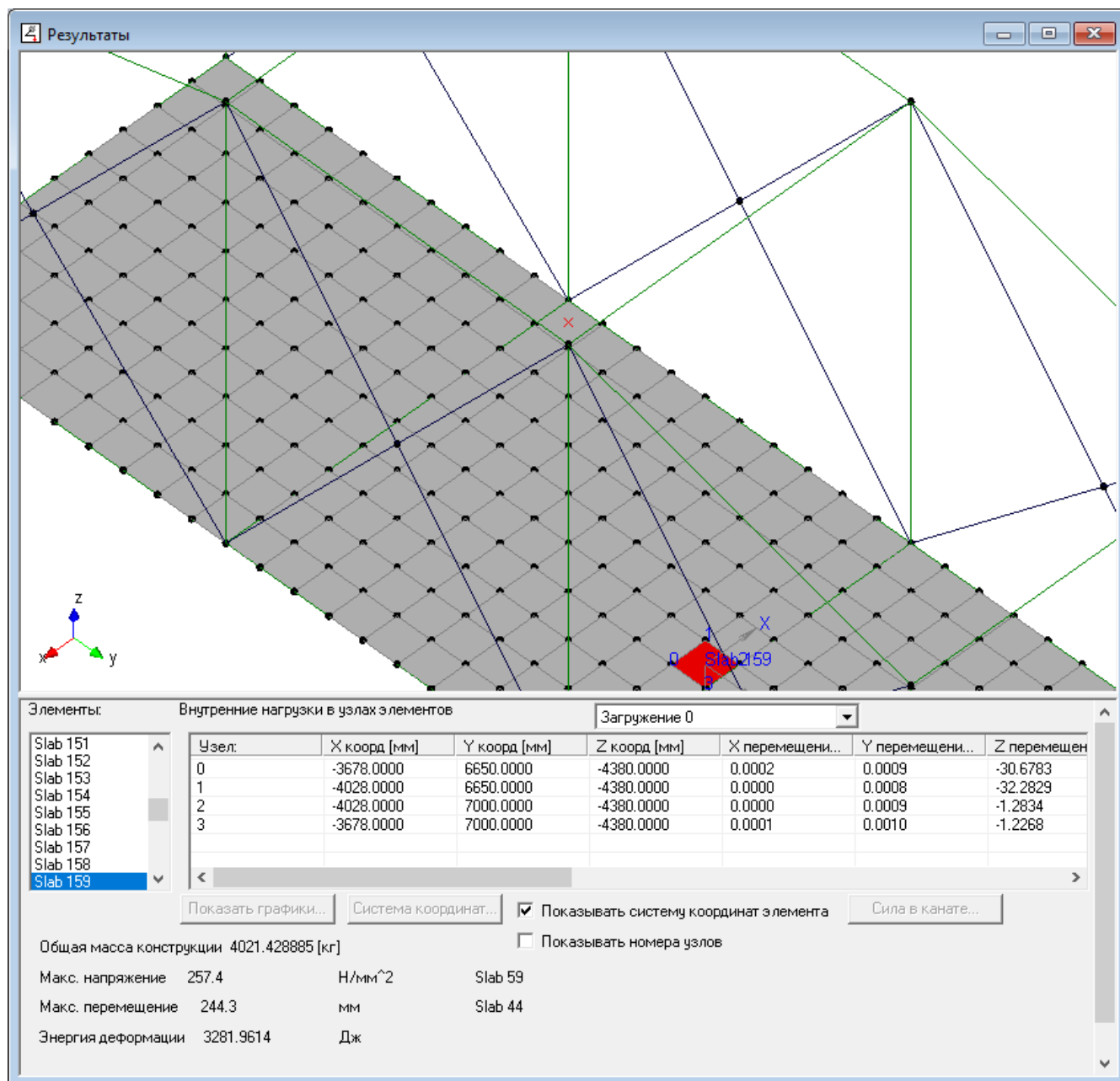



Рис. 2.24

В окне «Результаты» показываются: общая масса модели конструкции, величины максимальных напряжений и перемещений и номера элементов, в которых наблюдаются максимальные напряжения и перемещения.

У выбранного пластинчатого элемента в таблице *Внутренние нагрузки в узлах элементов* показываются: локальная система координат, координаты узлов, смещения узлов, угловые перемещения, силы и моменты в узлах.

Заметим, что, в отличие от стержневых элементов, в пластинах нельзя просмотреть эпюры силовых факторов и картину распределения напряжений в поперечном сечении.

8. Вывод результатов на печать и в формат *.rtf.

Для вывода результатов расчета на печать нажмите в основном окне программы кнопку «Печать»  (меню **Файл/Печать...**) и в открывшемся окне «**Выбор данных для печати**» отметьте флажками те данные и результаты, которые требуется вывести на печать. Вывод результатов расчета может быть осуществлен либо сразу на принтер (кнопка «**Печать**»), либо в текстовый файл формата *.rtf (кнопка «**RTF**»), который может быть открыт и отредактирован в большинстве текстовых редакторов. Возможность редактирования особенно удобна в том случае, когда по результатам расчета нужно подготовить отчет заданной формы.

Практическое задание.

Произвести статический расчет металлоконструкции навеса (см. рис. 2.24), добавив к нему крышу из пластинчатых конечных элементов. Толщину пластин крыши сделать равной 3 мм. Обеспечить соединение крыши со стержневыми элементами по всей их длине.

Приложить к пластинам крыши распределенную нормальную нагрузку в вертикальном направлении величиной $0,02 \text{ Н/мм}^2$.

Рекомендации: Нагрузку на пластины задавать в глобальной системе координат модели.

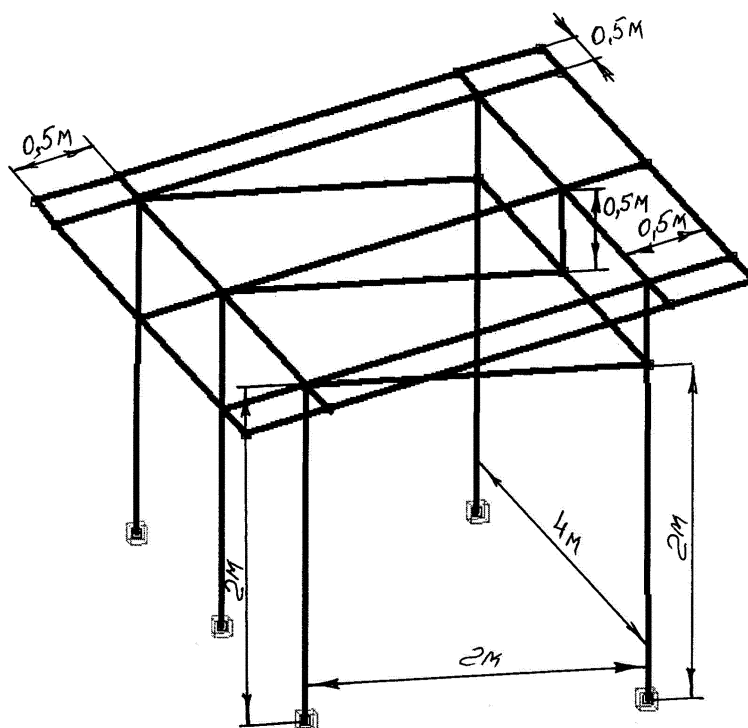


Рис. 2.24

Глава 3. Прочностной расчет оболочечной модели кронштейна, построенной с использованием редактора APM Studio

Общий порядок расчета

1. Построение трехмерной поверхностной модели конструкции.
2. Сшивание поверхностей модели.
3. Задание опор (закреплений) модели и приложение нагрузок.
4. Разбиение поверхностной модели на конечные элементы.
5. Передача конечно-элементной сетки в модуль APM Structure3D.
6. Присвоение пластинам толщины и параметров материала, а также учет собственного веса модели конструкции.
7. Выполнение расчета.

Задача

Выполнить статический расчет модели кронштейна, изображенной на рис. 3.1.

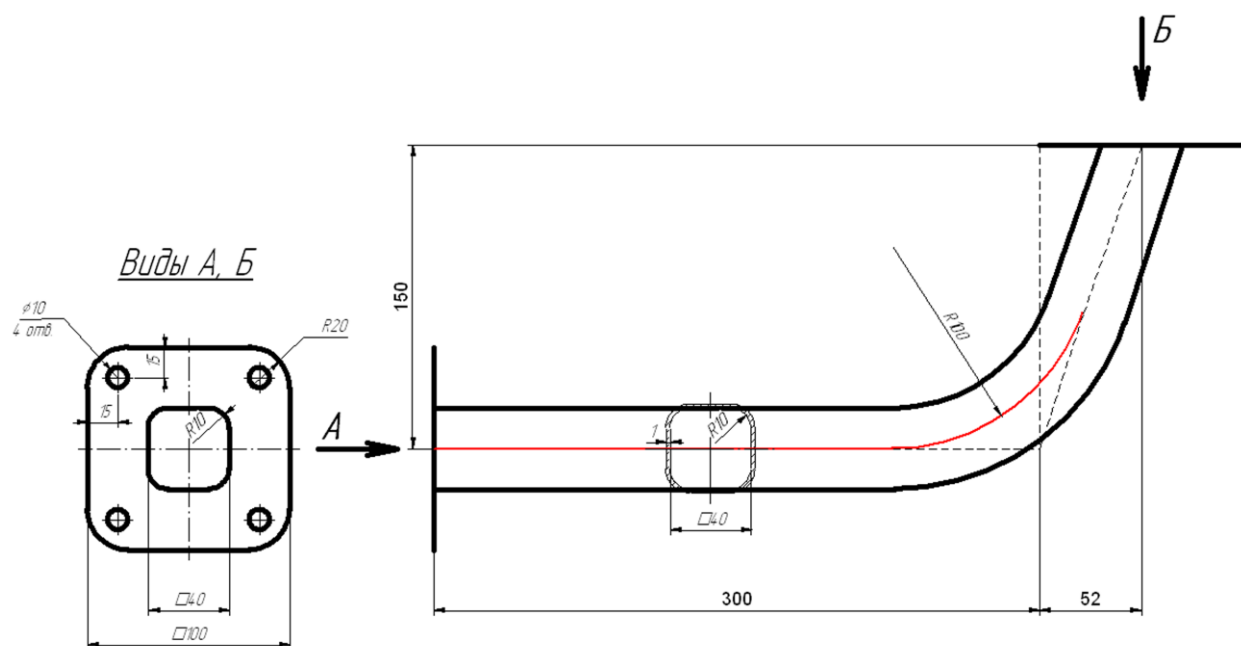



Рис. 3.1

Пластины фланцев имеют толщину 2 мм, квадратная труба — толщину 1 мм. Материал всех пластин — сталь Ст 3кп. Левый фланец прикреплен к вертикальной опоре с помощью болтов, а на правый действует направленная вертикально вниз распределенная нагрузка величиной 150 Н. Кроме того, следует учесть действие силы тяжести, вызванной наличием собственного веса конструкции.

Решение



После запуска модуля APM Studio следует убедиться, что он находится в режиме поверхностного моделирования – режим указан в заголовке открытого окна. Если же в заголовке написано «Твердотельное моделирование», то для перехода в режим поверхностного моделирования необходимо нажать кнопку «Создать поверхностную модель» , расположенную на панели инструментов «Файл», что вызовет открытие окна с заголовком «Поверхностное моделирование».

1. Построение трехмерной поверхностной модели конструкции.

Построение модели проводим по следующему плану:


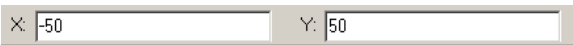
- a) Создание эскиза, содержащего следующие элементы левого фланца:
 - контур фланца;
 - скругления;
 - внутренний квадрат;
 - отверстия;
 - контурную плоскость.
- b) Создание эскиза, в котором указывается путь выталкивания внутреннего контура фланца.
- c) Выталкивание внутреннего контура фланца по указанному пути.
- d) Создание нового эскиза для построения элементов правого фланца. Отрисовка элементов правого фланца и задание контурной плоскости.
- e) Пересечение квадратной трубы с поверхностью правого фланца. Удаление лишних поверхностей.


Рассмотрим все этапы построения модели подробно.

- a) **Создание эскиза, содержащего элементы левого фланца.** Построение эскиза целесообразно организовать таким образом, чтобы ось Z (ось действия силы тяжести) была расположена в вертикальном направлении, что эквивалентно размещению эскиза в плоскости XZ, совпадающей с плоскостью экрана. Для этого в **Дереве операций** открываем папку «Геометрия», затем нажимаем кнопку «Новый эскиз»  на инструментальной панели «Управление», подводим курсор к надписи «Плоскость XZ» в **Дереве операций** и однократно щелкаем на этой надписи левой клавишей мыши. Для того чтобы плоскость эскиза совпадала с плоскостью экрана, нажимаем кнопку «Показать плоскость»  на панели инструментов «Вид».


После этого можно переходить к построению элементов левого фланца.

- Для построения **контура фланца** можно воспользоваться кнопкой «**Прямоуголь-**


ник по диагональным точкам» , расположенной на панели инструментов «**Эскиз**». Переводим курсор в рабочее окно редактора. В поля ввода панели инструментов «**Ручной ввод**» записываем координаты первой точки контура (это левый верхний угол прямоугольника), а именно **X = -50** и **Y = 50**, . Щелкаем левой кнопкой мыши, чтобы зафиксировать введенные величины. Далее указываем координаты конечной точки: **L = 100; H = -100**. И снова щелчок левой кнопкой мыши.

- **Построение скруглений.** Нажимаем кнопку «**Скругление**»  на панели инструментов «**Эскиз**». Затем поочередно щелкаем на скругляемых отрезках (при этом они выделяются зеленоватым цветом). Если установить курсор внутри скругляемого угла, то на экране монитора появится динамический объект — скругление. В поле ввода панели инструментов «**Ручной ввод**» записываем **R=20** и щелкаем левой кнопкой мыши. Аналогичным образом скругляем все остальные углы прямоугольника.


- **Построение внутреннего квадрата** со стороной 40 мм. Его строим так же, как и внешний прямоугольник, а затем скругляем отрезки с радиусом **R = 10 мм**.

- **Построение отверстий.** Чертим окружность, используя команду «**Рисовать окружность по центру и радиусу**» . Переводим курсор в рабочее окно редактора. В поле ввода панели инструментов «**Ручной ввод**» записываем координаты центра левой верхней окружности: **X = -35; Y = 35**.


Затем нужно указать радиус окружности, диаметр который по условию равен 10 мм (**R = 5 мм**). Для этого переходим к панели инструментов «**Ручной ввод**», последовательным нажатием

кнопки  добиваемся активизации следующего режима –

 R: , и в открывшееся поле ввода записываем с клавиатуры

значение 5 (заметим, что нажатием кнопки  можно перейти в режим задания не только величины радиуса, но и диаметра или координаты одной из точек окружности). Далее переводим курсор в рабочее окно редактора и щелкаем левой кнопкой мыши, тем самым фиксируя построенную окружность. Аналогичным образом создаем все остальные окружности.



- **Построение контурной плоскости.** Этой процедурой завершаем создание левого фланца.




Нажимаем кнопку «**Контурная плоскость**»  на панели инструментов «**Операции**», после чего открывается одноименное диалоговое окно, в полях которого нужно указать внешний и внутренние контуры, между которыми будет строиться контурная плоскость. Для выделе-


ния контура следует щелкнуть на нем левой кнопкой мыши. Вначале выделяем наружный контур, а затем все внутренние (если они есть). Выделенный контур меняет цвет на зеленый.

Создание контурной плоскости завершаем нажатием кнопки «Ок» в диалоговом окне «Контурная плоскость».


б) **Создание эскиза, в котором указывается путь выталкивания внутреннего контура фланца.** Вторую эскизную плоскость создадим в плоскости YZ , аналогично тому, как была создана эскизная плоскость в плоскости XZ (см. п. а). Система координат созданной таким образом эскизной плоскости будет располагаться в центре левого фланца. В этом эскизе необходимо задать путь, по которому будет выталкиваться внутренний контур фланца (квадрат 40×40).

- Создаем отрезок длиной 300 мм, используя команду «Рисовать отрезок» . Переводим курсор в рабочее окно редактора. На панели инструментов «Ручной ввод» вводим первую точку отрезка с координатами $X = 0$ и $Y = 0$. Далее по умолчанию программа предлагает задать конечную точку по длине L и углу A , что в рассматриваемом случае нас не устраивает. Поэтому последовательным нажатием кнопки , расположенной на панели инструментов «Ручной ввод», переходим в режим задания координат и записываем координаты конечной точки: $X = 300$, $Y = 0$.

- Создаем второй отрезок, проекции которого на оси X и Y равны соответственно 52 мм и 150 мм. Для создания этого отрезка используем команду «Рисовать отрезок» . Переводим курсор в рабочее окно редактора и привязываемся к последней точке созданного ранее отрезка. Последовательным нажатием кнопки , расположенной на панели инструментов «Ручной ввод», добиваемся активизации следующего режима -  $dX: 52$ $dY: 150$, после чего вводим с клавиатуры значения $dX = 52$ и $dY = 150$.

- Производим скругление созданных отрезков с радиусом 100 мм. Нажимаем кнопку «Скругление»  на панели инструментов «Эскиз». Затем щелкаем сначала на одном из скругляемых отрезков (при этом он выделится зеленоватым цветом), а затем на другом. После того как курсор попадет внутрь скругляемого угла, появится динамический объект — скругление. На панели инструментов «Ручной ввод» вводим $R = 100$ и щелкаем левой кнопкой мыши.

- Последний из созданных отрезков необходимо продолжить, для того чтобы обеспечить возможность пересечения созданной квадратной трубы с поверхностью правого фланца. С этой целью удлиняем последний отрезок, например, на 50 мм. Делается это следующим образом.

Вначале выбираем из группы кнопок «Привязки», расположенных на панели инструментов «Эскиз», кнопку «Параллельная прямая»  и нажимаем ее. Затем начинаем строить новый отрезок, привязываясь к последней точке последнего отрезка, и, смещая его, добиваемся параллельности с предыдущим отрезком. Базовый отрезок при этом приобретает красный цвет. Наконец, на панели инструментов «Ручной ввод» задаем длину нового отрезка, $L = 50$, а значение угла оставляем без изменения. Таким образом, путь для выталкивания внутреннего контура фланца создан (рис. 3.2).

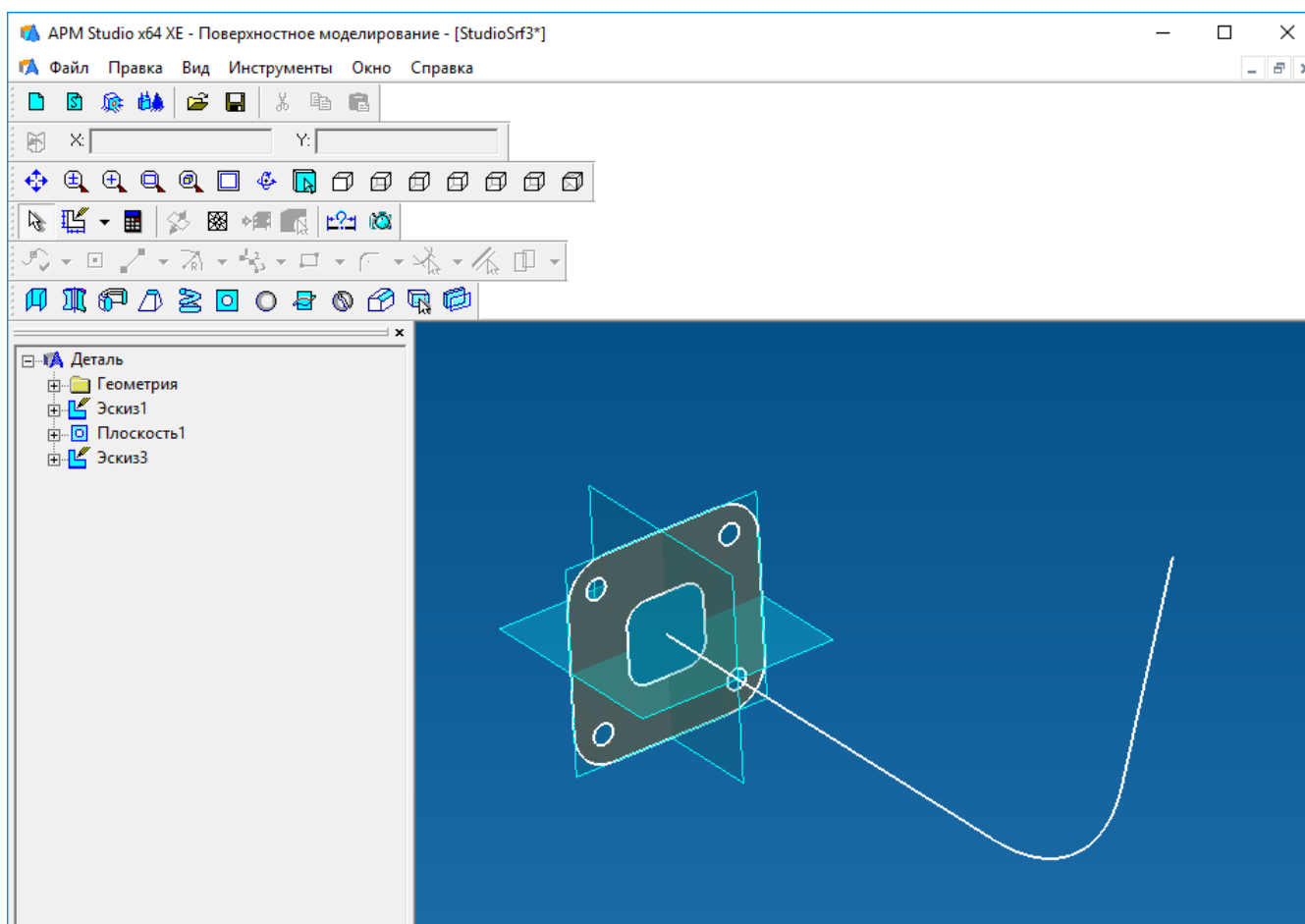





Рис. 3.2

с) **Выталкивание внутреннего контура фланца по указанному пути.** Для выполнения этой операции следует выйти из всех эскизов, отключив на инструментальной панели «Управление» кнопку «Новый эскиз» . Затем необходимо нажать кнопку «Выталкивание по пути» , расположенную на инструментальной панели «Операции», что вызовет открытие диалогового окна «Выталкивание по пути». С помощью этого окна предлагается сначала выбрать контур для выталкивания (щелчком левой кнопки мыши), а затем указать путь вытал-


кивания. Для выполнения операции выталкивания следует нажать кнопку «Ок» в диалоговом окне «**Выталкивание по пути**».

d) **Создание нового эскиза для построения элементов правого фланца. Отрисовка элементов правого фланца и задание контурной плоскости.**

- Новый эскиз необходимо создать на расстоянии 150 мм от базовой плоскости XY.

Нажимаем кнопку «**Новый эскиз**» , расположенную на инструментальной панели «**Управление**», а затем, нажав левую кнопку мыши на базовой плоскости XY и не отпуская ее, смещаем курсор в направлении оси Z. В поле ручного ввода вводим расстояние $D = 150$. Щелчком левой кнопки мыши завершаем создание нового эскиза.


- В полученном эскизе создаем элементы правого фланца. Наружный контур удобно строить в виде правильного четырехугольника в режиме «по стороне». Для этого нажимаем


кнопку «**Полигон**»  (панель инструментов «**Эскиз**») и заполняем поля ввода открывшегося окна «**Многоугольник**»: «**Число вершин**» – 4 и «**Тип создания**» – по стороне.

Следующий шаг: на панели инструментов «**Ручной ввод**» задаем вначале координаты $X = 0$, $Y = 352$, а затем, смещая курсор, записываем $L = 50$, $A = 0$. На этом создание наружного контура правого фланца заканчивается. Далее требуется изобразить отверстия и выполнить скругление углов, как у левого фланца. Внутренний контур не создаем: он будет автоматически получен в результате пересечения вытолкнутого отрезка квадратной трубы с плоскостью правого фланца.

- Создаем контурную плоскость по аналогии с тем, как это было сделано для левого фланца.

e) **Пересечение квадратной трубы с поверхностью правого фланца. Удаление лишних поверхностей.**


- Для пересечения поверхности, полученной выталкиванием по пути с поверхностью фланца, нажимаем кнопку «**Пересечение поверхностей**»  на панели инструментов «**Операции**» и переводим курсор в рабочее окно редактора. Затем подводим курсор к «квадратной трубе» и однократно щелкаем левой клавишей мыши. Далее перемещаем курсор на поверхность созданного фланца и снова щелкаем левой клавишей мыши. После чего в **Дереве операций** вместо «**Выталкивания по пути**» и «**Плоскости**» появится целый набор поверхностей.

- Для удаления лишних поверхностей необходимо поступить следующим образом: в режиме выбора элементов (т. е. при нажатой кнопке «**Режим выбора**»  на панели инструментов «**Управление**») подвести курсор к той поверхности, которую предполагается удалить (поверхность выделится зеленоватым цветом), и щелчком правой кнопки мыши вызвать кон-

текстное меню, указав в нем пункт «Удалить». После подтверждения операции удаления выбранная поверхность будет удалена. Именно таким образом производим удаление поверхности квадратной трубы, выступающей за поверхность фланца. Кроме того, аналогично следует удалить тот участок поверхности фланца, который «вырезается» квадратной трубой.

2. Сшивание поверхностей.

Сшивание поверхностей модели необходимо для того, чтобы сгенерированная впоследствии конечно-элементная сетка (КЭ-сетка) была связанной, т. е. различные пересекающиеся поверхности имели бы общие узлы по линии пересечения. В рассматриваемом случае сшиванию подлежит поверхность квадратной трубы с поверхностью фланцев.

Переход в режим сшивания осуществляется нажатием кнопки «Сшивка поверхностей» , которая находится на панели инструментов «Операции». В этом режиме переводим курсор вначале в рабочее окно редактора, а затем подводим его к квадратной трубе и однократно щелкаем левой клавишей мыши. Далее перемещаем курсор на фланец и снова щелкаем левой клавишей мыши. В итоге после выполнения операции сшивания выделение квадратной трубы и фланца происходит совместно, как одной поверхности.


Аналогичным образом производим сшивание первого фланца и квадратной трубы. После этого вся модель имеет единую поверхность.

На этом создание поверхностной модели закончено. Для проведения прочностного расчета созданной модели конструкции можно поступить следующим образом.

Первый способ – произвести разбиение модели на КЭ и передать полученную КЭ-сетку в модуль прочностного расчета APM Structure3D, с помощью которого указать способ закрепления модели и задать действующие на нее нагрузки. После этого можно выполнить расчет.

Второй способ (более предпочтительный) – вначале задать закрепления и основные виды нагрузок, приложив их непосредственно к элементам трехмерной модели, а уже потом разбить модель на КЭ и передать сгенерированную конечно-элементную сетку с нагрузками и опорами в модуль APM Structure3D для проведения прочностного расчета.

3. Задание опор (закреплений) модели и приложение нагрузок.

Прежде всего нажатием кнопки  на панели инструментов «Файл» следует перейти в режим **конечно-элементного анализа**. После выполнения этой операции созданная ранее модель откроется в окне «**Конечно-элементный анализ**» (рис. 3.3). Все дальнейшие операции с созданной ранее моделью будем производить именно в этом окне.

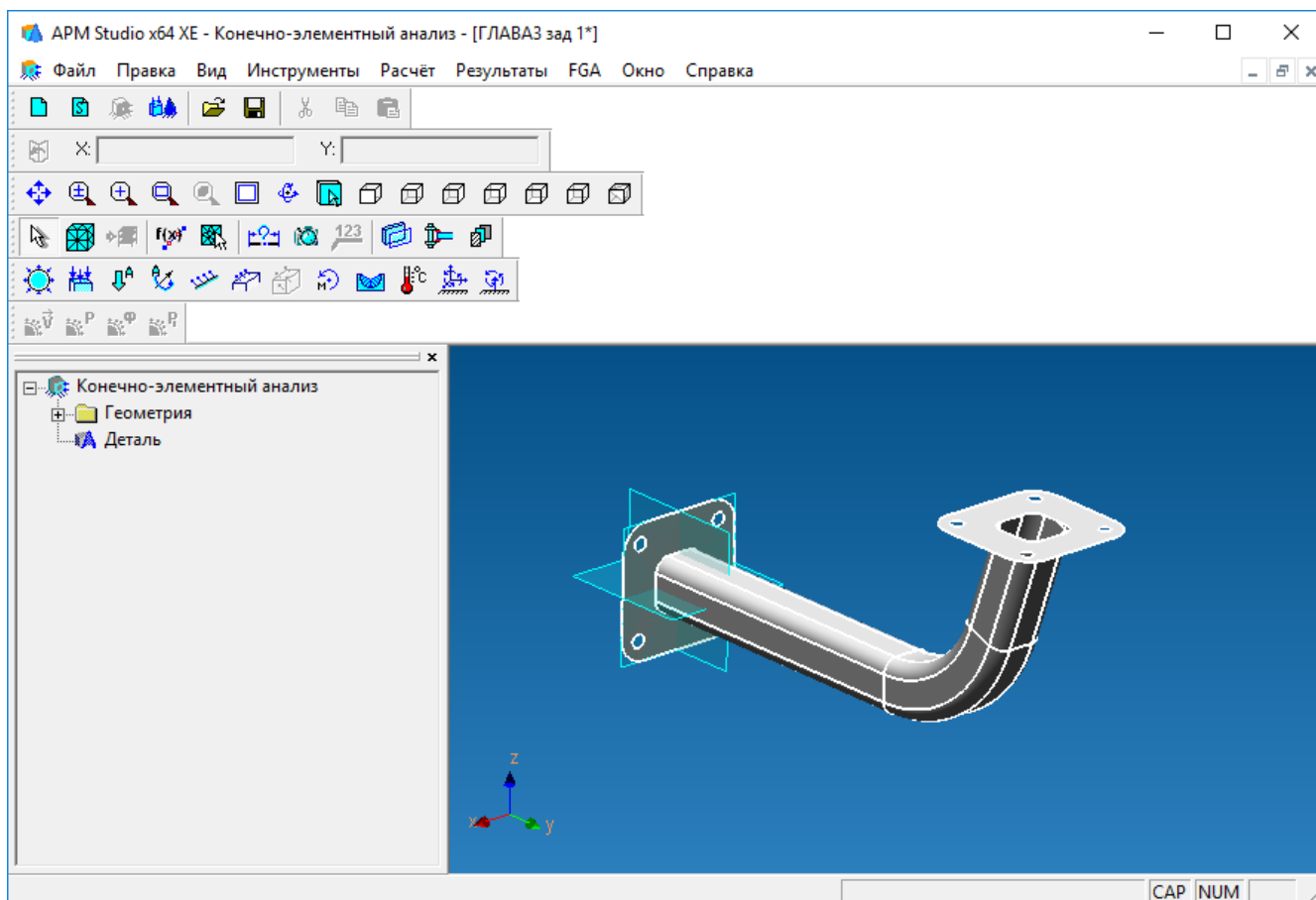



Рис. 3.3

Закрепления задаются с помощью диалогового окна «Закрепление» (рис. 3.4), которое открывается нажатием кнопки «Закрепление» , расположенной на панели инструментов «Нагрузки».

В рассматриваемом примере левый фланец с помощью болтов крепится к вертикальной стенке (см. рис. 3.1), поэтому закреплять будем всю плоскость левого фланца.

Для создания закрепления на каком-либо объекте (границе или ребре) необходимо привести курсор на этот объект и щелкнуть на нем левой кнопкой мыши, после чего выбранный объект будет занесен в соответствующий список. Затем нужно указать тип закрепления этого объекта, разрешив или запретив его перемещения и повороты вокруг глобальных осей координат – это делается с помощью группы полей, расположенных в нижней части диалогового окна «Закрепления». В результате этих действий на выбранной поверхности появятся специальные значки, показывающие, что заданы соответствующие закрепления, а сама операция будет добавлена в **Дерево операций**.

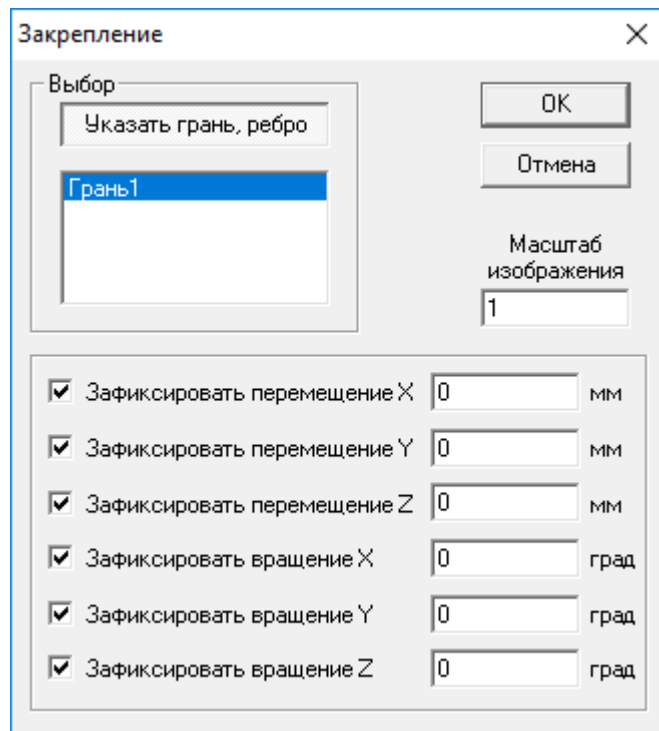



Рис. 3.4

Для перехода в режим задания *распределенной нагрузки*, действующей на правый фланец кронштейна (см. рис. 3.1) в направлении стрелки вида Б, нажимаем кнопку «Давление» , находящуюся на панели инструментов «Нагрузки». Открывается диалоговое окно «Давление» (рис. 3.5), с помощью которого можно задать силовые факторы, действующие на выделенный объект (грань). Выделение объекта, как обычно, производится щелчком левой кнопкой мыши после предварительного наведения курсора на этот объект.

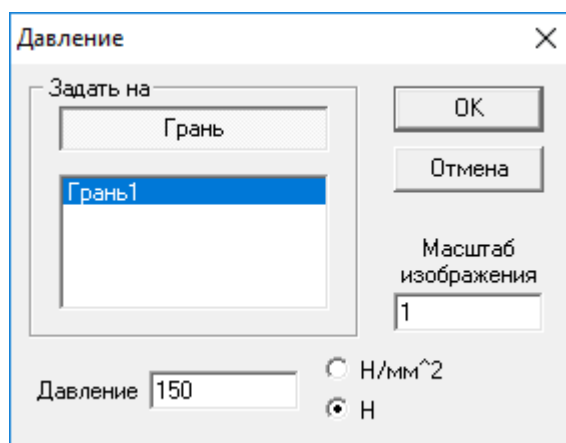



Рис. 3.5

Заметим, что в качестве силового фактора может выступать как сила (что и имеет место в рассматриваемом случае), так и давление. С этой целью в окне «Давление» имеется специаль-

ный переключатель размерностей. В соответствии с условиями данной задачи на правый фланец кронштейна действует сила величиной 150 Н, поэтому этот переключатель ставим в положение «Н», а в поле ввода «Давление» записываем величину силы — **150**. Направление силы контролируем по стрелкам, которые появляются в поле окна конечно-элементного анализа, и при необходимости меняем направление изменением знака величины силы.

На этом задание закреплений модели приложение к ней нагрузок заканчивается.


4. Разбиение поверхностной модели на конечные элементы.

Нажимаем кнопку «КЭ сетка»  на панели инструментов «Управление» и в поле ввода «Шаг разбиения» открывшегося диалогового окна «Параметры разбиения» указываем величину шага – например, **5 мм**, с тем чтобы окружности и дуги созданной модели были описаны корректно.

После нажатия кнопки «ОК» начинается процедура разбиения модели. Сгенерированная конечно-элементная (КЭ) сетка открывается в отдельном окне, и если по каким-либо параметрам она не устраивает пользователя, то это окно может быть закрыто, а разбиение произведено заново.

Созданная КЭ-сетка вместе с действующими на модель нагрузками и заданными опорами (или без них) может быть сохранена в отдельном файле, а затем импортирована в модуль прочностного расчета APM Structure3D. Можно также передать построенную модель непосредственно в APM Structure3D без ее промежуточного сохранения.

5. Передача конечно-элементной сетки в модуль APM Structure3D.

Для передачи КЭ-сетки в модуль APM Structure3D нажимаем кнопку «Передать КЭ сетку в APM Structure3D» , расположенную на панели инструментов «Управление». Вслед за этим запускается модуль APM Structure3D с открытой в нем КЭ-сеткой модели с приложенными нагрузками и установленными опорами (рис. 3.6).

Важно!!! Все дальнейшие действия выполняются с помощью команд модуля APM Structure3D.

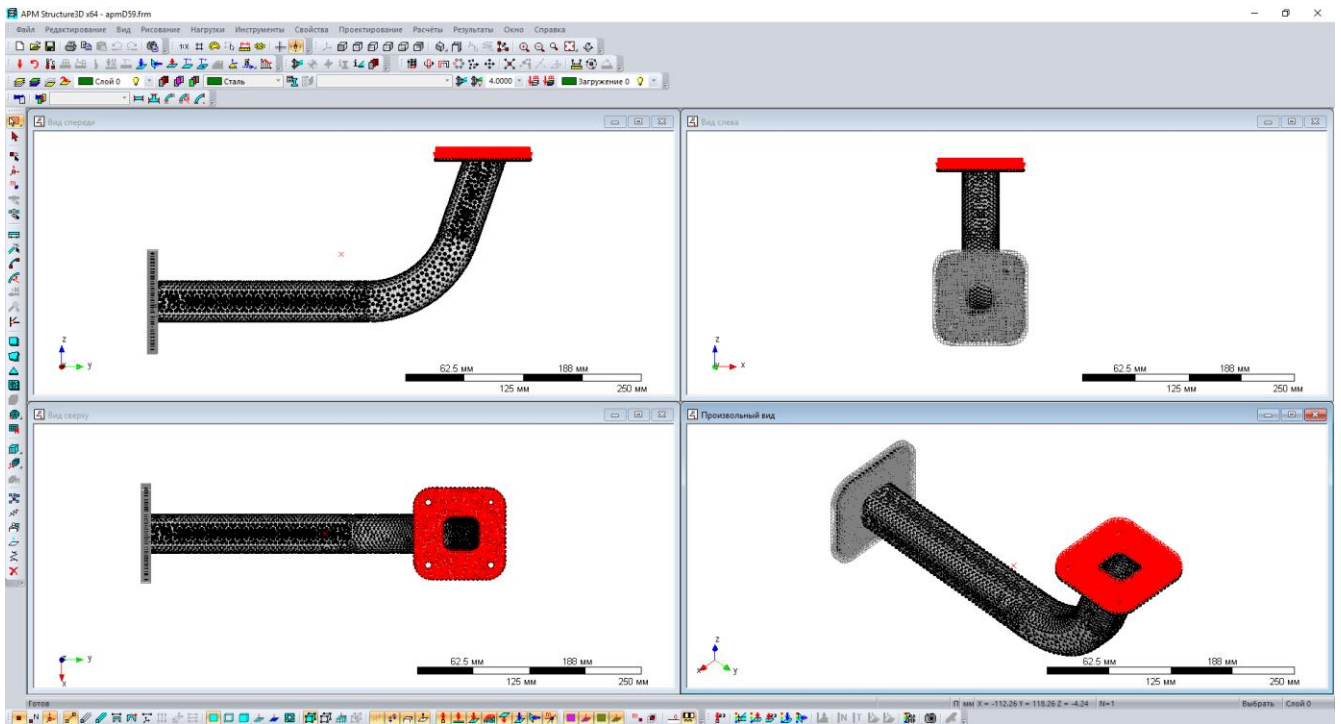




Рис. 3.6


6. Присвоение пластинам толщины и параметров материала, а также учет собственного веса модели конструкции.

Перед выполнением расчета необходимо присвоить всем пластинам модели толщину и параметры материала.

Поскольку в рассматриваемом примере различные пластины имеют разную толщину (1 мм и 2 мм), то целесообразно поступить следующим образом: вначале задать всем пластинам одинаковую толщину, равную 1 мм, а затем выделить группу пластин с толщиной 2 мм и заново присвоить им толщину 2 мм.

Для присвоения пластинам заданной толщины необходимо их выделить. Сделать это удобнее всего следующим образом: нажимаем на панели «Нарисовать» кнопку «Выбрать группу»  и в окне «Вид спереди» (см. рис. 3.6) выделяем рамкой слева направо пластины сначала одного фланца, а затем другого. Теперь осталось присвоить выделенным пластинам заданную толщину. Делаем это так: нажимаем находящуюся на панели инструментов «Свойства» кнопку «Задать толщину пластинам»  (меню **Свойства/Задать толщину пластинам...**) и в поле ввода открывшегося диалогового окна «Задать толщину пластины» записываем числовое значение толщины пластины – **1 мм**.

Для присвоения пластинам фланцев другого значения толщины, а именно 2 мм, их необходимо выделить отдельно и поступить как и с пластинами для всей модели, заменив числовое значение толщины на **2 мм**.

Для присвоения пластинам свойств того или иного материала следует нажать на панели инструментов «Свойства» кнопку «Материалы»  (меню **Свойства/Материалы...**) и с помощью открывшегося диалогового окна «Материалы» задать свойства материала: в соответствии с условиями задачи выбираем *Сталь* и нажимаем кнопку «Задать всем». Параметры материала *Сталь* соответствуют стали СтЗкп. Нажатием кнопки «Изменить...» можно просмотреть параметры выбранного материала и при необходимости изменить их.

При учете собственного веса конструкции необходимо проследить, чтобы построенная модель была правильно ориентирована относительно осей глобальной системы координат. Дело в том, что в APM Structure3D собственный вес учитывается только в направлении, противоположном оси *Z* глобальной системы координат. Если же созданная модель ориентирована относительно этой оси не характерно реальному положению в пространстве, то модель следует повернуть относительно осей глобальной системы координат. Затем необходимо войти в меню **Нагрузки/Загрузки**, выделить в открывшемся диалоговом окне «Загрузки» (рис. 3.7) имеющееся там *Загрузка 0* и нажать кнопку «Изменить». В поле ввода *Множитель собственного веса* открывшегося диалогового окна «Загрузка» следует вместо **0** записать **1**.

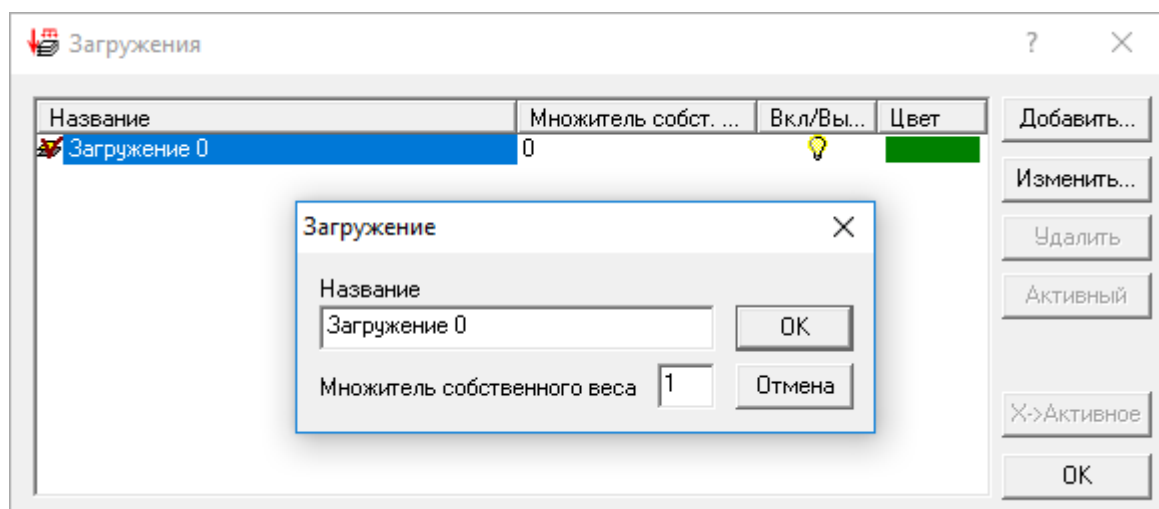


Рис. 3.7

7. Выполнение расчета.

Для запуска модели конструкции на расчет следует выбрать в меню **Расчет** пункт **Расчет...** и в открывшемся диалоговом окне «Расчет» отметить флажком тот тип расчета, который необходимо выполнить – в рассматриваемой задаче это **Статический расчет**.

После выполнения расчета можно визуализировать его результаты в графическом или числовом виде. В качестве примера на рис. 3.8 представлена карта напряжений, возникающих в модели кронштейна.

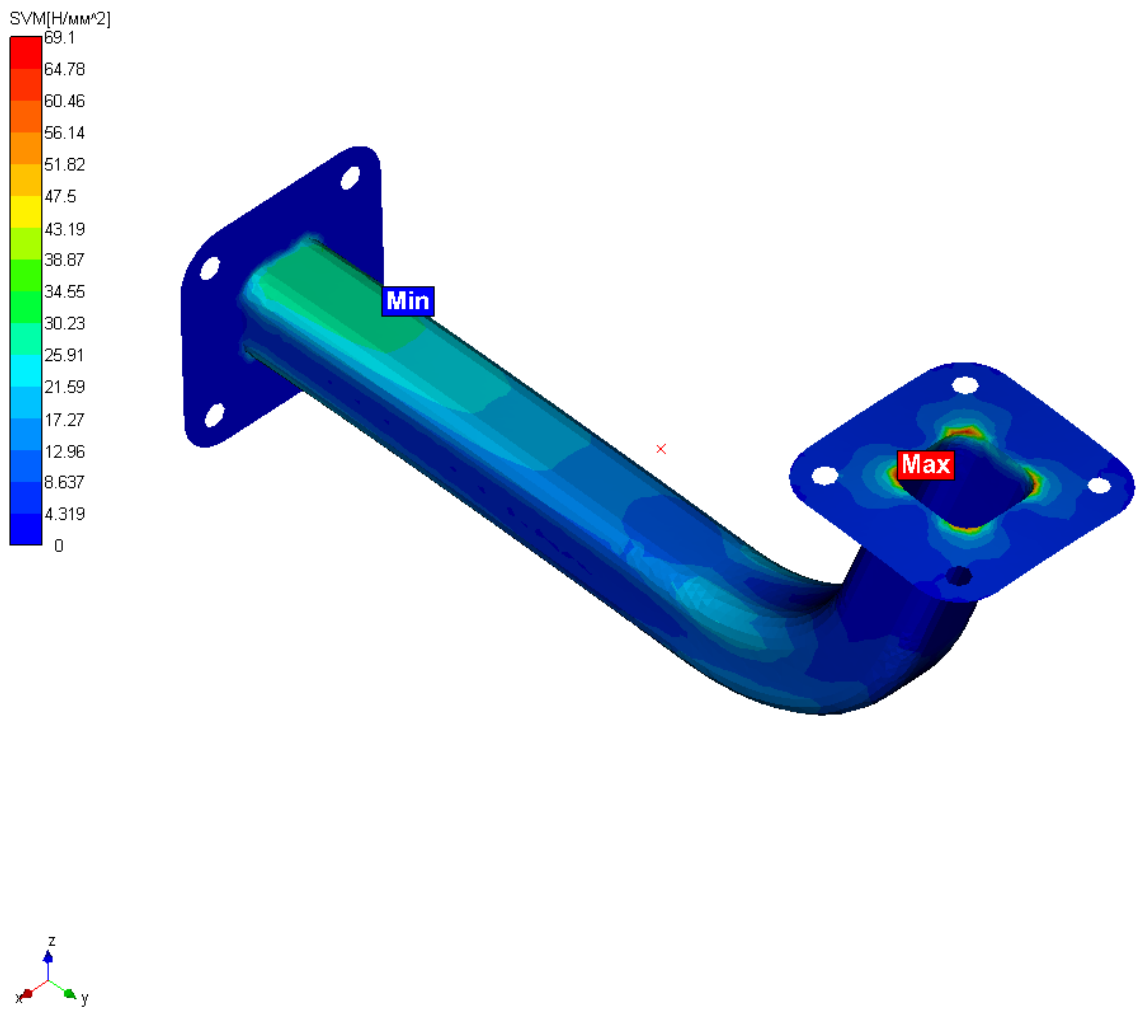


Рис. 3.8

Все остальные результаты можно просмотреть, используя методику просмотра результатов расчета модуля APM Structure3D.

Практическое задание.

Произвести прочностной расчет кронштейна, чертеж которого приведен на рис. 3.9. К горизонтальной поверхности уголка приложить распределенную силу величиной 2000 Н, направленной вертикально вниз. Крепление фланца к вертикальной стене осуществляется с помощью болтов.

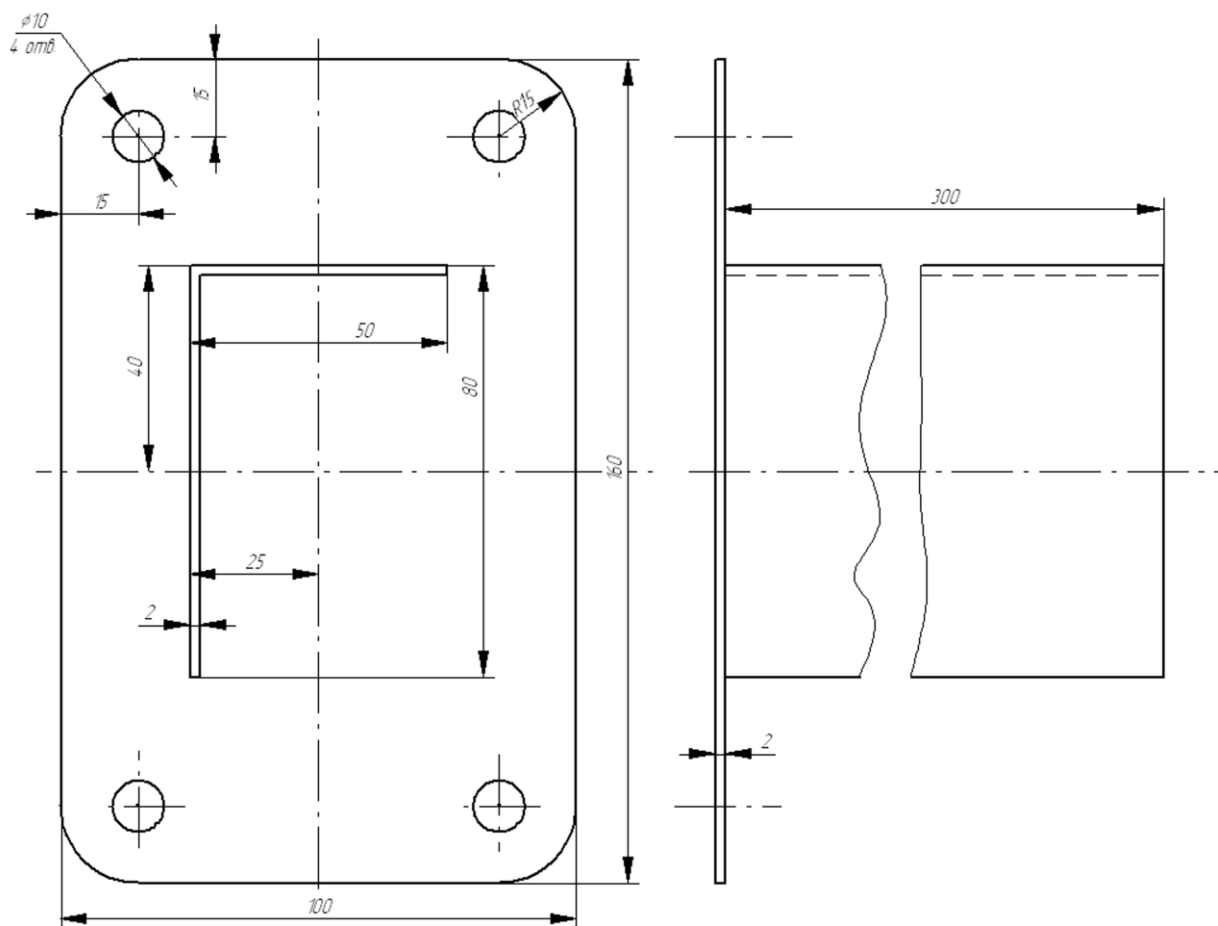


Рис. 3.9

Глава 4. Прочностной расчет твердотельной модели опоры подшипника скольжения, построенной с использованием редактора APM Studio

Общий порядок расчета

1. Построение трехмерной объемной модели конструкции.
2. Задание опор (закреплений) модели и приложение нагрузок.
3. Разбиение объемной модели опоры на конечные элементы.
4. Передача конечно-элементной сетки в модуль APM Structure3D.
5. Задание параметров материала.
6. Выполнение расчета.

Задача

Провести статический расчет модели нижней части опоры подшипника скольжения, изображенной на рис. 4.1.

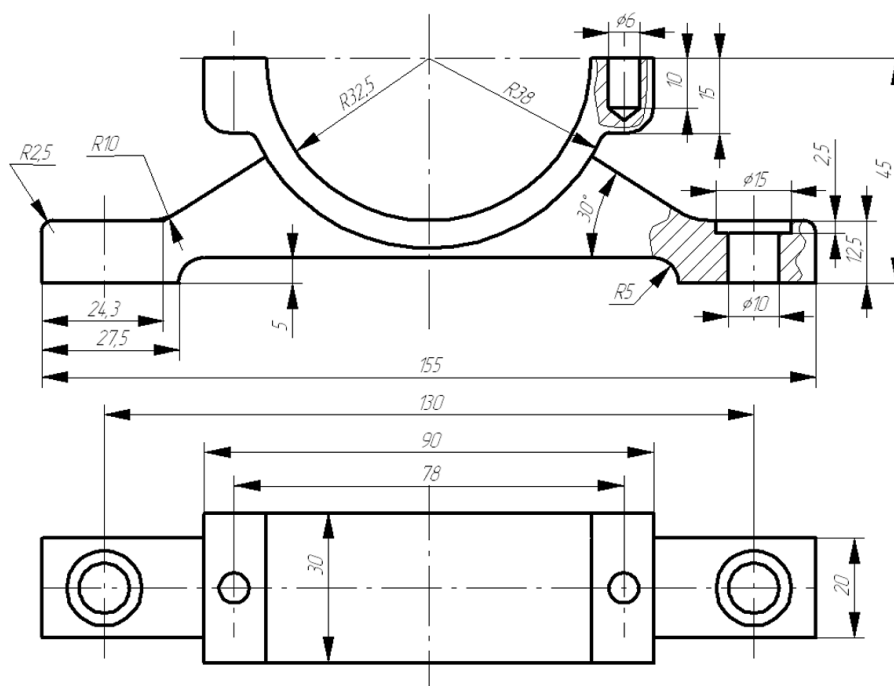



Рис. 4.1

Материал опоры — сталь 45. Основание опоры закрепляется на горизонтальной плоскости с помощью двух болтов, а к цилиндрической поверхности R32,5 приложена равномерная распределенная нагрузка величиной 14000 Н.

Решение



После запуска модуля APM Studio следует убедиться, что он находится в режиме твердотельного моделирования – режим указан в заголовке открытого окна. Если же в заголовке написано «**Поверхностное моделирование**», то для перехода в режим твердотельного моделирования необходимо нажать расположенную на панели инструментов «Файл» кнопку «Создать твердотельную модель» , что вызовет открытие окна с заголовком «**Твердотельное моделирование**».

1. Построение трехмерной объемной модели конструкции.

Построение модели проводим по следующему плану:

- a) Выбор одной из базовых плоскостей (фронтальной) для создания плоского эскиза модели.
- b) Создание образующего замкнутого контура основания опоры.
- c) Создание образующего контура рабочей поверхности опоры.
- d) Создание образующих контуров отверстий.
- e) Выталкивание образующего контура основания опоры в обоих направлениях с целью получения твердотельной модели основания.
- f) Выталкивание образующего контура рабочей поверхности в обоих направлениях с целью получения твердотельной модели рабочей поверхности.
- g) Вращение образующих контуров отверстий путем их «вычитания» из основного материала.
- h)

Рассмотрим все этапы построения модели подробно.

a) Выбор одной из базовых плоскостей (фронтальной) для создания плоского эскиза модели. Построение эскиза целесообразно организовать таким образом, чтобы ось Z (ось действия силы тяжести) была расположена в вертикальном направлении, что эквивалентно размещению эскиза в плоскости YZ глобальной системы координат, совпадающей с плоскостью экрана. Для этого в **Дереве операций** открываем папку «**Геометрия**», затем нажимаем кнопку «**Новый эскиз**»  на инструментальной панели «**Управление**», подводим курсор к надписи «**Плоскость YZ**» в **Дереве операций** и однократно щелкаем на этой надписи левой клавишей мыши. Для того чтобы плоскость эскиза совпадала с плоскостью экрана, нажимаем кнопку «**Показать плоскость**»  на панели инструментов «**Вид**».

Замечание. Для того чтобы корректно расположить создаваемую модель относительно направления действующей силы тяжести, необходимо быть уверенным, что ось Z глобальной

системы координат направлена вертикально вверх. Ось Y глобальной системы координат должна быть в этом случае направлена слева направо. Такое расположение осей глобальной системы координат соответствует виду спереди модуля конечно-элементного анализа *APR Structure3D*, в котором будет производиться прочностной расчет. Локальная система координат эскизной плоскости может при этом не совпадать с глобальной системой координат.

В этой эскизной плоскости необходимо построить образующие контуры частей нижней части опоры подшипника (рис. 4.2). На рисунке различными цветами выделены те образующие контуры, с помощью которых будут создаваться элементы твердотельной модели. Для обеспечения связанности отдельных элементов эти контуры должны иметь взаимные пересечения.

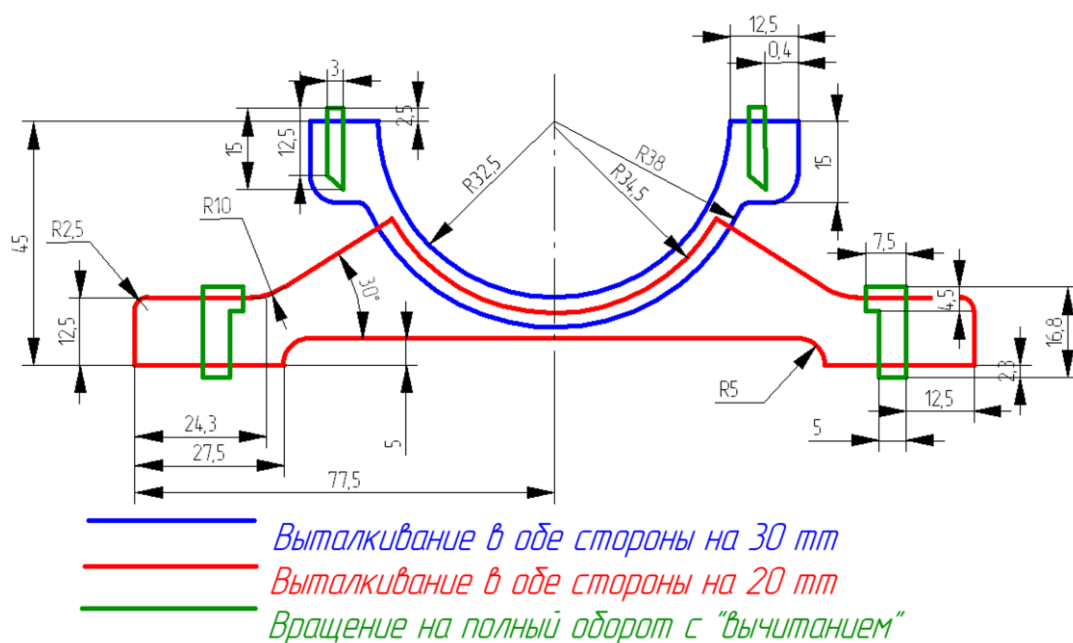



Рис. 4.2

б) **Создание образующего замкнутого контура основания опоры.** Целесообразно построить только половину контура, а вторую половину получить с помощью операции симметрирования. В качестве начальной точки (расположенной в начале системы координат эскизной плоскости) возьмем левую нижнюю точку образующего контура основания.

- Для построения **горизонтального отрезка** длиной 27,5 мм воспользуемся режимом «Отрезок», переход в который осуществляется кнопкой , расположенной на панели инструментов «Эскиз». Переводим курсор в рабочее окно редактора. В поля ввода панели инструментов «Ручной ввод» записываем координаты первой точки отрезка: $X=0$ и $Y=0$,

. Щелкаем левой кнопкой мыши, чтобы зафиксировать.

ровать введенные величины. Далее указываем координаты конечной точки, т. е. длину и угол: $L = 27.5$ (длина); $A = 0$ (угол). И снова щелчок левой кнопкой мыши. Горизонтальный отрезок создан.

- Строим **вертикальный отрезок** длиной 5 мм, начальной точкой которого будет служить конечная точка уже построенного отрезка. Координата конечной точки нового отрезка равна $L = 5$, а угол – $A = 270$. Угол, равный 270° , следует задавать для того, чтобы отрезок располагался вертикально, поскольку ось Z локальной системы координат направлена сверху вниз.

- Аналогично в направлении слева направо строим **горизонтальный отрезок** длиной 50 мм ($155/2 - 27.5 = 50$ мм) – он начинается из конечной точки второго отрезка.

- С целью определения центра дуги опорной поверхности из конца предыдущего отрезка создаем **вертикальный отрезок** длиной 40 мм ($45 - 5 = 40$ мм).

- Из точки с координатами (0, 0) строим **вертикальный отрезок** длиной 12,5 мм.

- Из конца этого отрезка в направлении слева направо создаем **горизонтальный отрезок** длиной 24,3 мм.

- Из конца предыдущего отрезка под углом 30° проводим прямую линию такой длины, чтобы она впоследствии смогла пересечь дугу радиусом $R = 34,5$ мм. Достаточно, чтобы длина такого отрезка была больше 30 мм.

- **Создание дуги с радиусом $R = 34,5$ мм.** Нажатием на панели инструментов «Эскиз» кнопки



переходим в режим «Дуга по центру, началу и углу». Переводим курсор в рабочее окно редактора, совмещаем его с определенной ранее точкой центра дуги и щелкаем левой кнопкой мыши. В поле ввода панели инструментов «Ручной ввод» записываем значение радиуса дуги $R = 34.5$, затем щелчком левой кнопки мыши фиксируем первую точку дуги таким образом, чтобы созданная дуга пересекала наклонный отрезок. Конечную точку дуги, расположенную правее вертикального отрезка оси симметрии, также фиксируем щелчком левой кнопки мыши. Дуга создана. Контур основания приобретает вид, представленный на рис. 4.3.

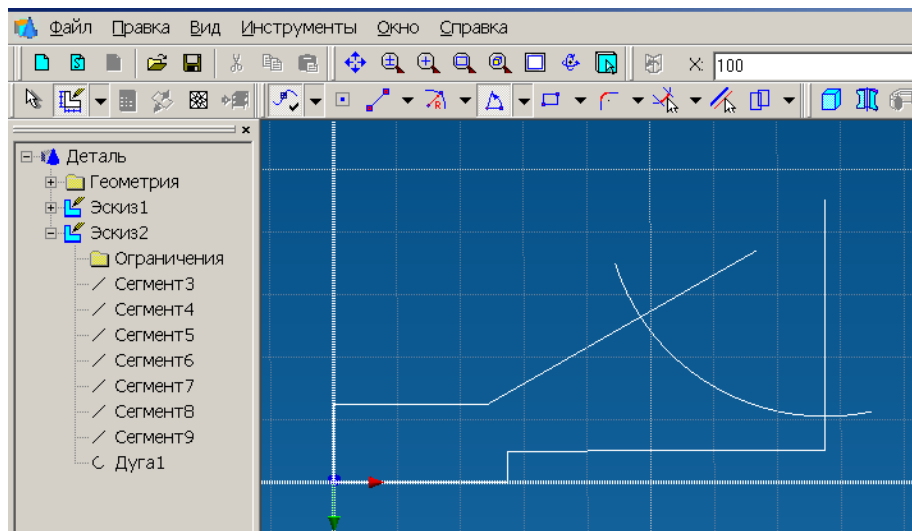






Рис. 4.3

- **Построение скруглений.** Нажимаем кнопку «Скругление»  на панели инструментов «Эскиз». Затем поочередно щелкаем на скругляемых отрезках (при этом они выделяются зеленоватым цветом). Если установить курсор внутри скругляемого угла, то на экране монитора появится динамический объект — скругление. В поле ввода панели инструментов «Ручной ввод» записываем $R=5$ и щелкаем левой кнопкой мыши. Аналогичным образом скругляем все остальные углы прямоугольника (по чертежу).


- **Удаление лишних элементов.** После выполнения скруглений следует удалить лишние части построенных элементов. Это делается в режиме, который вызывается нажатием кнопки «Усечь»  на панели инструментов «Эскиз». Для удаления части объекта достаточно щелкнуть на ней левой кнопкой мыши. При этом удалится часть объекта, ограниченная пересечениями с ближайшими объектами. Указанным образом удаляем лишние части построенных отрезков и дуги.

- **Выполнение операции зеркального копирования объекта.** Прежде чем приступить к этой операции, необходимо предварительно выделить подлежащие симметричному копированию объекты. Для этого нажимаем расположенную на панели инструментов «Управление» кнопку «Режим выбора»  и щелкаем левой кнопкой мыши на соответствующем элементе или выделяем группу элементов с помощью рамки. Выделенные элементы приобретают красный цвет.

Замечание. Напомним, что если рамка рисуется слева направо («охватывающая» рамка), то выделению подвергнутся те элементы, которые полностью попали в окно выбора. Если же рамка изображается справа налево («секущая» рамка), то выделяются все элементы модели, которые хотя бы частично попадают в эту рамку.


Для непосредственного выполнения операции симметрирования переходим в соответствующий режим нажатием кнопки **«Зеркальное отображение»**  (панель инструментов «Эскиз»). Одновременно открывается диалоговое окно **«Зеркальное отображение»**, в котором *не должен* быть установлен флажок опции **«Удалить исходные объекты»**. Теперь следует задать ось симметрии. Для этого щелкаем по начальной и конечной точкам вертикального отрезка, совпадающего с осью симметрии. После второго щелчка левой кнопкой мыши создается зеркальная копия выделенных объектов.

с) Создание образующего контура рабочей поверхности опоры.

- **Создание дуги радиусом $R = 32.5$ мм.** Переходим в режим **«Дуга по центру, началу и углу»**, нажав на панели инструментов «Эскиз» кнопку . Переводим курсор в рабочее окно редактора, совмещаем его с определенной ранее точкой центра дуги и щелкаем левой кнопкой мыши. В поле ввода панели инструментов **«Ручной ввод»** записываем значение радиуса дуги $R = 32.5$, а затем щелчком левой кнопки мыши фиксируем начальную точку дуги таким образом, чтобы эта точка располагалась выше точки геометрического центра дуги. Конечную точку дуги фиксируем щелчком левой кнопки мыши так, чтобы дуга пересекала вертикальный отрезок, совпадающий с осью симметрии. Конечную точку дуги, расположенную правее вертикального отрезка оси симметрии, также. Дуга создана. Аналогично создаем дугу с $R = 38$ мм.

- **Проводим горизонтальный отрезок** длиной $L = 32,5 + 12,5 = 45$ мм в направлении справа налево от центра дуги. Привязываясь к конечной точке этого отрезка, стоим еще два отрезка: один вертикально вниз, длиной 15 мм, а другой горизонтально в направлении справа налево, причем таким образом, чтобы он пересекал дугу радиусом с $R = 38$ мм.

- **Создание скруглений.** Производим скругление с радиусом $R = 5$ левого нижнего угла контура.

- **Удаление лишних элементов.** После выполнения скруглений следует удалить лишние части построенных элементов. Это делается в режиме, который вызывается нажатием кнопки **«Усечь»**  на панели инструментов «Эскиз». Для удаления части объекта достаточно щелкнуть на ней левой кнопкой мыши. При этом удалится часть объекта, ограниченная пересечениями с ближайшими объектами. Указанным образом удаляем лишние части построенных отрезков и дуг.

- **Выполнение операции зеркального копирования объекта.** Полученную половинку контура рабочей поверхности отображаем относительно оси симметрии с целью получения полного контура. Результат выполнения всех операций по созданию обоих контуров приведен на рис. 4.4.

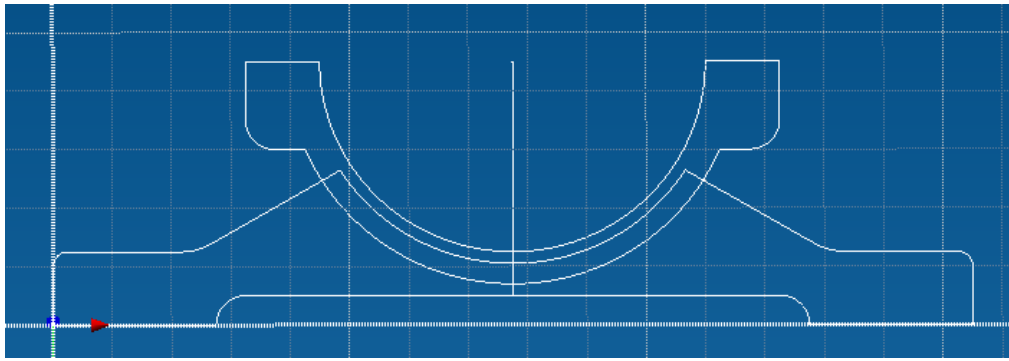


Рис. 4.4

d) Создание образующих контуров отверстий


Образующие контуры отверстий создаем замкнутыми, определяющими левую половину отверстия, таким образом, чтобы после выполнения операции вращения получилось бы отверстие определенной формы.

- Создаем замкнутые контуры половинок отверстий в левой части эскиза из отрезков, по размерам, указанным на рис. 4.2.

- После прорисовки контуров образующих отверстий проводим их симметрирование.

На этом создание замкнутых контуров во фронтальной эскизной плоскости закончено. Следующими операциями будут формообразующие операции с использованием этих контуров.

e) Выталкивание образующего контура основания опоры в обоих направлениях с целью получения твердотельной модели основания.

Нажатием кнопки «**Выталкивание**»  на инструментальной панели «**Операции**» открываем диалоговое окно «**Выталкивание**» (рис. 4.5), предназначенное для задания параметров выталкивания. Затем следует указать контур для выталкивания, щелкнув на нем левой кнопкой мыши – выбранный контур выделится цветом. В рассматриваемом случае выделению подлежат левая и правая половины контура, поэтому необходимо последовательно щелкнуть на них. Переключатель *Тип операции* для выталкивания первого контура может находиться только в положении «**Объединение**» (остальные опции неактивны).

Переключатели *Параметры выталкивания* выставляем следующим образом: выбираем «**Дистанция**» и «**Оба направления**», а в поле ввода «**Дистанция**» записываем величину **20** (мм). После нажатия кнопки «**ОК**» произойдет выталкивание контура основания симметрично относительно эскизной плоскости на расстояние 20 мм. Результат операции выталкивания контура основания изображен на рис. 4.6.

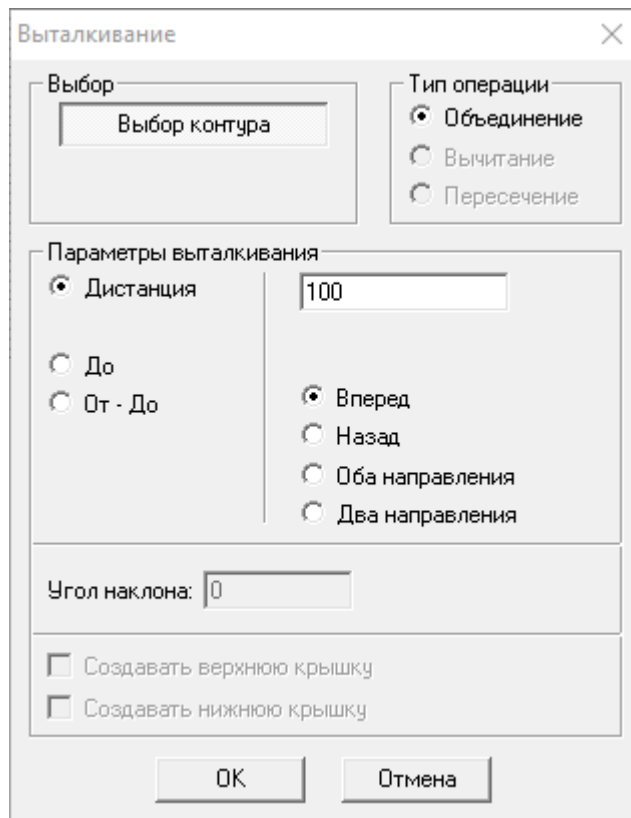


Рис. 4.5

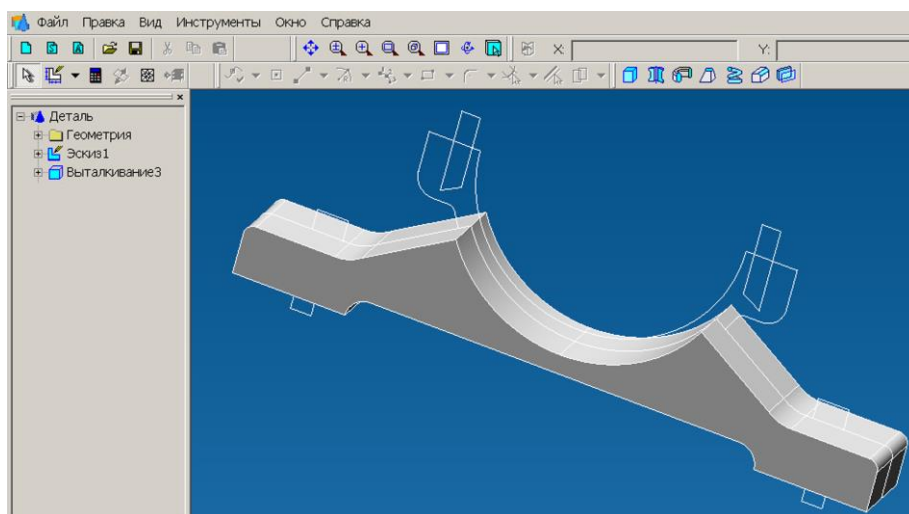


Рис. 4.6

f) **Выталкивание образующего контура рабочей поверхности в обоих направлениях с целью получения твердотельной модели рабочей поверхности.** Выталкивание контура рабочей поверхности производим аналогично выталкиванию контура основания, только при задании параметров в качестве типа операции необходимо выбрать «**Объединение**», при котором произойдет соединение твердых тел, получаемых при выталкивании пересекающихся контуров. В поле ввода «**Дистанция**» заносим число **30** (мм).

В результате выполнения этой операции получается твердотельная модель, изображенная на рис. 4.7. Она почти целиком соответствует исходному чертежу, осталось только создать отверстия.

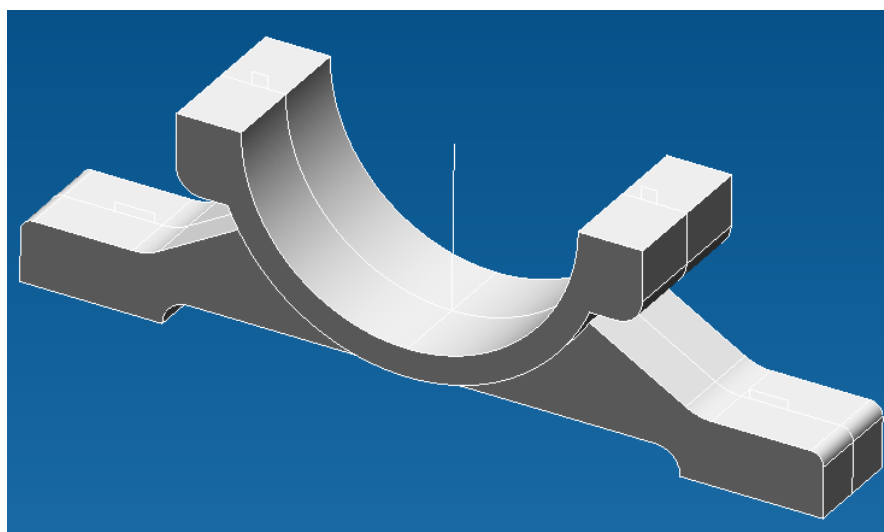



Рис. 4.7

g) **Вращение образующих контуров отверстий путем их «вычитания» из основного материала.** Построение отверстий происходит с помощью операции вращения соответствующих образующих контуров с удалением материала из образованных элементов. Переход в этот режим осуществляется нажатием кнопки «Вращение» , находящейся на инструментальной панели «Операции». Сразу же после нажатия этой кнопки открывается диалоговое окно «Вращение» (рис. 4.8), с помощью которого необходимо задать параметры операции.

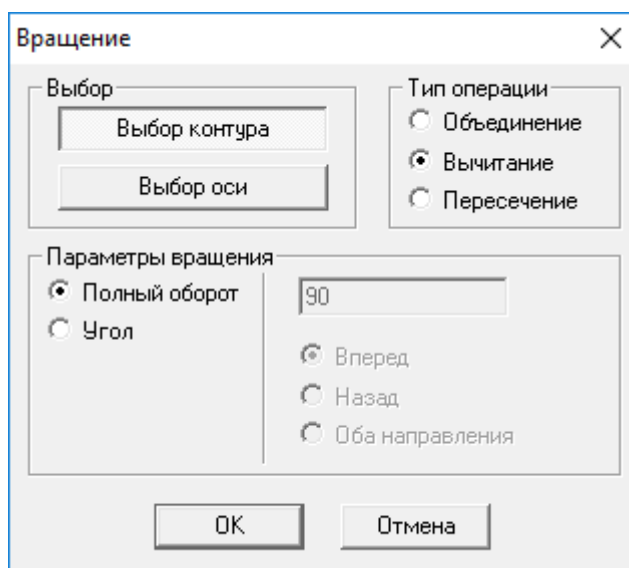


Рис. 4.8

Вначале выбираем контур для вращения (кнопка «**Выбор контура**» в диалоговом окне «**Вращение**» нажата), щелкая на нем левой кнопкой мыши. Выбранный контур выделится. Затем нажимаем кнопку «**Выбор оси**» и щелчком на соответствующем отрезке контура указываем ось вращения. Переключатель *Тип операции* ставим в положение «**Вычитание**», так как вращение происходит с удалением материала основания, а переключатель *Параметры вращения* – в положение «**Полный оборот**». После нажатия кнопки «**ОК**» произойдет вращение выделенного контура на 360° с удалением материала, в результате чего образуется необходимое отверстие.

Аналогичным образом создаем остальные три отверстия. Результат выполнения этой операции изображен на рис. 4.9.

На этом создание твердотельной модели основания опоры подшипника скольжения закончено. Для проведения прочностного расчета созданной модели конструкции можно поступить следующим образом.

Первый способ – произвести разбиение модели на КЭ и передать полученную КЭ-сетку в модуль прочностного расчета APM Structure3D, с помощью которого указать способ закрепления модели и задать действующие на нее нагрузки. После этого можно выполнить расчет.

Второй способ (более предпочтительный) – вначале задать закрепления и основные виды нагрузок, приложив их непосредственно к элементам трехмерной модели, а уже потом разбить модель на КЭ и передать сгенерированную конечно-элементную сетку с нагрузками и опорами в модуль APM Structure3D для проведения прочностного расчета.

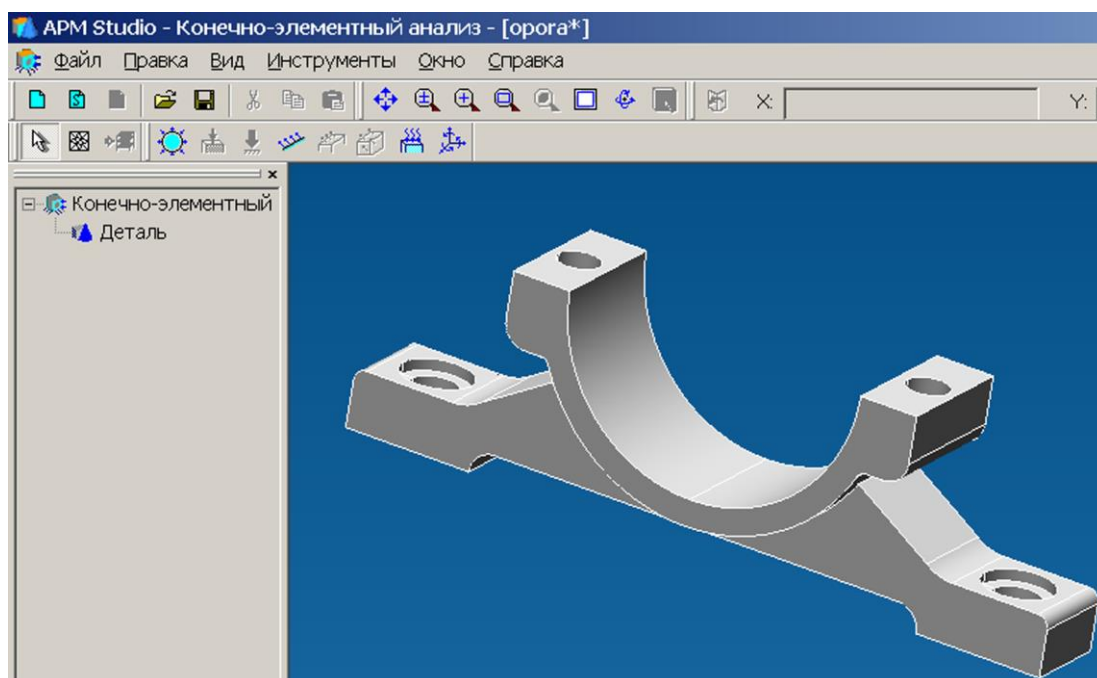




Рис. 4.9

2. Задание опор (закреплений) модели и приложение нагрузок.

Прежде всего нажатием кнопки  на панели инструментов «Файл» следует перейти в режим **конечно-элементного анализа**. После выполнения этой операции созданная ранее модель откроется в окне «**Конечно-элементный анализ**» (рис. 4.9). Все дальнейшие операции с созданной ранее моделью будем производить именно в этом окне.

Закрепления (опоры модели) задаются с помощью диалогового окна «**Закрепление**» (рис. 4.10), которое открывается нажатием кнопки «**Закрепление**» , расположенной на панели инструментов «**Нагрузки**».

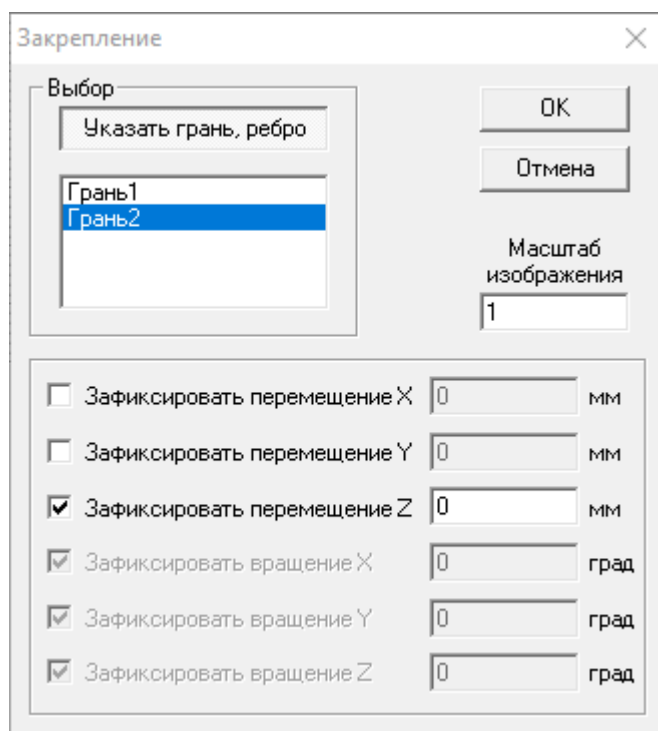



Рис. 4.10

В рассматриваемом примере нижняя плоскость опоры (см. рис. 4.1) крепится к горизонтальной плоскости с помощью болтов, поэтому при моделировании целесообразно закрепить нижнюю плоскость детали по координате Z , а в посадочных отверстиях нижних болтов запретить перемещения по осям X и Y .

Для создания закрепления на каком-либо объекте (грани или ребре) необходимо навести курсор на этот объект и щелкнуть на нем левой кнопкой мыши, после чего выбранный объект будет занесен в соответствующий список. Затем нужно указать тип закрепления этого объекта, разрешив или запретив его перемещения и повороты вокруг глобальных осей координат – это делается с помощью группы полей, расположенных в нижней части диалогового окна «**Закрепления**». В результате этих действий на выбранной поверхности появятся специальные значки,

показывающие, что заданы соответствующие закрепления, а сама операция будет добавлена в **Дерево операций**.

Аналогично задаем закрепления по осям X и Y в отверстиях болтов основания (указываем цилиндрические поверхности).

Для перехода в режим задания *распределенной нагрузки*, действующей на цилиндрическую рабочую поверхность (см. рис. 4.1) опоры подшипника скольжения в направлении, противоположном оси Z, нажимаем кнопку «**Давление**» , находящуюся на панели инструментов «**Нагрузки**». Открывается диалоговое окно «**Давление**» (рис. 4.11), с помощью которого можно задать силовые факторы, действующие на выделенный объект (грань). Выделение объекта, как обычно, производится щелчком левой кнопкой мыши после предварительного наведения курсора на этот объект.

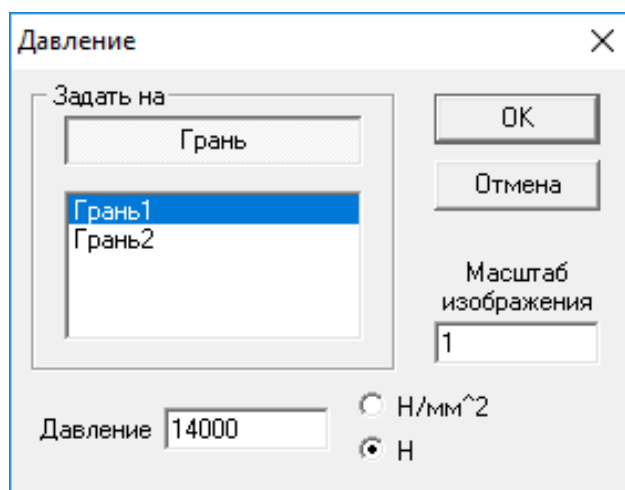



Рис. 4.11

Заметим, что в качестве силового фактора может выступать как сила (что и имеет место в рассматриваемом случае), так и давление. С этой целью в окне «**Давление**» имеется специальный переключатель размерностей. В соответствии с условиями данной задачи на цилиндрическую поверхность опоры подшипника действует сила величиной 14000 Н, поэтому этот переключатель ставим в положение «**Н**», а в поле ввода «**Давление**» записываем величину силы — **14000**. Направление силы контролируем по стрелкам, которые появляются в поле окна конечно-элементного анализа, и при необходимости меняем направление изменением знака величины силы.

На этом задание закреплений модели приложение к ней нагрузок заканчивается.

3. Разбиение объемной модели на конечные элементы.


Нажимаем кнопку «КЭ сетка»  на панели инструментов «Управление» и в поле ввода «Шаг разбиения» открывшегося диалогового окна «Параметры разбиения» указываем величину шага разбиения – например, **2 мм**, с тем чтобы окружности и дуги созданной модели были описаны корректно.

После нажатия кнопки «ОК» начинается процедура разбиения модели. Сгенерированная конечно-элементная (КЭ) сетка открывается в отдельном окне, и если по каким-либо параметрам она не устраивает пользователя, то это окно может быть закрыто, а разбиение произведено заново.

В левом верхнем углу окна «Конечно-элементная сетка» открывается специальное диалоговое окно инструмента «Глубина просмотра», позволяющее визуально контролировать качество полученных конечных элементов по объему детали. Для проверки качества полученных конечных элементов нужно с помощью мыши перемещать движок глубины просмотра в направлении слева направо. Вслед за смещением движка плоскость отсечения конечных элементов будет удаляться. Конечные элементы, находящиеся перед этой плоскостью, не будут показываться на экране монитора. Это дает возможность посмотреть на элементы, находящиеся внутри сплошного материала, и оценить их качество. Для того чтобы закрыть диалоговое окно «Глубина просмотра», нужно сделать это окно активным, щелкнув на нем левой кнопкой мыши, а затем нажать кнопку **Esc** на клавиатуре.

Полученная КЭ-сетка вместе с действующими на модель нагрузками и заданными опорами (или без них) может быть сохранена в отдельном файле, а затем импортирована в модуль прочностного расчета APM Structure3D. Можно также передать построенную модель непосредственно в APM Structure3D без ее промежуточного сохранения.

4. Передача конечно-элементной сетки в модуль APM Structure3D.

Для передачи КЭ-сетки в модуль APM Structure3D нажимаем кнопку «Передать КЭ сетку в APM Structure3D» , расположенную на панели инструментов «Управление». Вслед за этим запускается модуль APM Structure3D с открытой в нем КЭ-сеткой модели с приложенными нагрузками и установленными опорами (рис. 4.12).

Важно!!! Все дальнейшие действия выполняются с помощью команд модуля APM Structure3D.

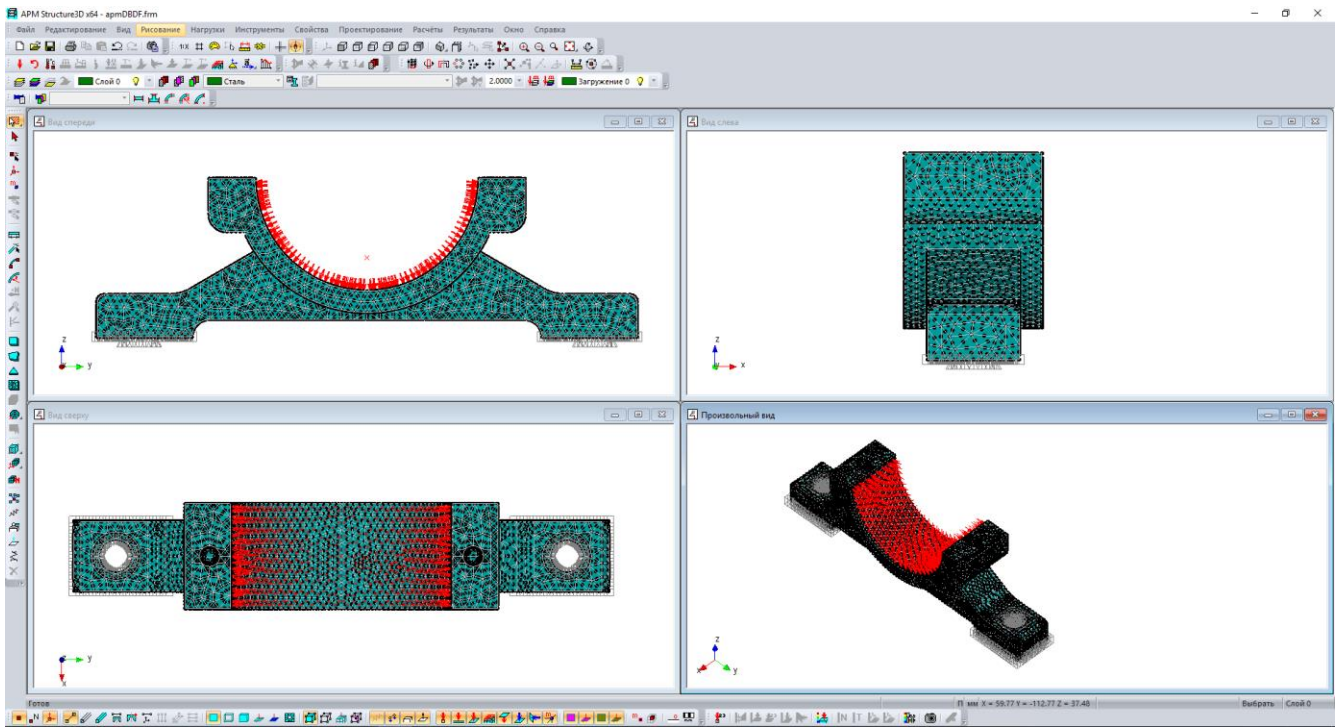



Рис. 4.12

5. Задание параметров материала

Перед выполнением расчета необходимо присвоить всем объемным элементам созданной модели параметры материала, предварительно добавив нужный материал в *список материалов*. Делается это следующим образом.

Вначале на панели инструментов «Свойства» нажимаем кнопку «Материалы»  (меню **Свойства/Материалы...**). Затем в открывшемся диалоговом окне «Материалы» нажимаем кнопку «Добавить...», после чего открывается диалоговое окно «Материал» (рис. 4.13).

С помощью полей ввода этого окна можно задать необходимые параметры материала, которые затем будут присвоены элементам модели. Можно также выбрать параметры стандартного материала, обратившись к базе данных нажатием кнопки «ДБ...». В рассматриваемом случае в качестве материала по условию задачи следует взять *Сталь 45*. Этот материал имеется в базе данных, поэтому нажимаем кнопку «ДБ...» и в открывшемся диалоговом окне «База данных по материалам» (рис. 4.14) выбираем из выпадающего списка *Типы материалов* – **Сталь конструкционная (прокат толстолистовой)**, а из выпадающего списка *Подгруппы* – **В нормализованном состоянии**.

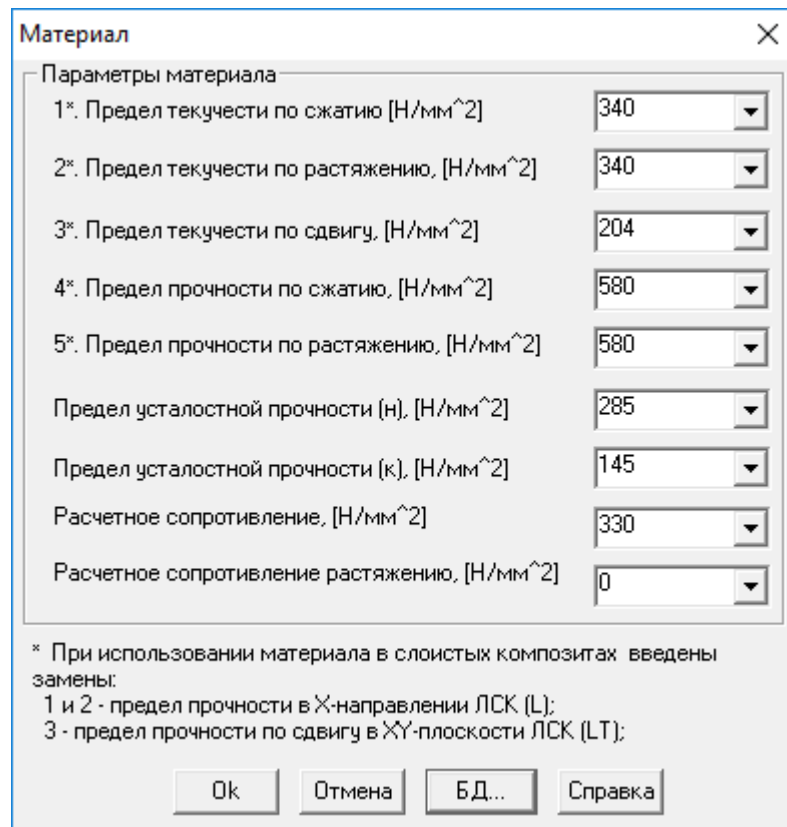


Рис. 4.13

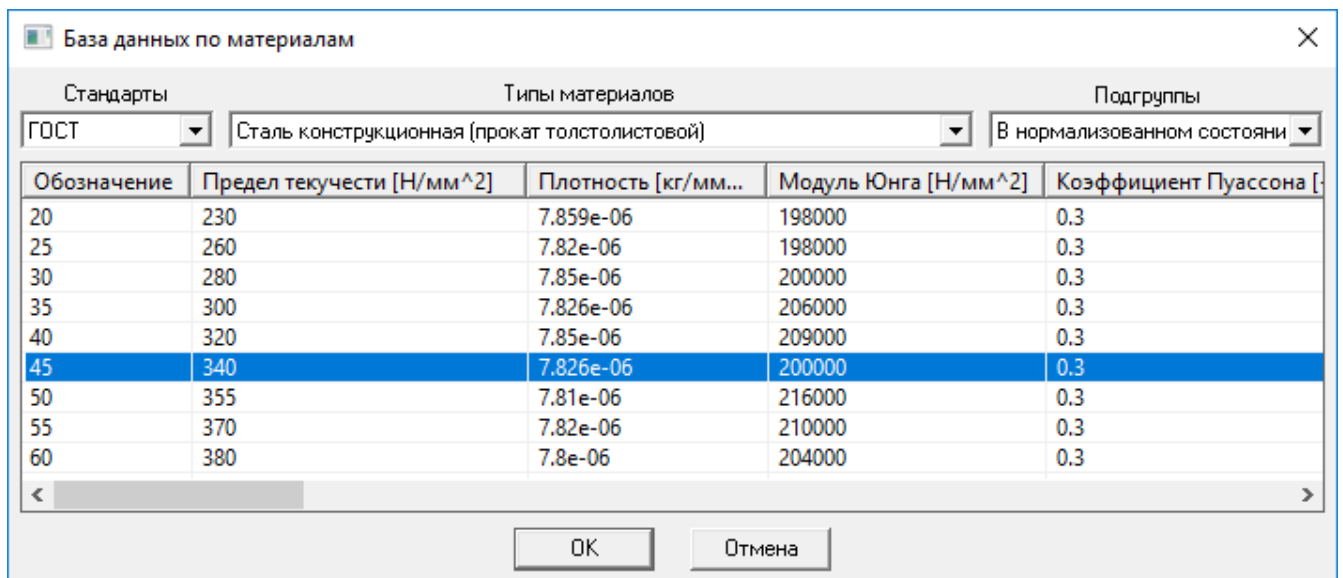


Рис. 4.14

Далее в окне со списком материалов выбираем **45** и нажимаем кнопку «**ОК**». После этого название и параметры выбранной стали переписутся в соответствующие поля ввода диалогового окна «**Материал**» (см. рис. 4.13), а новый материал появляется в списке материалов рассматриваемой модели.

Для того чтобы присвоить свойства материала *Сталь 45* всем элементам модели конструкции, следует в диалоговом окне «**Материалы**» вначале выделить этот материал, щелкнув

по его названию левой кнопкой мыши, а затем нажать кнопку «Задать всем». В результате всем конечным элементам модели присвоятся свойства материала *Сталь 45*.

Таким образом, конечно-элементная модель опоры подшипника полностью подготовлена к проведению прочностного расчета.

6. Выполнение расчета.

Для запуска модели конструкции на расчет следует выбрать в меню **Расчет** пункт **Расчет...** и в открывшемся диалоговом окне «**Расчет**» отметить флажком тот тип расчета, который необходимо выполнить – в рассматриваемом случае это **Статический расчет**.

После выполнения расчета можно визуализировать его результаты расчета в графическом или числовом виде. В качестве примера на рис. 4.15 представлена карта напряжений, возникающих в модели конструкции опоры подшипника.

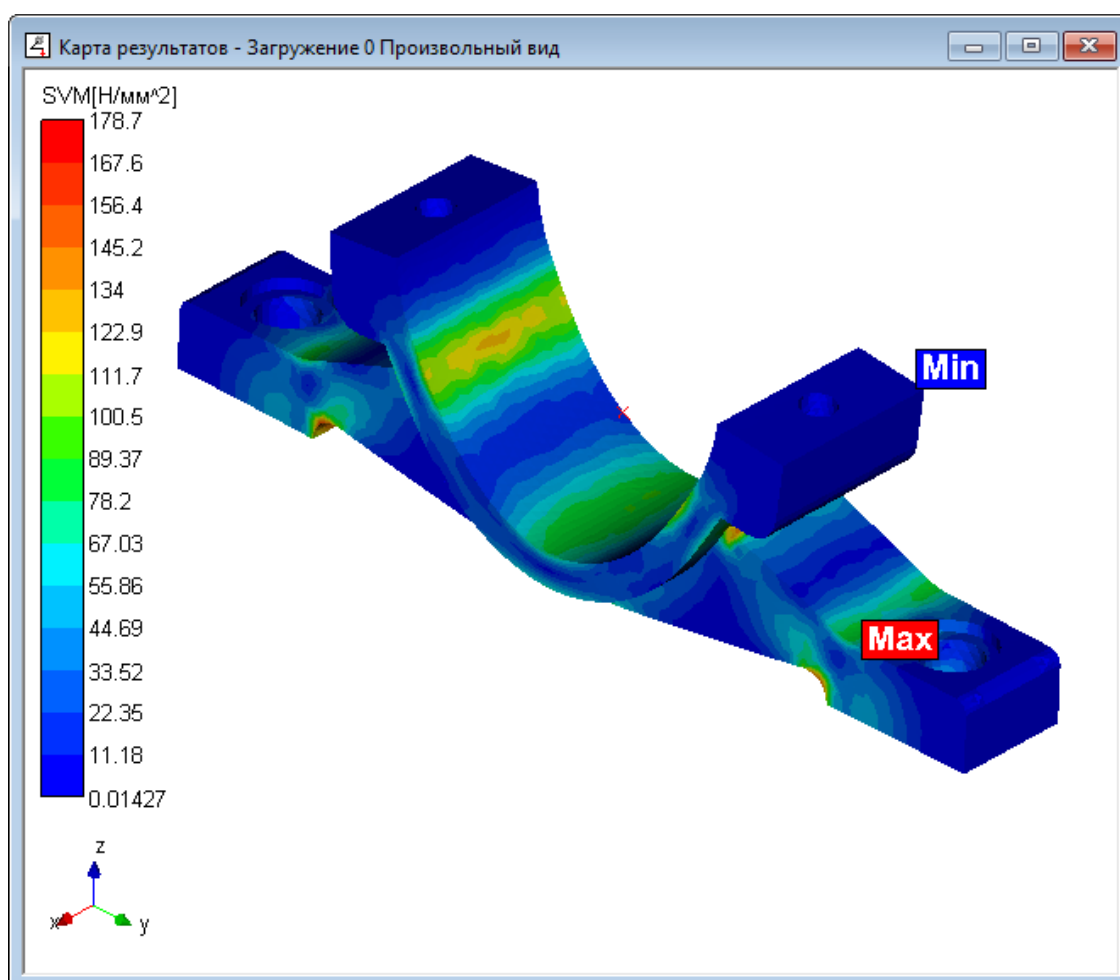


Рис. 4.15

Все остальные результаты расчета можно просмотреть, используя методику просмотра результатов расчета модуля APM Structure3D.

Практическое задание.

Выполнить статический расчет торцевого ключа, изображенного на рис. 4.16. К ручке торцевого ключа приложена горизонтальная сила величиной 500 Н. Опорой служит отвинчиваемая гайка, на которую надевается торцевой ключ.

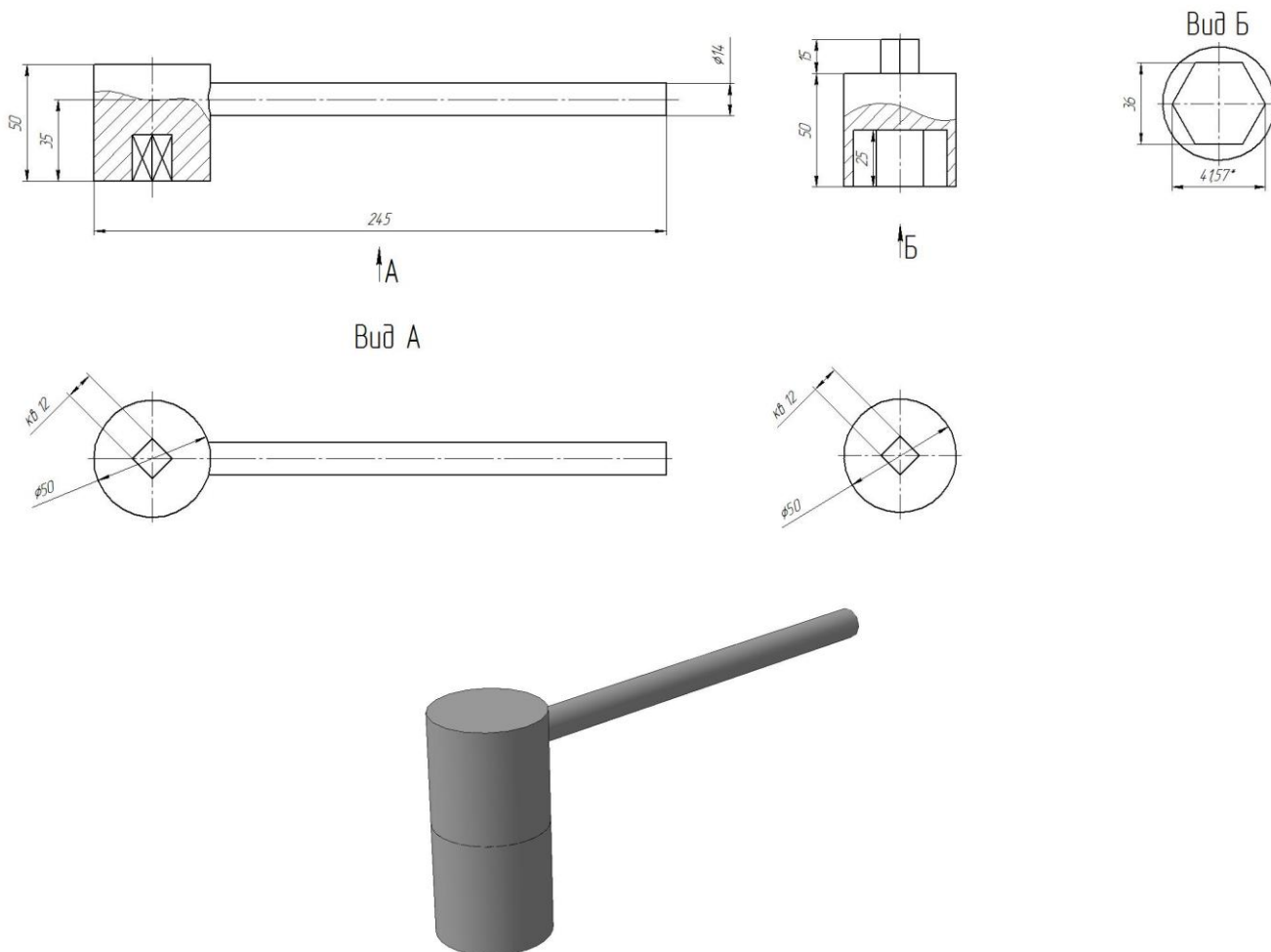



Рис. 4.16

Рекомендации:

1. В ручном режиме создать поверхности контакта двух деталей.
2. Нагрузку задавать на грани рукоятки ключа, используя кнопку «Удельная сила

по длине» . При этом значение нагрузки равно $F/l=2.272$ Н/мм.

Для упрощения возможна загрузка 3D-модели ключа в формате step.

Глава 5. Проектировочный расчет косозубой зубчатой передачи внешнего зацепления в модуле APM Trans

Общий порядок расчета

1. Выбор типа передачи.
2. Выбор типа расчета: проектировочный или проверочный.
3. Задание основных параметров.
4. Задание дополнительных параметров (если необходимо).
5. Задание графика режима работы (если по условию передача работает в нестандартном режиме).
6. Выполнение расчета.
7. Просмотр результатов расчета.
8. Генерация чертежа спроектированной передачи.
9. Вывод результатов расчета на печать.
10. Вывод результатов расчета в файл формата *.rtf.

Задача


Выполнить проектировочный расчет однопоточной косозубой зубчатой передачи внешнего зацепления со следующими параметрами:

- момент на выходе — 800 Н·м;
- частота вращения выходного вала — 120 об/мин;
- передаточное число — 3,15;
- ресурс — 20000 часов;
- термообработка зубчатых колес — закалка ТВЧ до твердости 50 HRC;
- режим работы — нестандартный, задается пользователем;
- расположение шестерни относительно опор вала — симметричное.

Кроме того, требуется обеспечить заданное межосевое расстояние — 120 мм.

Решение


1. Выбор типа передачи.

Нажимаем кнопку «**Выбор типа передачи**»  (меню **Тип/Передачи**) и в открывшемся диалоговом окне «**Выберите тип передачи**» выбираем «**Косозубая внешнего зацепления**».

2. Выбор типа расчета.

В меню **Тип/Расчета** выбираем **«Проектировочный»**.

3. Задание основных параметров.

Нажимаем кнопку **«Ввод исходных данных»**  (меню **Данные**) и в поля ввода открывшегося диалогового окна **«Основные данные»** записываем запрашиваемые параметры в соответствии с исходными данными (кроме значения требуемого межосевого расстояния):

- **«Момент на выходе»** — 800 [Н·м];
- **«Обороты на выходе»** — 120 [об/мин];
- **«Передаточное число»** — 3.15;
- **«Требуемый ресурс»** — 20000 [час];
- **«Число зацеплений»** для шестерни — 1;
- **«Число зацеплений»** для колеса — 1.

Из выпадающего списка **«Термообработка»** для шестерни и колеса выбираем **«Закалка»**.

Из выпадающего списка **«Режим работы»** выбираем **«Задан пользователем»** (о задании графика режима работы подробно рассказано в п. 5).

Из выпадающего списка **«Крепление шестерни на валу»** выбираем **«Симметрично»**.

4. Задание дополнительных параметров.

- **Задание межосевого расстояния.** Для задания требуемого межосевого расстояния нажимаем кнопку **«Еще...»** в окне **«Основные данные»** и в соответствующем поле ввода открывшегося диалогового окна **«Дополнительные данные»** вводим значение требуемого межосевого расстояния. Поля с остальными параметрами оставляем незаполненными (нулевыми).

- **Задание коэффициента смещения инструмента.** По умолчанию в соответствующем поле стоит значение **0**, т. е. предполагается, что нарезание происходит без смещения. После закрытия диалогового окна **«Дополнительные данные»** программа запрашивает, оставлять ли это значение или автоматически подобрать коэффициент смещения для шестерни и колеса (исходя из того, что по условию значение межосевого расстояния есть целое число).


5. Задание графика режима работы.

После закрытия диалоговых окон с данными (основными и дополнительными) откроется диалоговое окно **«Режим нагружения»** (рис. 5.1). В плоскости этого окна вводим координаты точек графика режима работы, а затем выбираем тип их соединения, в данном случае **«Сплайн»**.




Рис. 5.1

6. Выполнение расчета.

Нажимаем кнопку «Расчет»  (меню «Расчет»). После окончания расчета становится активной кнопка «Результаты» (меню «Результаты»).

7. Просмотр результатов расчета.

Для просмотра результатов расчета нажимаем кнопку «Результаты»  (меню «Результаты»). В открывшемся диалоговом окне «Результаты» необходимо указать флажками те виды результатов, которые интересуют пользователя (основные результаты, параметры материала, силы в зацеплении и т. д.), и нажать кнопку «Продолжить» для последовательного просмотра выбранных результатов.

8. Генерация чертежа спроектированной передачи.

В диалоговом окне «Результаты» флажком отмечаем пункт «Чертеж...». После нажатия кнопки «Продолжить» выбираем, какой из элементов передачи (ведущий или ведомый) требуется начертить. В открывшемся при этом диалоговом окне «Черчение» (рис. 5.2) необходимо сделать некоторые настройки.

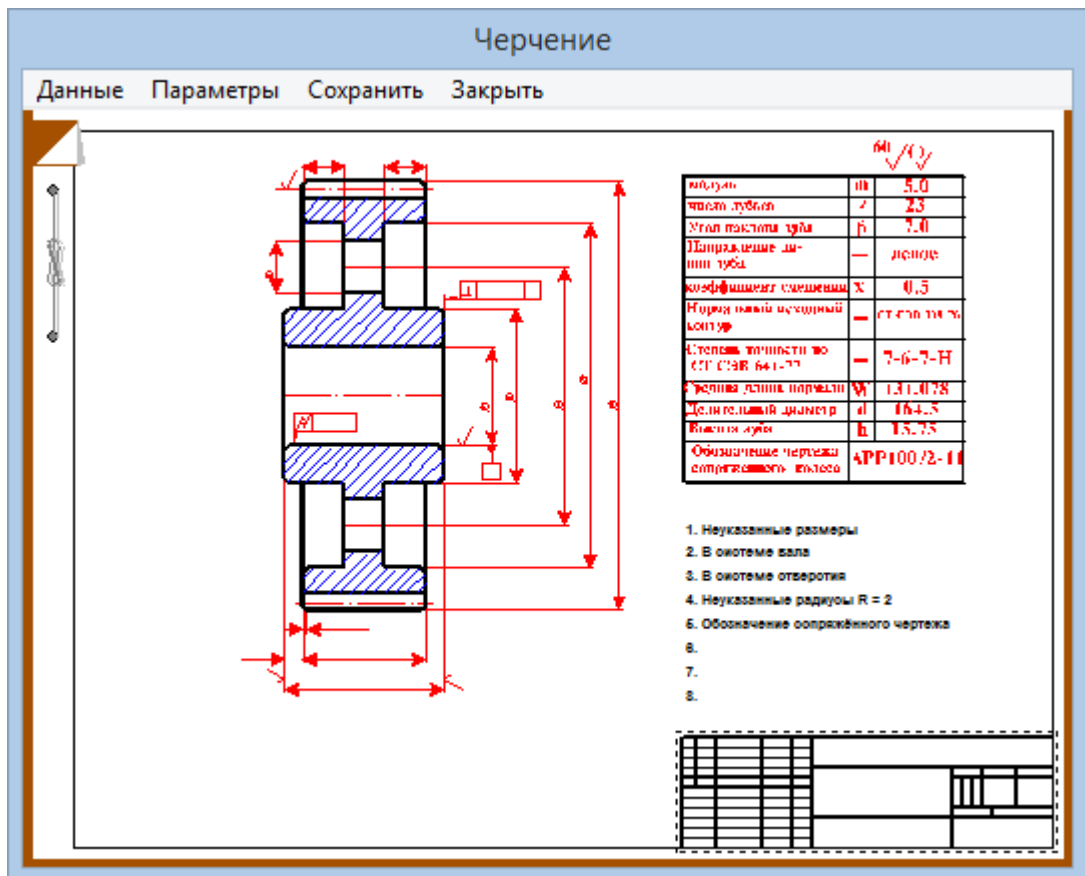


Рис. 5.2

- **Выбор типа ступицы.** Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области изображения колеса (меню **Данные/Исполнение...**) вызывает открытие диалогового окна «**Выберите тип ступицы**» (рис. 5.3). Тип ступицы зубчатого колеса выбираем щелчком на одной из трех кнопок этого окна.

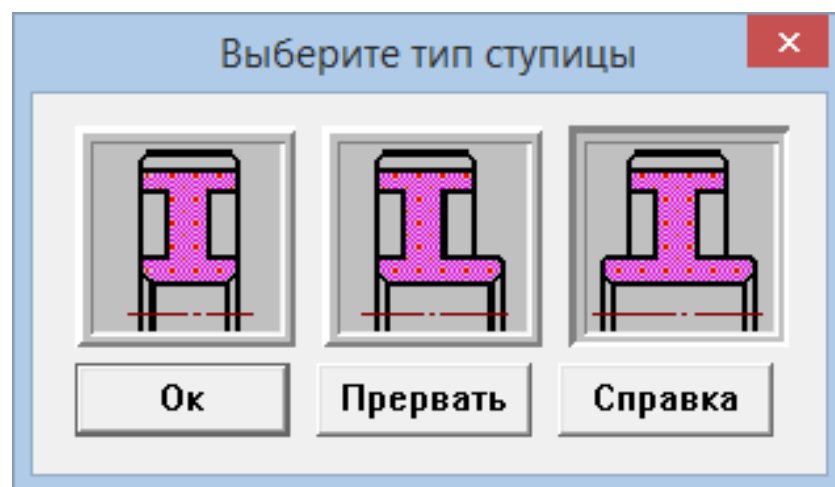


Рис. 5.3

После подтверждения выбора типа ступицы (т. е. нажатия кнопки «Ок» в окне «**Выберите тип ступицы**») открывается еще одно диалоговое окно – «**Выберите соединение**» (рис. 5.4). Кнопки этого окна соответствуют следующим типам соединений (в направлении сверху вниз):

- соединения колеса с валом с натягом;
- шпоночное соединение;
- шлицевое соединение.

Выбрав подходящий тип соединения, необходимо щелкнуть на соответствующей ему кнопке.

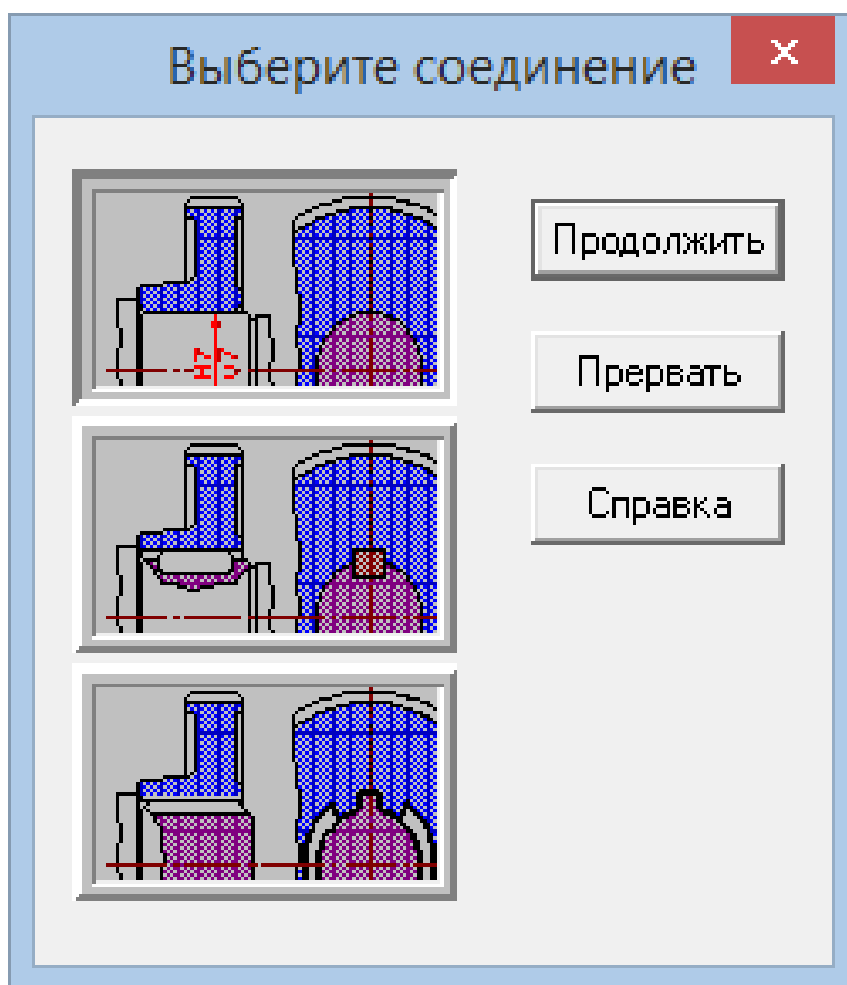


Рис. 5.4

Затем следует нажать кнопку «**Продолжить**» и в полях открывшегося диалогового окна «**Размеры конструкции**» (рис. 5.5) уточнить габаритные и присоединительные размеры.

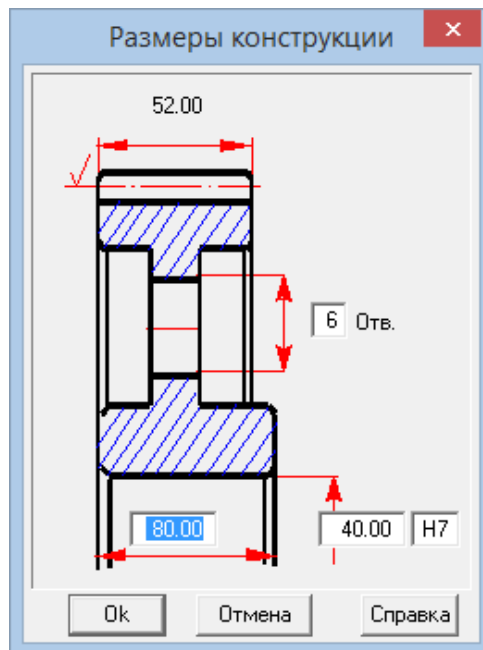


Рис. 5.5

Нажатием кнопки «Ок» завершаем ввод настроек зубчатого колеса.

- Задание параметров зацепления.** Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области таблицы параметров в диалоговом окне «Черчение» (см. рис. 5.2) или выбор в меню **Данные/Таблица зацепления...** вызывает открытие диалогового окна «Таблица зацепления» (рис. 5.6). Пользователь может изменить значения параметров, записанные в полях с белым фоном. Нажатием кнопки «Контр. Параметры» можно добавить в таблицу соответствующие контрольные параметры колеса.

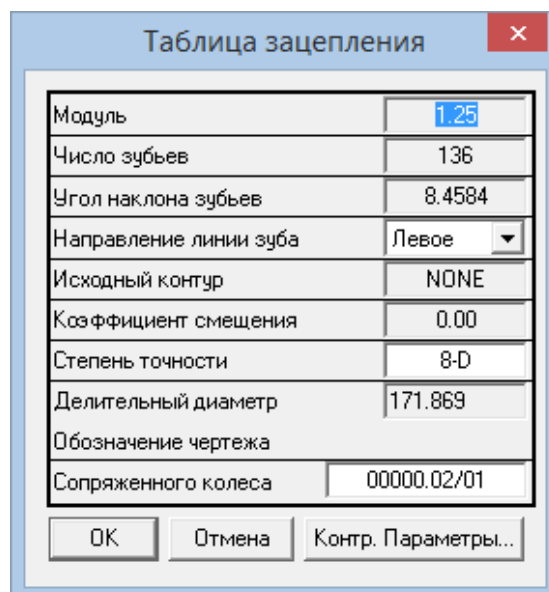


Рис. 5.6

- **Задание технических требований.** Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области списка с техническими требованиями (меню **Данные/Технические требования...**) вызывает открытие диалогового окна «**Технические требования**» (рис. 5.7). Пользователь может изменить параметры, записанные в полях с белым фоном.

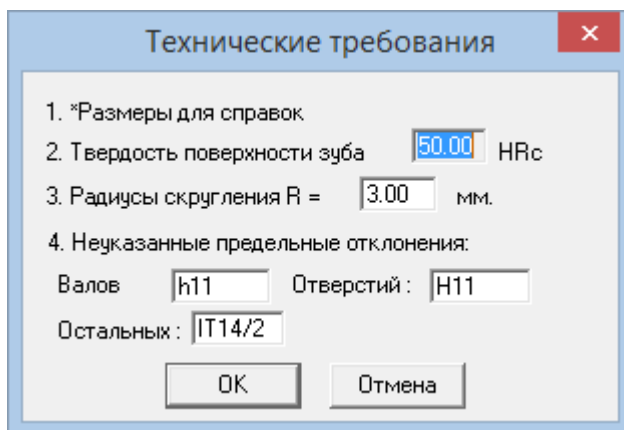


Рис. 5.7

- **Заполнение основной надписи.** Двойным щелчком левой кнопкой мыши в области основной надписи чертежа (меню **Данные/Штамп...**) открываем диалоговое окно «**Заполнение штампа**» (рис. 5.8), в полях ввода которого можно указать фамилии исполнителей и дату, а также выбрать масштаб чертежа, формат чертежа и т. д.

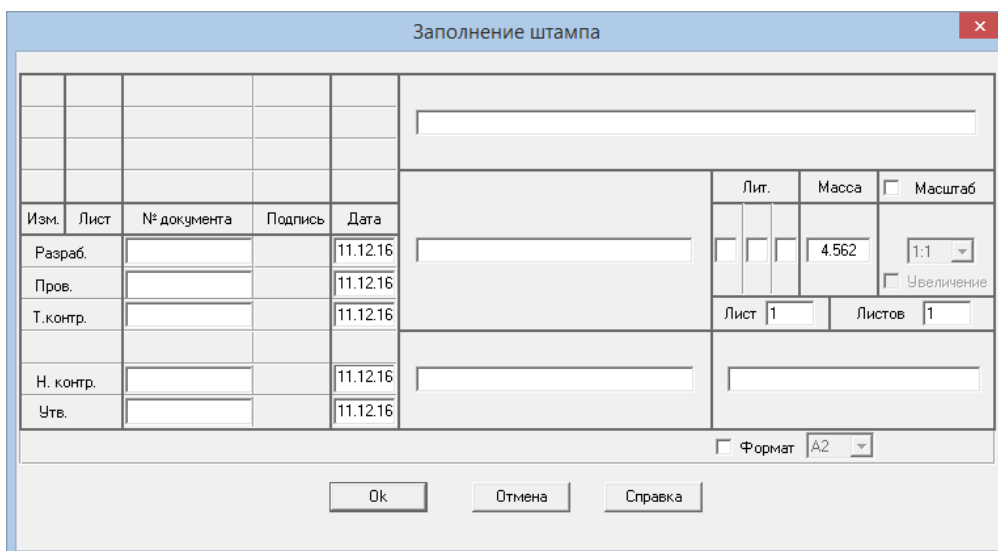


Рис. 5.8

- **Сохранение чертежа.** Для завершения генерации чертежа необходимо в окне «**Черчение**» (см. рис. 5.2) выбрать пункт меню **Сохранить...** и сохранить этот чертеж как файл с расширением ***.agr**. После этого произойдет запуск плоского графического редактора ARМ Graph, в окне которого и будет показан чертеж рассчитанного зубчатого колеса (рис. 5.9).

Глава 6. Общий расчет вала в модуле APM Shaft

Общий порядок расчета

1. Создание модели вала.
2. Задание опор вала.
3. Задание нагрузок.
4. Задание параметров материала вала.
5. Выполнение расчета.
6. Просмотр результатов расчета.
7. Генерация чертежа вала.
8. Вывод результатов расчета на печать.
9. Вывод результатов расчета в файл формата *.rtf.

Задача

Выполнить общий расчет вала (см. рис. 6.1) на усталостную прочность. На вал действуют следующие нагрузки:

- $T_1 = T_2 = 2000 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- $F_{r1} = 4,9 \text{ кН}$;
- $F_{a1} = 1,87 \text{ кН}$;
- $F_{t1} = 13,3 \text{ кН}$;
- $F_{r2} = 14,76 \text{ кН}$;
- $F_{a2} = 5,6 \text{ кН}$;
- $F_{t2} = 40 \text{ кН}$;
- $M_{a1} = M_{a2} = 280 \text{ Н}\cdot\text{м}$.
-

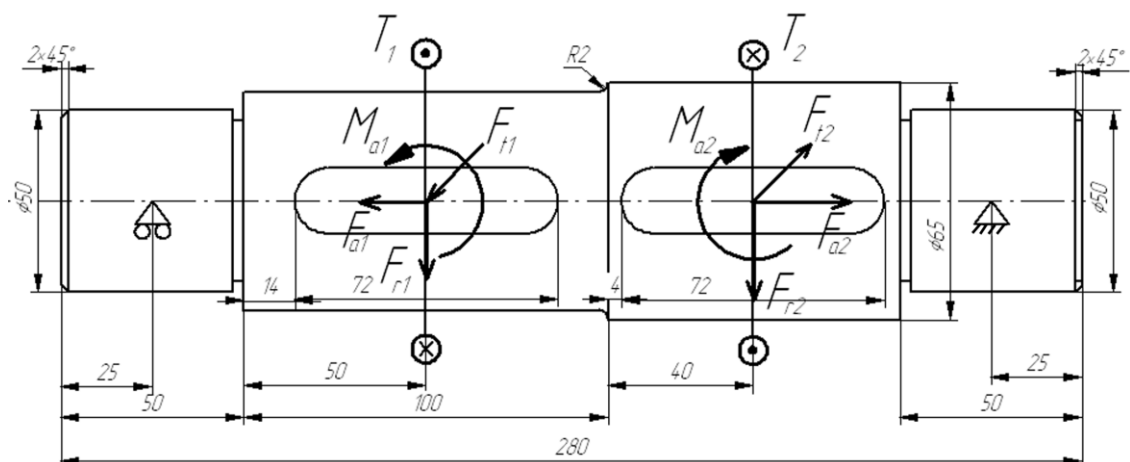


Рис. 6.1


Шпоночные канавки взять стандартные, из базы данных. Правая опора воспринимает результирующую осевую нагрузку.

Материал вала — Сталь 55, частота вращения вала — 200 об/мин; ресурс работы — 20000 часов, режим нагружения — постоянный.

Решение

1. Создание модели вала.

1.1. Создание цилиндрических секций. Поскольку вал состоит из цилиндрических секций, то достаточно подробно рассмотреть создание только одной из этих секций, например, левой.

Переходим в режим создания цилиндрической секции нажатием кнопки «Цилиндр»  (меню **Задать/Цилиндр**). Курсор приобретает характерный вид цилиндра, причем точное позиционирование производится указателем курсора (в виде крестика). Фиксируем указателем курсора произвольную точку поля редактора, затем нажимаем левую кнопку мыши, и, не отпуская ее, создаем прямоугольник, моделирующий цилиндрическую секцию вала. Текущие размеры прямоугольника (диаметр и длина цилиндрической секции) динамически отображаются в строке статуса.

Гораздо удобнее не следить за текущими размерами секции, а сначала схематически изобразить произвольную секцию, а потом откорректировать ее параметры, т.е. отредактировать созданную секцию. Для этого следует щелкнуть правой кнопкой мыши на созданной секции и изменить параметры, записанные в полях открывшегося диалогового окна «Секция вала» (рис. 6.2).

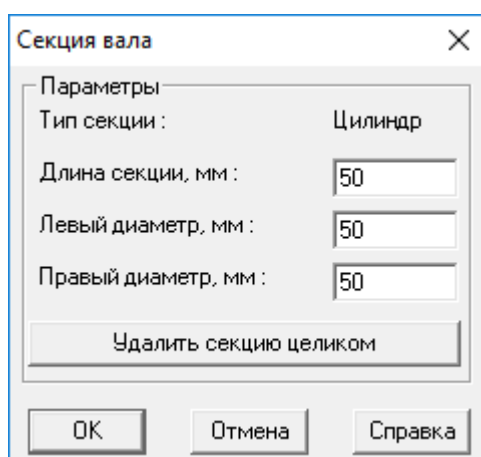





Рис. 6.2

Аналогичным образом создаем три оставшиеся цилиндрические секции вала (в соответствии с размерами), каждая из которых будет автоматически соосно присоединяться к предыдущей секции.

1.2. Создание на секциях вала фасок. Переходим в соответствующий режим нажатием кнопки «Фаска»  (меню **Задать/Фаска**) и щелкаем указателем курсора (в этом режиме он имеет вид крестика) вблизи границы сегмента. В поля ввода открывшегося диалогового окна «Фаска» записываются параметры создаваемой фаски.

1.3. Создание скруглений (галтелей) на заплечиках вала. Нажимаем кнопку «Галтель» , а затем щелкаем крестиком курсора на границе между двумя сегментами. После этого откроется диалоговое окно «Галтель», в поля которого записываются параметры создаваемой галтели.

1.4. Создание канавки для выхода шлифовального круга. Нажимаем кнопку «Канавка»  (меню **Задать/Канавка**) и щелкаем крестиком курсора на границе между двумя сегментами. Это приводит к появлению окна «Выбор типа канавки» (рис. 6.3) со схематическим изображением трех типов канавок, которые можно создать на валу.

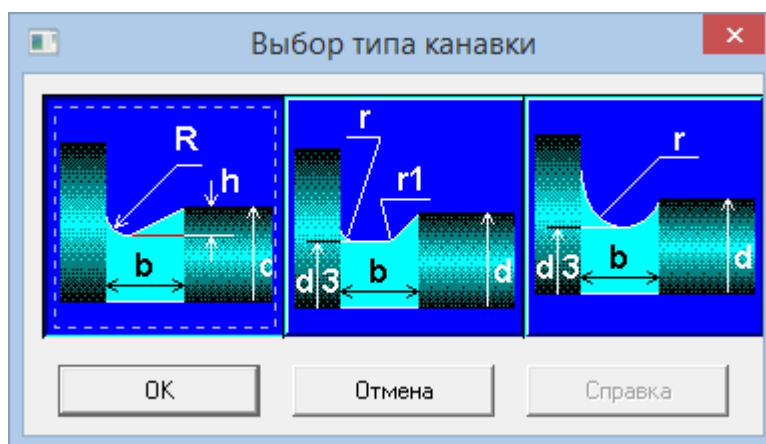


Рис. 6.3

Для выбора типа создаваемой канавки щелкаем левой кнопкой мыши на изображении выбранного типа канавки и нажимаем кнопку «ОК».


Замечание. Следует иметь в виду, что не все типы канавок могут быть созданы на границах цилиндрических сегментов. Если выбран такой тип канавки, который невозможно создать в конкретных условиях, программа выдаст соответствующее сообщение.

После выбора типа создаваемой канавки откроется диалоговое окно «Канавка» (рис. 6.4). В правой части этого окна показывается таблица с соотношениями параметров канавки для различных диаметров валов, а в полях ввода его нижней части показываются (красным цветом) те параметры

канавки, которые подходят для этой секции вала. При желании эти значения могут быть изменены. Создание канавки для выхода шлифовального круга завершается нажатием кнопки «**Ок**».



Рис. 6.4

1.5. Создание шпоночных канавок. В рассматриваемом примере на цилиндрической секции вала длиной 100 мм требуется создать шпоночную канавку, закругленную с обоих концов. Для создания таких шпоночных канавок следует вначале нажать кнопку «**Закругленная шпонка**»  (меню **Задать/Шпонка/Закругленная с двух сторон**) и установить указатель курсора в точке начала шпоночной канавки (точка определяется приблизительно). Затем нужно нажать левую кнопку мыши и, не отпуская ее, создать прямоугольник, длина которого будет примерно соответствовать длине шпоночной канавки. Текущие значения размеров создаваемой шпоночной канавки динамически отображаются в строке статуса. В полях ввода открывшегося диалогового окна «**Шпоночный паз**» (рис. 6.5) уточняем параметры создаваемой шпоночной канавки (в соответствии с заданным по условию чертежом вала):

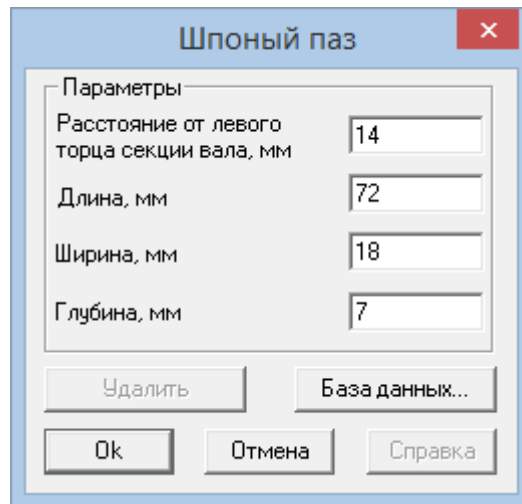


Рис. 6.5

- «Расстояние от левой границы вала на, мм» — 14;
- «Длина, мм» — 72.

Для получения остальных стандартных размеров шпоночной канавки обратимся к базе данных, для чего нажимаем кнопку «База данных...». Это приведет к открытию диалогового окна «База данных по шпонкам» (рис. 6.6). Если программа предлагает несколько вариантов шпонок, то выбираем один из них. Соответствующие данные выбранной строки автоматически перенесутся в окно «Шпоночный паз», и на валу появится схематическое изображение шпонки со стандартными параметрами.

Аналогичным образом создаем вторую шпоночную канавку.

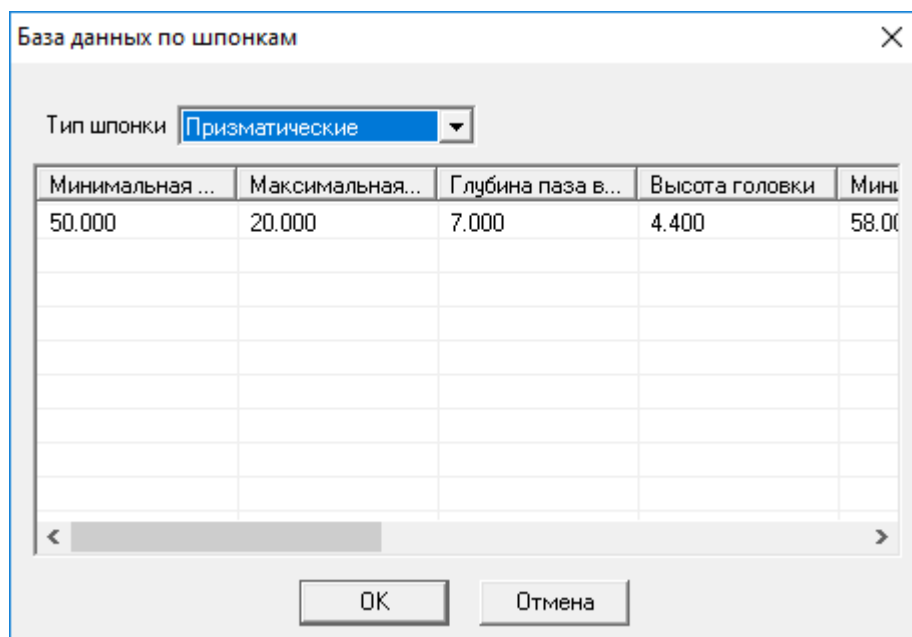



Рис. 6.6

2. Задание опор вала.

Для задания опор вала переходим в соответствующий режим нажатием кнопки «Опора»  (меню **Задать/Опоры**). Если щелкнуть левой кнопкой мыши вблизи того места, где следует установить опору, то откроется диалоговое окно «Опора» (рис. 6.7), с помощью которого задаем параметры этой опоры.

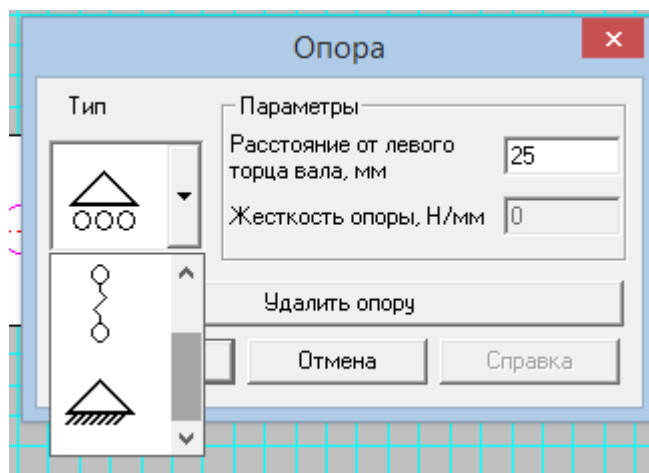



Рис. 6.7

Вначале из выпадающего списка выбираем тип опоры (жесткая неподвижная, жесткая подвижная или упругая), затем уточняем ее расположение (от левого конца вала), и, наконец, задаем жесткость создаваемой опоры (в том случае, если опора упругая). В рассматриваемом примере справа устанавливаем жесткую неподвижную опору, поскольку она будет воспринимать осевое усилие на валу, а слева — жесткую подвижную опору. Для левой опоры в поле ввода «**Расстояние от левого торца вала, мм**» вводим число **25**. Аналогичным образом создаем вторую опору.

3. Задание нагрузок.

3.1. Задание осевых сил. Включаем режим «**Осевая сила**» нажатием соответствующей кнопки  (меню **Задать/Осевая сила**) и в поля ввода открывшегося диалогового окна «**Осевая сила**» (рис. 6.8), записываем параметры и обозначение силы. Рассмотрим задание осевой силы **F_{а1}**.

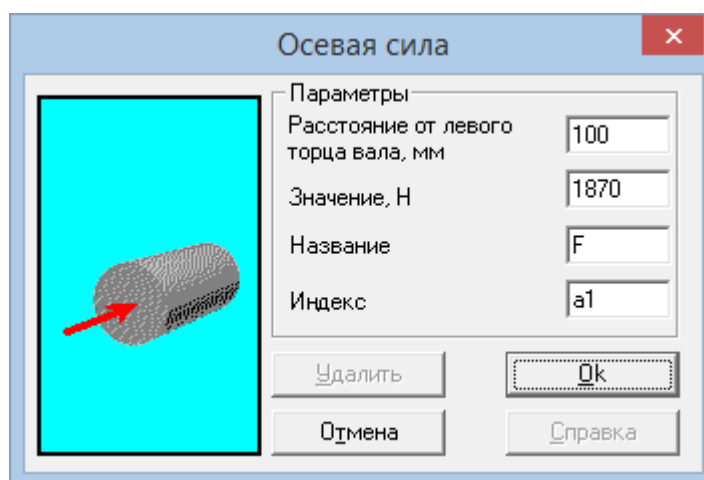


Рис. 6.8

- в поле ввода «**Расстояние от левого торца вала, мм**» записываем значение **100** (расстояние от левого конца вала до точки приложения осевой силы F_{a1});
- в поле ввода «**Значение, Н**» записываем число **1870**, поскольку сила действует в направлении «справа налево»;
- в поле ввода «**Название**» — вводим обозначение **F**;
- В поле ввода «**Индекс**» — вводим обозначение **a1**.


Последние два параметра не являются обязательными, и эти поля ввода могут оставаться пустыми.

После нажатия кнопки «**Ок**» осевая сила отобразится на модели вала. Аналогичным образом создаем вторую осевую силу F_{a2} .

Таким образом, к валу приложены две различные по величине осевые силы. Поскольку перемещение вала в осевом направлении ограничивает только правая опора, то в ней и будет возникать осевая реакция.

Замечание. Если обе опоры имеют подвижность в осевом направлении, то к опоре, воспринимающей осевое усилие (пользователю нужно заранее решить, которая из опор будет это усилие воспринимать), приложить осевую силу, равную по величине алгебраической сумме приложенных к отдельным участкам вала осевых сил, но имеющую противоположный знак.

Если при отрисовке сил обнаружится, что они имеют противоположное заданному направлению, то следует вызвать соответствующее окно щелчком правой кнопки мыши и изменить знак силового фактора.

3.2. Задание поперечных сил. Нажатием кнопки «**Поперечная сила**»  (меню **Задать/Поперечная сила**) переходим в режим задания радиальной силы и в поля ввода открывшегося диалогового окна «**Поперечная сила**» (рис. 6.9.) записываем параметры и обозначение силы. Рассмотрим задание радиальных сил F_{r1} и F_{r1} .

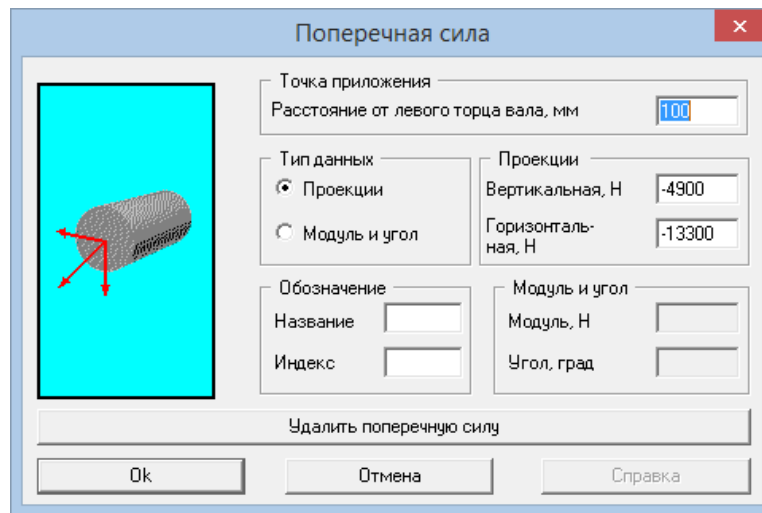


Рис. 6.9


Прежде всего в поле ввода «**Расстояние от левого торца вала, мм**» заносим значение **100**. Затем нужно задать либо модуль и направление равнодействующей радиальных сил (выбрать *Тип данных* — *Модуль и угол*), либо величины проекций этих сил (*Тип данных* — *Проекция*). В рассматриваемом примере выбираем *Проекция*. Для задания величин проекций записываем:

- в поле ввода «**Вертикальная, Н**» — **-4900** (поскольку сила направлена вниз);
- в поле ввода «**Горизонтальная, Н**» — **-13300** (поскольку сила направлена в направлении «на нас»).

Поля ввода «**Название**» и «**Индекс**» оставляем незаполненными.

Аналогичным образом создаем две других радиальных силы, F_{t2} и F_{r2} .

Если при отрисовке сил обнаружится, что они имеют направление, противоположное заданному, то следует вызвать соответствующее окно щелчком правой кнопки мыши и изменить знак силового фактора.

3.3. Задание изгибающих моментов. Переход в этот режим осуществляется нажатием кнопки «**Момент изгиба**»  (меню **Задать/Момент изгиба**). В полях ввода открывшегося диалогового окна «**Момент изгиба**» (рис. 6.10.) требуется задать параметры и обозначение момента. Рассмотрим задание изгибающего момента M_{a1} .

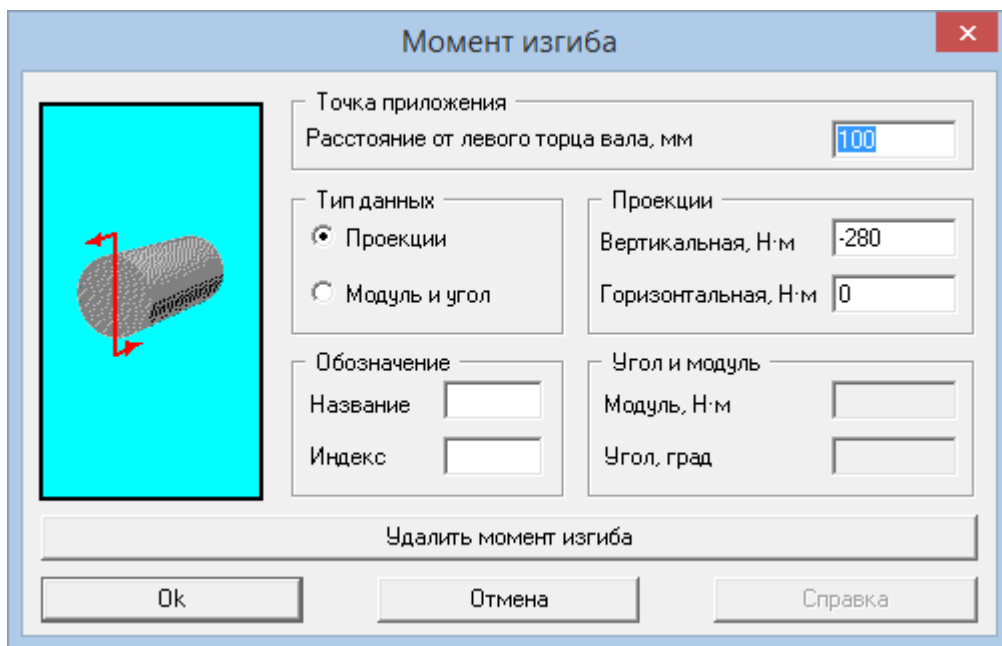


Рис. 6.10

Для задания точки приложения силы в поле ввода «**Расстояние от левого торца вала, мм**» вводим **100**.


Затем нужно задать либо модуль и направление суммарного изгибающего момента (выбрать *Тип данных* — *Модуль и угол*), либо величины проекций этих изгибающих моментов (*Тип данных* — *Проекция*). В рассматриваемом примере выбираем *Проекция*. Для задания величин проекций записываем:

- в поле ввода «**Вертикальная, Н·м**» — **-280**;
- в поле ввода «**Горизонтальная, Н·м**» — **0**.

Поля ввода «**Название**» и «**Индекс**» оставляем незаполненными.

Аналогичным образом создаем изгибающий момент **M_{a2}**.

Если при отрисовке моментов обнаружится, что они имеют противоположное заданному направлению, то следует вызвать соответствующее окно щелчком правой кнопки мыши и изменить знак силового фактора.

3.4. Задание крутящих моментов. Переходим в соответствующий режим нажатием кнопки «**Момент кручения**»  (меню **Задать/Момент кручения**) и в полях ввода открывшегося диалогового окна «**Момент кручения**» (рис. 6.11) записываем параметры и обозначение момента. Рассмотрим задание момента кручения **T₁**.

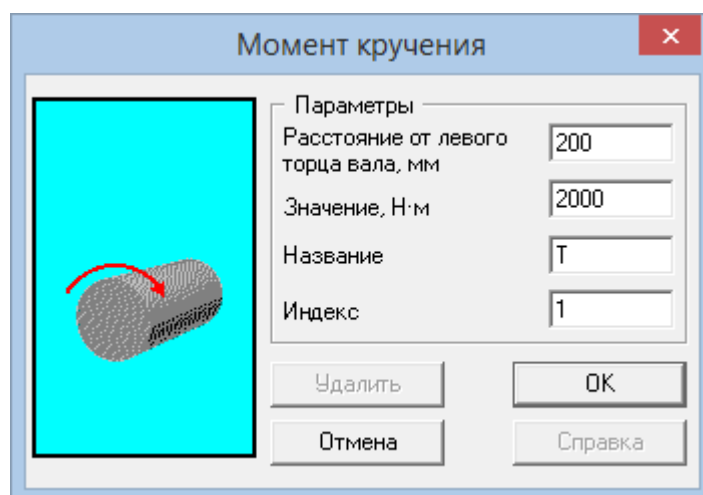


Рис. 6.11

- в поле ввода «**Расстояние от левого торца вала, мм**» записываем значение **100** (расстояние от левого конца вала до точки приложения крутящего момента);
- в поле ввода «**Значение, Н·м**» — **2000**;
- в поле ввода «**Название**» — **T** (но можем оставить незаполненным);
- в поле ввода «**Индекс**» — **1** (также можем оставить незаполненным).

Аналогичным образом задаем момент кручения T_2 .

Если при отрисовке моментов обнаружится, что они имеют направление, противоположное заданному, то следует вызвать соответствующее окно щелчком правой кнопки мыши и изменить знак силового фактора.

Замечание. Обязательным условием выполнения общего расчета вала является равенство абсолютных значений подводимого к валу и снимаемого с него крутящих моментов, алгебраическая сумма которых должна быть равной нулю. Невыполнение этого условия не позволит произвести общий расчет вала.

4. Задание параметров материала вала.

Задать материал вала можно двумя способами: вводом заданных по условию параметров или выбором материала из базы данных. Для того чтобы ввести известные параметры материала, нужно нажать кнопку «**Материал**» **M** (меню **Материал/Параметры...**). Параметры материала заносятся в поля ввода открывшегося диалогового окна «**Материал вала**». Если марка материала выбирается из базы данных, то нужно вначале вызвать эту базу нажатием кнопки «**База данных...**», а затем из таблиц выпадающих списков *Тип* и *Группа* выбрать марку материала. В рассматриваемом примере по условию задана марка стали, из которой изготавливается вал, поэтому выбираем эту марку из базы данных.

5. Выполнение расчета.

Для запуска на расчет выбираем меню **Рассчитать!/Общий расчет вала**. В открывшемся диалоговом окне **«Ресурс работы вала»** записываем:

- «Ресурс работы, [час]» — 20000;
- «Частота вращения вала, [об/мин]» — 200.

Расчет вала производится после нажатия кнопки **«Ок»**.

6. Просмотр результатов расчета.

Для просмотра результатов расчета переходим в меню **Результаты...** и в открывшемся окне **«Результаты»** выбираем тот вид результатов расчета, который необходимо просмотреть. Если пользователь хочет, чтобы эпюры силовых факторов строились на фоне вала, то нужно оставить установленный по умолчанию флажок напротив опции *Рисовать вал*. В противном случае флажок нужно убрать.

7. Генерация чертежа вала.

Для генерации чертежа рассчитанного вала выбираем в диалоговом окне **«Файл»** пункт **«Экспорт...»** и вызываем открытие диалогового окна **«Заполнение штампа»** (рис. 6.12). В поля ввода этого окна можно внести фамилии исполнителей и дату, а также выбрать масштаб чертежа, формат чертежа и т. д.

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разраб.				11.12.16
Пров.				11.12.16
Т.контр.				11.12.16
Н.контр.				11.12.16
Утв.				11.12.16

Лит. Масса Масштаб

 Увеличение

Лист 1 Листов 1

Формат A2

Ok Отмена Справка

Рис. 6.12

Для завершения генерации чертежа необходимо сохранить этот чертеж как файл с расширением ***.agr**. После этого произойдет запуск плоского графического редактора APM Graph, в окне которого и будет показан чертеж рассчитанного вала (рис. 6.13).

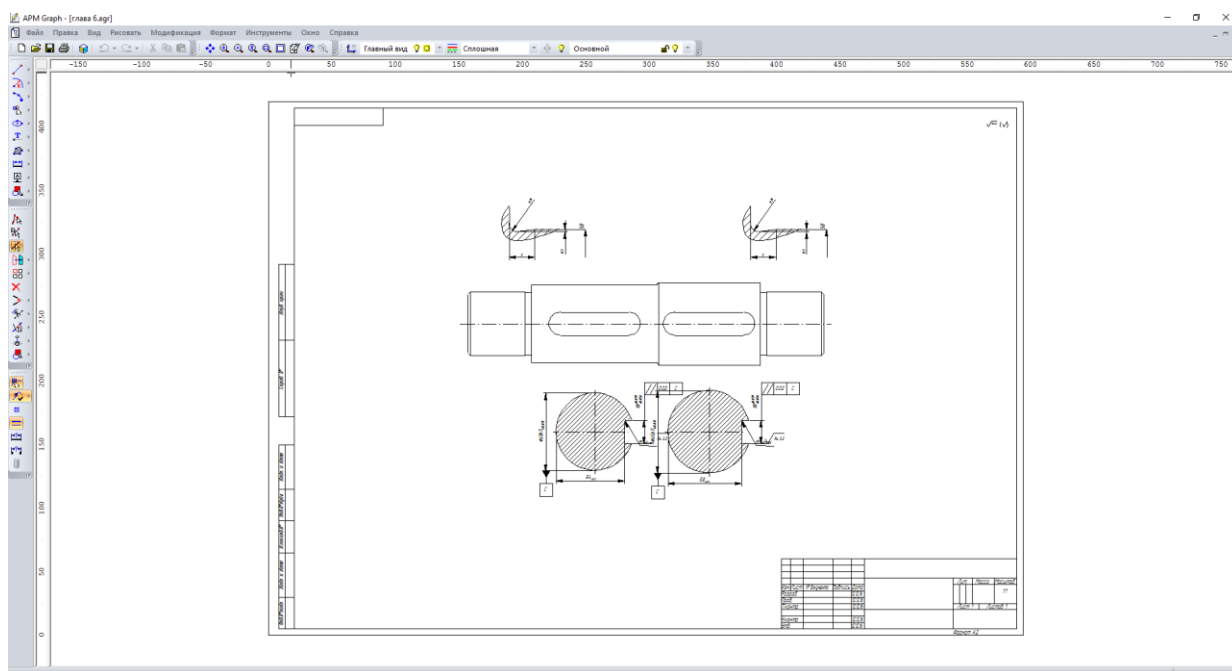



Рис. 6.13

8. Вывод результатов расчета на печать.

Для вывода результатов расчета на печать следует нажать в основном окне программы кнопку «Печать»  (меню **Файл/Печать...**) и в открывшемся стандартном окне «Печать» выбрать один из установленных принтеров и произвести печать.

9. Вывод результатов расчета в файл формата *.rtf.

У пользователя есть возможность вывести и исходные данные, и результаты расчета в текстовый файл формата ***.rtf**, который может быть открыт с помощью большинства современных текстовых редакторов. Для вывода результатов в файл формата ***.rtf** следует выбрать в меню **Файл/Печать в RTF файл...** тип файла ***.rtf** и сохранить файл в этом формате.

Практическое задание.

Создать произвольную модель вала со всеми элементами, приложить к нему различные виды нагрузок и произвести его общий расчет. Анализируя результаты расчета коэффициента запаса по усталостной прочности, оптимизировать конструкцию вала, стараясь добиться его равнопрочности.

Глава 7. Расчет подшипникового узла в модуле APM Bear

Общий порядок расчета

1. Выбор типа подшипника.
2. Задание геометрии подшипника.
3. Задание точности изготовления подшипника.
4. Задание условий работы подшипника.
5. Выполнение расчета.
6. Просмотр результатов расчета.
7. Задание дополнительных параметров.
8. Вывод результатов расчета на печать.

Задача

Рассчитать подшипниковый узел, состоящий из двух шариковых радиально-упорных подшипников. Исходные данные:

- тип подшипника — 46307;
- класс точности — 0;
- скорость вращения — 120 об/мин;
- схема установки — «О» (в растяжку);
- радиальная сила на нагруженной опоре — 12000 Н;
- радиальная сила на ненагруженной опоре — 12000 Н;
- осевая сила — 8000 Н;
- величина осевого преднатяга — 1500 Н;
- коэффициент динамичности — 1,2;
- режим работы — нестандартный, задается пользователем.

Решение

1. Выбор типа подшипника.

Входим в меню **Данные/Тип подшипника...** и в открывшемся диалоговом окне **«Выберите тип подшипника»** выбираем **«Шариковый радиально-упорный подшипник»**.

2. Задание геометрии подшипника.

Геометрические параметры подшипника могут быть заданы двумя способами: вручную и из базы данных.

2.1. Задание геометрических параметров подшипника вручную. Для того чтобы задать геометрию подшипника вручную, нужно войти в меню **Данные/Геометрия...** и в открывшемся диалоговом окне **«Радиально-упорный шариковый подшипник»** задать параметры рассчитываемого подшипника, внося их значения в соответствующие поля ввода.

2.2. Задание геометрических параметров подшипника из базы данных. Этот способ годится только для стандартных подшипников. Поскольку рассматриваемый подшипник стандартный, то для ввода его параметров воспользуемся этим способом. Нажимаем кнопку **«База Данных»** и в открывшемся диалоговом окне **«Выберите данные»** из выпадающего списка *Подтип* выбираем среднюю серию, поскольку заданный тип подшипника относится именно к этой серии. Из открывшегося списка выбираем номер подшипника 46307. После нажатия кнопки **«Выбрать»** все параметры требуемого подшипника автоматически переписываются в поля ввода окна **«Радиально-упорный шариковый подшипник»**.

3. Задание точности изготовления подшипника.

Выбор точности изготовления также может быть сделан двумя способами: вручную и из базы данных (если подшипник стандартный).

3.1. Для того чтобы задать точность подшипника вручную, нужно войти в меню **Данные/Точность...** и в открывшемся диалоговом окне **«Точность изготовления»** задать данные по точности рассчитываемого подшипника вручную, внося их значения в соответствующие поля ввода.

3.2. Для выбора из базы данных нажмите кнопку **«БД»** напротив соответствующего параметра. После этого открывается диалоговое окно **«Выберите отклонения диаметра»**, в котором, прежде всего, следует выбрать **Класс точности** подшипника из выпадающего списка. Далее щелчком левой кнопки мыши выбираем ту строку таблицы, в которой находится значение внешнего диаметра. Нажатием кнопки **«Ок»** соответствующие данные из этой строки переносятся в окно **«Точность изготовления»**. Аналогично задается параметр по внутреннему кольцу.

4. Задание условий работы подшипника.

Входим в меню **Данные/Условия работы ...** и в открывшемся диалоговом окне **«Шариковый радиально-упорный подшипник»** задаем параметры нагрузки, а именно:

- **Тип установки** — выбираем схему **«О»**.
- В поле ввода **«Осевая сила, Н»** — вводим число **8000**;
- В поле ввода **«Рад. сила на нагр. опоре, Н»** — **12000**;
- В поле ввода **«Рад. сила на ненагр. опоре, Н»** — **12000**;
- В поле ввода **«Осевая сила преднатяга, Н»** — **1500**;

- В поле ввода «Скорость вращения, об/мин» — 120;
- В поле ввода «Коэфф. динамичности» — 1.2.


Если необходимо задать нестандартный режим работы, то выбираем опцию **Переменная нагрузка** и в открывшемся окне «Режим нагружения» строим график режима работы (рис. 7.1). После введения координат точек графика выбираем тип их соединения – с помощью сплайна или линейное. В рассматриваемом случае соединяем точки сплайном.

Все исходные данные введены, подшипниковый узел готов к расчету.




Рис. 7.1

5. Выполнение расчета.

Нажимаем кнопку «Расчет»  (меню «Расчет»). После окончания расчета становится активной кнопка «Результаты» (меню «Результаты»).

6. Просмотр результатов расчета.

Нажимаем кнопку «Результаты»  (меню «Результаты»), после чего открывается диалоговое окно «Результаты» (рис. 7.2) с общими результатами расчета по нагруженному или ненагруженному подшипнику (группа параметров **Резюме**). Нажатием соответствующих кнопок можно вызвать диалоговые окна просмотра отдельных параметров подшипника, таких как момент трения, потери мощности, различные биения и т.д.

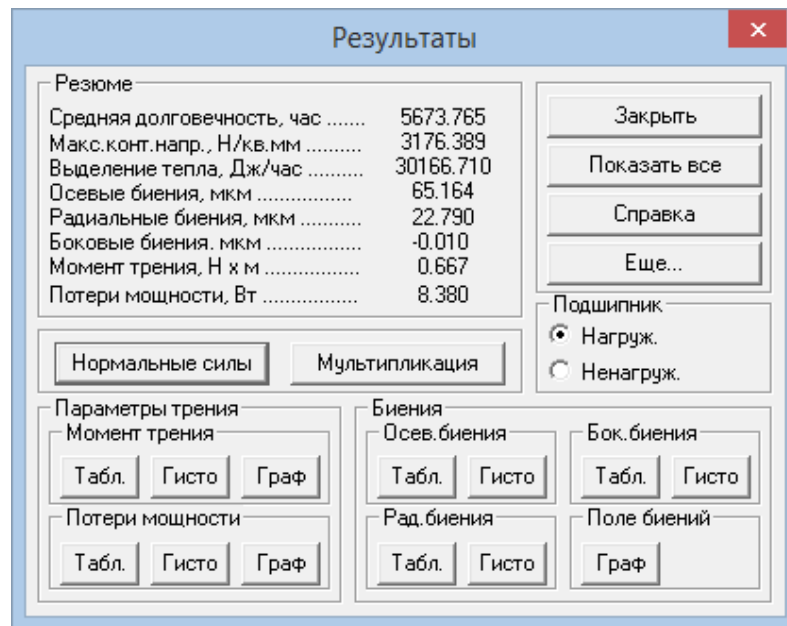


Рис. 7.2

7. Задание дополнительных параметров.

Для получения дополнительной информации о величине долговечности, рассчитанной по стандартной методике, а также о долговечности импортных подшипников, нажмите в окне «Результаты» кнопку «Еще». Это приведет к открытию диалогового окна «Дополнительные параметры» (рис.7.3).

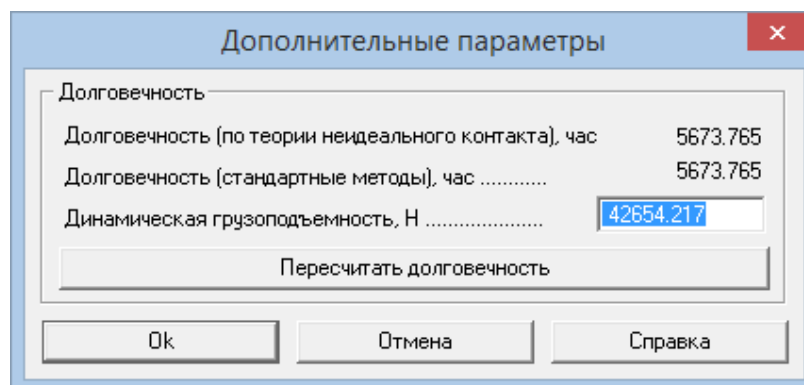



Рис 7.3

В рассматриваемом примере программа не определила долговечность стандартными методами. Это связано с особенностями исходных данных: изначально был задан осевой преднатяг, а стандартная методика не позволяет проводить расчет подшипника с преднатягом.

Для расчета импортных подшипников следует в поле ввода **Динамическая грузоподъемность, Н** ввести соответствующее значение этого параметра и нажать кнопку «Пересчитать долговечность». После пересчета будет показано значение долговечности для подшипника с введенной динамической грузоподъемностью.

8. Вывод результатов расчета на печать или в файл формата *.rtf.

Для вывода результатов расчета на печать нажмите в основном окне программы кнопку «Печать»  (меню **Файл/Печать**) и в открывшемся окне «**Выбор результатов для печати**» отметьте флажками те результаты, которые требуется вывести на печать для выбранного (нагруженного или ненагруженного) подшипника. Вывод результатов расчета может быть осуществлен либо сразу на принтер (кнопка «**Печать**»), либо в текстовый файл формата ***.rtf** (кнопка «**RTF**»), который может быть открыт в большинстве текстовых редакторов, так что пользователь имеет возможность его редактировать. Такая возможность особенно удобна в том случае, когда по результатам расчета нужно подготовить отчет по заданной форме.

Практическое задание.

Выполнить расчет подшипникового узла с исходными данными по выбору пользователя.

Глава 8. Проектировочный расчет двухступенчатого цилиндрического редуктора в модуле APM Drive

Общий порядок расчета

1. Выбор типа расчета редуктора.
2. Создание кинематической схемы редуктора.
3. Ввод исходных параметров редуктора.
4. Выполнение расчета базового варианта редуктора.
5. Просмотр результатов расчета.
6. Корректировка конструктивных параметров элементов редуктора.
7. Расчет откорректированного варианта редуктора.
8. Генерация чертежей отдельных элементов.
9. Генерация чертежей спроектированного редуктора.
10. Вывод результатов расчета на печать и в файл формата *.rtf.

Задача

Выполнить проектировочный расчет двухступенчатого цилиндрического редуктора со следующими параметрами:


- момент на выходе — 2000 Н·м;
- частота вращения выходного вала — 20 об/мин;
- передаточное число — 15;
- ресурс работы — 10000 часов;
- типы зубчатых передач — косозубые внешнего зацепления;
- термообработка зубчатых колес — закалка ТВЧ до твердости 50 HRC;
- расположение шестерни относительно опор вала — несимметричное;
- материал валов — Сталь 40;
- тип подшипников — роликовые радиально-упорные;
- схема установки подшипников — схема «О»;
- режим работы — постоянный.


Решение


1. Выбор типа расчета редуктора. Перед началом расчета необходимо выбрать тип расчета — проектировочный или проверочный. При открытии нового документа по умолчанию предлагается проведение проектировочного расчета. Для того чтобы проверить это, открываем меню **Тип расчета** и убеждаемся в наличии флажка напротив опции **Проектировочный** (если это не так, то устанавливаем флажок напротив этого вида расчета).


2. Создание кинематической схемы редуктора.


Кинематическая схема редуктора состоит из передающих элементов (зубчатых передач), валов и подшипников. Программный модуль APM Drive, предназначенный для расчета элементов кинематических схем, является интегральной средой, объединяющей модули APM Trans, APM Shaft и APM Bear и использующей все их возможности по заданию параметров и выводу результатов расчета соответствующих элементов схемы.

2.1. Создание валов. Задание кинематической схемы начинаем с создания валов. Пусть для примера это будут «вертикальные» валы. Нажимаем кнопку «**Вертикальный вал**»  на инструментальной панели «**Валы**» (меню **Вставка/Вал/Вертикальный**), а затем, нажав левую кнопку мыши, изображаем вал «вытягиванием» линии в вертикальном направлении. Вытягивать линию можно или сверху вниз, или снизу вверх. Таким способом создаем три вертикальных вала: входной, промежуточный и выходной.

2.2. Моделирование зубчатых передач. После построения валов размещаем на них зубчатые передачи. В рассматриваемой задаче необходимо использовать косозубые передачи внешнего зацепления, следовательно, нажимаем на инструментальной панели «**Передачи**» кнопку «**Косозубая внешнего зацепления**»  (меню **Вставка/Передача/Косозубая внешнего зацепления**). Затем, нажав левую кнопку мыши, «вытягиваем» штриховую линию до другого вала до тех пор, пока не появится динамический объект в виде прямоугольника. Далее щелкаем левой кнопкой мыши, и вместо прямоугольника появляется схематическое изображение зубчатой передачи. Аналогично создаем вторую зубчатую передачу.

2.3. Размещение подшипников. На каждом из валов кинематической схемы необходимо расположить как минимум два подшипника. Для задания роликового радиально упорного подшипника нажимаем на инструментальной панели «**Подшипники**» кнопку «**Радиально-упорный роликовый (левый)**»  (меню **Вставка/Подшипник/Радиально-упорный роликовый (левый)**) и перемещаем курсор в то место, где на валу будет установлен подшипник – до появления динамического объекта в виде небольшого прямоугольника. Для фиксации места установки подшипника щелкаем левой кнопкой мыши. На одной стороне вала следует установить левые подшипники, а на другой стороне — правые, в зависимости от схемы установки «Схема «О» или «Схема «Х»». В рассматриваемом случае левый подшипник должен находиться в верхней части валов.

2.4. Указание входа и выхода схемы. На входе кинематической схемы (на одном из концов входного вала) устанавливаем значок с условным обозначением двигателя (мотора). Для этого на инструментальной панели «**Валы**» нажимаем кнопку «**Входной вал**»  (меню **Вставка/Вал/Входной вал**), затем подводим курсор к одному из концов входного вала и, после

появления на конце вала динамического объекта в виде небольшого квадратика, щелкаем левой кнопкой мыши для его установки. Аналогичным способом устанавливаем значок с условным обозначением нагрузки на выходном валу редуктора. Для этого нажимаем на инструментальной панели «Валы» кнопку «Выходной вал»  (меню **Вставка/Вал/Выходной вал**). На этом задание кинематической схемы редуктора завершено (рис.8.1).

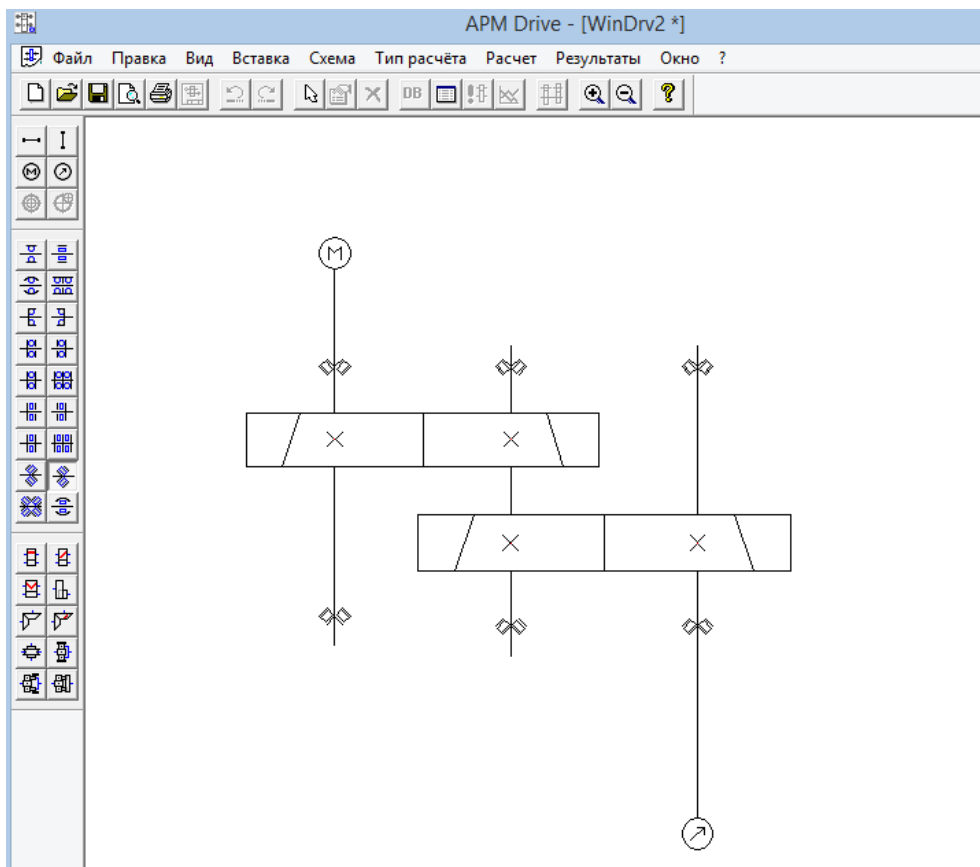





Рис. 8.1

2.5. Редактирование элементов кинематической схемы. Если возникает необходимость в изменении местоположения отдельных элементов кинематической схемы, а также их удалении или замены одних типов элементов другими, то предварительно такие элементы следует выделить. Для выделения нажимаем на инструментальной панели «Основная» кнопку «Выделить»  (меню **Правка/Выделить**), а затем щелкаем на выделяемом элементе левой кнопкой мыши — этот элемент выделится.

С выделенными элементами возможно проведение следующих действий:


- **Удаление.** Для удаления выделенных элементов нужно нажать на панели инструментов «Основная» кнопку «Удалить»  (меню **Правка/Удалить**).

- Изменение положения выделенного элемента. Подводим курсор к выделенному элементу, и, как только курсор приобретает вид , нажимаем левую кнопку мыши и, не отпуская ее, перемещаем этот элемент схемы. Данная операция применима к передачам и подшипникам — она позволяет сместить их вдоль вала, а также к отдельному валу — его можно переместить в любом направлении.


Замечание 1. После выполнения этой операции все установленные на валу подшипники сместятся вместе с валом. Передачи останутся на месте, но при перемещении валов в поперечном направлении (т. е. в поле чертежа — справа налево) изменится масштаб изображения передач.

- Изменение размеров валов. При выделении вала его левый конец отмечается белым квадратиком, а правый — черным. Пользователь имеет возможность изменить положение правого конца вала в направлении его оси. Для изменения размера вала подводим курсор к черному концу выделенного вала, и, когда курсор приобретает вид двунаправленной стрелки, нажимаем левую кнопку мыши и, не отпуская ее, перемещаем конец вала.

3. Ввод исходных параметров редуктора.

Нажимаем на панели инструментов «Основная» кнопку «Начальные данные»  (меню **Схема/Начальные данные**) и в соответствующие поля ввода появившегося диалогового окна «Начальные данные» записываем исходные данные проектируемого редуктора:

- **«Момент на выходе, Н·м» — 2000;**
- **«Частота вращения на выходе, об/мин» — 20;**
- **«Передаточное число» — 15;**
- **«Долговечность, час» — 10000.**

Вообще говоря, этих данных достаточно для проведения проекторочного расчета редуктора. Разбиение общего передаточного отношения по ступеням произойдет автоматически. Но у пользователя есть возможность просмотреть результаты разбиения и, при желании, скорректировать его. Для перехода в режим корректировки разбиения по ступеням нужно нажать кнопку «Ручное разбиение»  (меню **Схема/Ручное разбиение**), после чего откроется диалоговое окно «Исходные данные» (рис. 8.2).

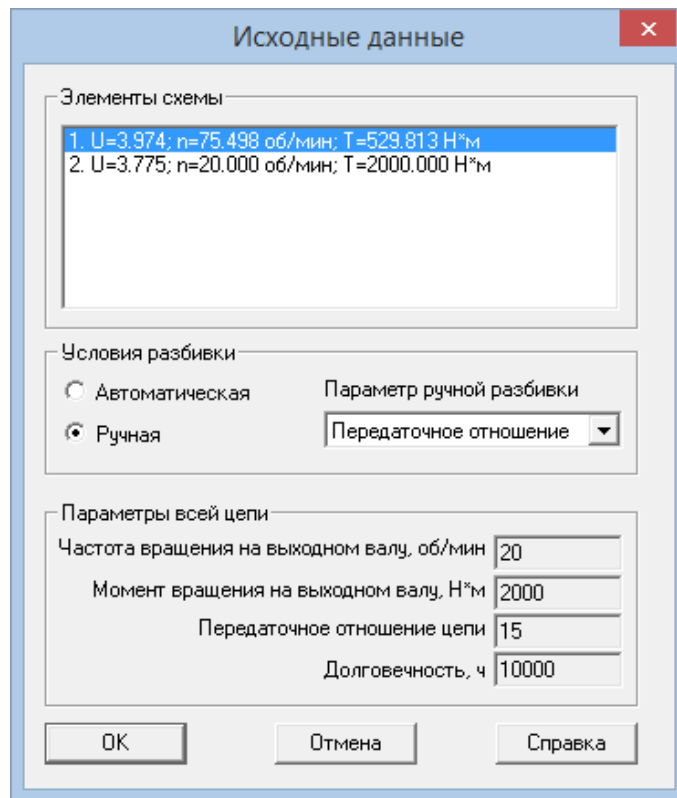


Рис. 8.2

В верхней части этого окна показываются те параметры элементов схемы, которые предлагаются программой. Пользователь может изменить любой из них. Для этого необходимо, во-первых, в группе параметров *Условия разбиения* отметить строку **Ручная**, а во-вторых, из выпадающего списка *Параметр ручного разбиения* выбрать тот параметр, который нужно изменить.

Затем следует указать ту ступень редуктора, для которой будет задан выбранный параметр. Это делается двойным щелчком левой кнопкой мыши на соответствующей строке в списке *Элементы схемы*. В активном поле ввода открывшегося диалогового окна «**Параметры ступени №1**» (рис. 8.3) можно задать необходимое значение выбранного параметра (заметим, что из всех полей ввода этого окна активным будет только то, которое соответствует выбранному ранее параметру).

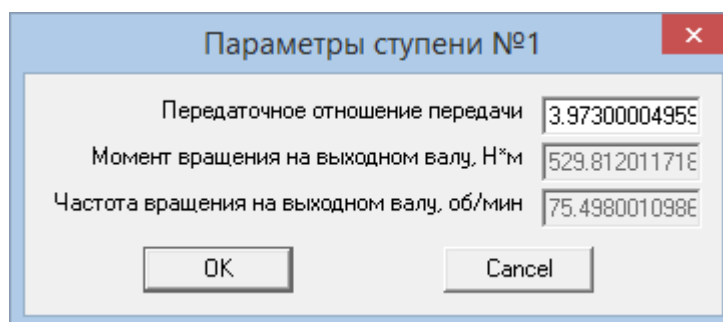



Рис. 8.3

После изменения какого-либо параметра все кинематические параметры схемы редуктора будут немедленно пересчитаны в автоматическом режиме.

4. Выполнение расчета базового варианта редуктора.


Расчет производится после нажатия на панели инструментов «Основная» кнопки «Расчет»  (меню **Схема/Расчет**»).

Процесс расчета происходит следующим образом: вначале рассчитываются передачи выбранного пользователем типа, затем на основе полученных результатов конфигурируются состоящие из цилиндрических секций валы, коэффициент запаса по усталостной прочности каждого из которых не ниже 1,5. Наконец, по рассчитанным диаметрам участков вала, на которых по условию должны стоять подшипники, из базы данных автоматически подбираются подшипники указанного типа различных серий, причем с проверкой их по долговечности. В том случае, если по диаметру сконфигурированного вала не удалось найти подшипник из базы данных, или найденный подшипник не обеспечивает заданную долговечность, пользователю выдается соответствующее сообщение с перечнем тех подшипников, с которыми возникли подобные проблемы.

Если после проведения расчета программа выдает сообщение *«Не все подшипники выбраны из базы данных или имеют требуемую долговечность...»*, то это означает одно из двух:

- под предложенный диаметр вала в базе данных не нашлось подходящего подшипника с таким же внутренним диаметром;
- подшипник найден, но полученная в результате его расчета долговечность ниже той, которая задана в исходных данных для всего редуктора.

В обоих случаях необходимо изменить в сторону увеличения диаметр секции вала на том участке, где будет установлен подшипник. Под больший диаметр вала программа подберет подшипник с большей грузоподъемностью, который в результате будет иметь большую долговечность. После внесения всех изменений следует обязательно произвести повторный расчет редуктора.

Кнопка «**Результаты**»  (меню **Схема/Результаты расчета**) на панели инструментов «Основная» становится активной после окончания расчета только при выборе пользователем определенного элемента схемы

5. Просмотр результатов расчета.

Выделяем тот элемент схемы, результаты расчета которого необходимо просмотреть. Для просмотра результатов удобнее использовать контекстное меню (рис. 8.4), вызываемое щелчком правой кнопкой мыши на каком-либо элементе. Элемент при этом выделять не обязательно.

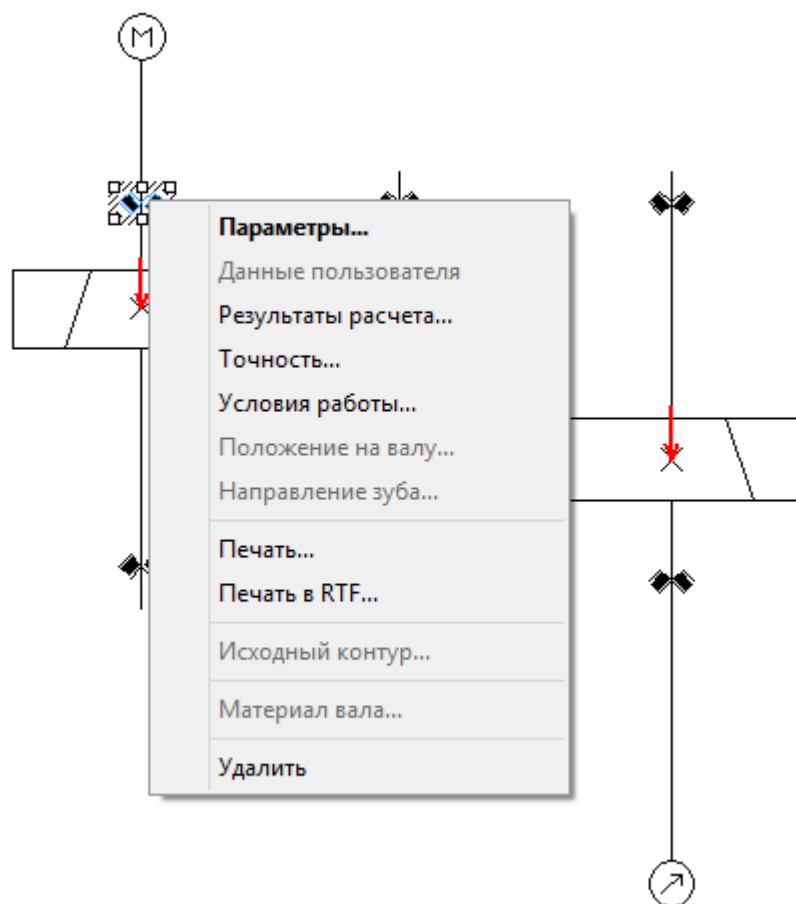


Рис. 8.4


В зависимости от элемента схемы из контекстного меню могут быть выбраны следующие пункты:

- **Параметры...** — при этом открывается окно задания исходных данных:
 - ✓ в модуле APM Trans — диалоговое окно «**Основные параметры**»;
 - ✓ в модуле APM Shaft — окно редактора с геометрией вала;
 - ✓ в модуле APM Bear — окно задания геометрии подшипника.
- **Данные пользователя** — этот пункт становится активным (и отмечается по умолчанию флажком) в том случае, если были изменены какие-либо данные, устанавливаемые по умолчанию.
 - **Результаты расчета...** — при этом открывается окно результатов расчета выбранного элемента схемы.
 - **Точность...** — данный пункт меню будет активным, если вызов контекстного меню происходит при позиционировании курсора на подшипнике; при этом открывается диалоговое окно «**Точность изготовления**», с помощью которого можно задать/изменить параметры точности подшипника.

- **Условия работы...** — этот пункт меню также относится только к подшипникам. Его выбор вызывает открытие диалогового окна «**Условия работы**», позволяющего задать/изменить параметры нагрузки подшипника.
- **Печать...** — открывает стандартное окно задания параметров печати в модуле APM Shaft или окно выбора данных для печати в модулях APM Trans и APM Bear.
- **Печать в RTF...** — открывает стандартное окно сохранения файла в формате *.rtf в модуле APM Shaft или окно выбора данных для печати и сохранения в файл формата *.rtf в модулях APM Trans и APM Bear.
- **Исходный контур...** — данный пункт меню будет активным, если вызов контекстного меню происходит при позиционировании курсора на зубчатой передаче; при этом открывается диалоговое окно «**Исходный контур**», с помощью которого можно задать/изменить стандарт, по которому будут производиться расчеты геометрии зубчатых колес.
- **Материал вала...** — этот данный пункт меню становится активным, если вызов контекстного меню происходит при позиционировании курсора на валу, и вызывает открытие диалогового окна «**Материал вала**», позволяющего задать/изменить параметры материала вала или выбрать материал из базы данных.
- **Удалить** — позволяет удалить из схемы выбранный элемент редуктора.

6. **Корректировка конструктивных параметров элементов редуктора.**

После проведения расчета базового варианта редуктора следует внести в конструкцию элементов некоторые коррективы. Так, обязательно нужно добавить концентраторы в виде галтелей или канавок для выхода шлифовального круга в местах перехода от одного диаметра сегмента вала к другому, иначе эти концентраторы не будут учитываться при расчете.

Для перехода в режим редактирования вала (напомним, что вначале нужно выделить тот вал, который необходимо отредактировать) следует либо нажать кнопку «**Параметры**»  на панели инструментов «**Основная**» (меню **Вид/Параметры**), либо выбрать строку **Параметры...** контекстного меню (подробнее см. п. 5). В результате откроется основное окно модуля APM Shaft, с помощью которого в конструкцию вала можно внести необходимые изменения и дополнения.

*Замечание 2. Для того чтобы внесенные изменения сохранились, нужно выйти из основного окна (меню **Файл/Выход**), а затем обязательно подтвердить выход еще раз, а именно в открывшемся диалоговом окне. Если из основного окна модуля APM Shaft выйти с помощью крестика в правом верхнем углу окна, то внесенные изменения не сохранятся.*

Замечание 3. Если пользователя не устраивают предлагаемые геометрия зубчатых колес, конфигурация вала и/или автоматически подобранный программой тип подшипника, то он может ввести необходимые ограничения на расчет зубчатых колес, изменить геометрию вала или выбрать нужный тип подшипника.

7. Расчет откорректированного варианта редуктора.


После корректировки конструктивных параметров элементов редуктора расчет необходимо повторить (см. п. 4).


Замечание 4. Если расчет производится с ограничениями на расчет передач, то в результате выполнения расчета вал будет сконфигурирован заново, и под него будут подобраны новые подшипники.

Просмотр результатов расчета производится в соответствии с п. 5.

8. Генерация чертежей отдельных элементов.


Пользователь имеет возможность получить чертежи отдельных элементов редуктора — зубчатых колес и валов.

8.1. Генерация чертежа зубчатого колеса. Выбираем соответствующую передачу и либо нажимаем на панели инструментов «Основная» кнопку «Результаты»  (меню **Схема/Результаты расчета**), либо выбираем в контекстном меню передачи строку **Результаты расчета....** В открывшемся диалоговом окне модуля APM Trans нужно выбрать пункт *Чертеж* (поставить возле него флажок) и нажать кнопку «Продолжить». Далее поступаем в соответствии с процессом генерации чертежа зубчатого колеса в APM Trans.

8.2. Генерация чертежа вала. Выбираем соответствующий вал и либо нажимаем на панели инструментов «Основная» кнопку «Параметры»  (меню **Вид/Параметры**), либо выбираем в контекстном меню передачи строку **Параметры....** В открывшемся основном окне модуля **APM Shaft** в меню **Файл** выбираем строку *Экспорт....* Далее поступаем обычным путем в соответствии с процессом генерации вала в APM Shaft.

8.3. Чертеж подшипника может быть взят из базы данных и встроен в графический редактор APM Graph.

9. Генерация чертежей спроектированного редуктора.

Для генерации чертежа спроектированного редуктора вала нужно на панели инструментов «Основная» основного окна модуля APM Drive нажать кнопку «Экспорт»  (меню **Файл/Экспорт**), а затем сохранить чертеж как файл с расширением ***.agr**. После этого произой-

дет запуск плоского чертежного редактора **APM Graph**, в окне которого будет показана заготовка сборочного чертежа рассчитанного редуктора (вместе с корпусом), а также различные виды корпуса (рис. 8.5).

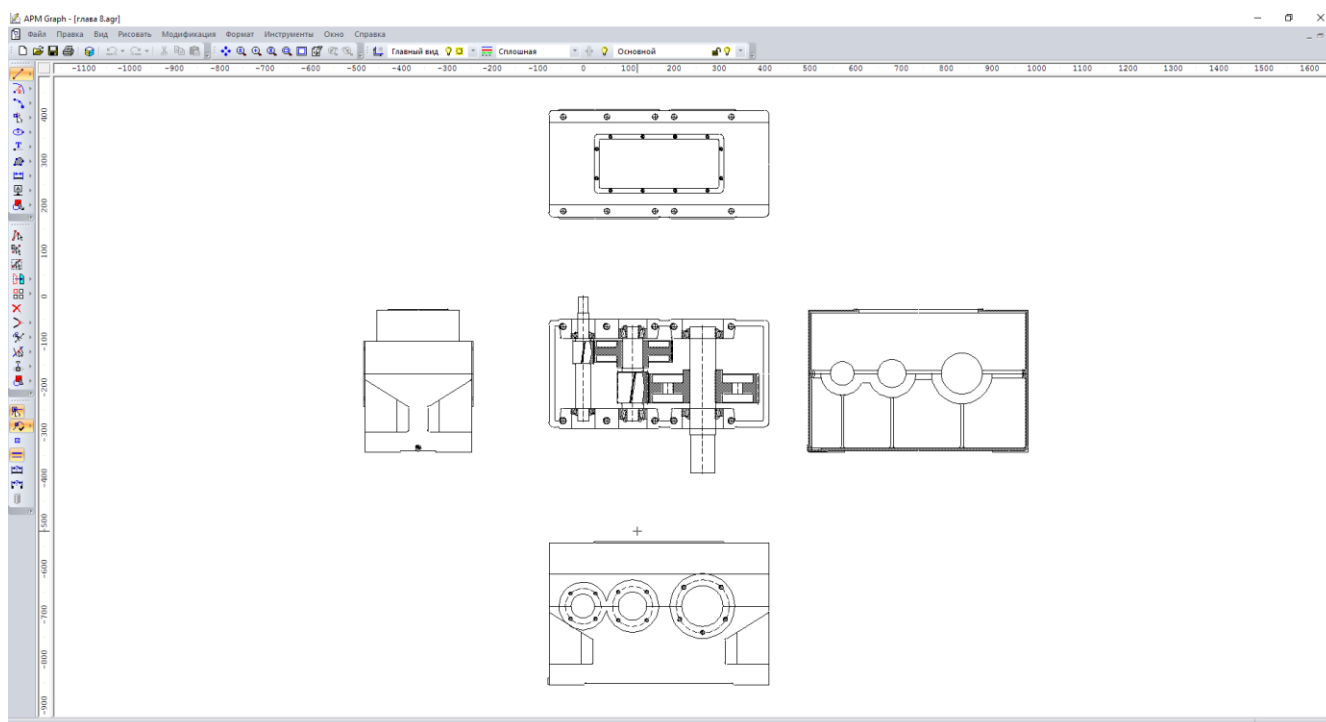



Рис. 8.5

10. Вывод результатов расчета на печать и в формат *.rtf.

Для вывода результатов расчета на печать следует нажать в основном окне программы на панели инструментов «Основная» кнопку «Печать»  (меню **Файл/Печать**) и в открывшемся стандартном диалоговом окне «Печать» выбрать принтер и другие параметры печати. Настройка параметров печати производится с помощью меню **Файл/Параметры печати**.

Исходные данные и результаты расчета можно вывести в текстовый файл формата *.rtf, который может быть открыт в большинстве текстовых редакторов. Для вывода результатов в формате *.rtf следует выбрать в меню **Файл/Печать в RTF...**, ввести имя файла, указать его тип — *.rtf и сохранить файл в этом формате.

Практическое задание.

Произвести проектировочный расчет многоступенчатого редуктора с произвольными параметрами. Просмотреть результаты расчета отдельных элементов редуктора, а также сгенерировать чертежи элементов передач и валов.

Глава 9. Расчет соединений в модуле APM Joint

Пример 1. Расчет группового болтового соединения

Общий порядок расчета

1. Выбор типа соединения.
2. Построение (или импорт) контура поверхности контакта.
3. Выделение контуров (наружного и внутренних) поверхности контакта.
4. Расстановка болтов (указание мест расположения их центров).
5. Задание действующих на соединение сил.
6. Уточнение постоянных параметров для расчета.
7. Выбор типа расчета: проектировочный или проверочный.
8. Выполнение расчета.
9. Просмотр результатов расчета.
10. Возможная корректировка расположения и параметров болтов в соединении по результатам расчета.

Задача

Выполнить проектировочный расчет группового болтового соединения, предназначенного для крепления кронштейна к плоскости (рис. 9.1).

Действующие на соединение силовые факторы изображены на рисунке. Болты изготовлены из стали 40; Коэффициент запаса по текучести деталей крепления (болтов) — 3.

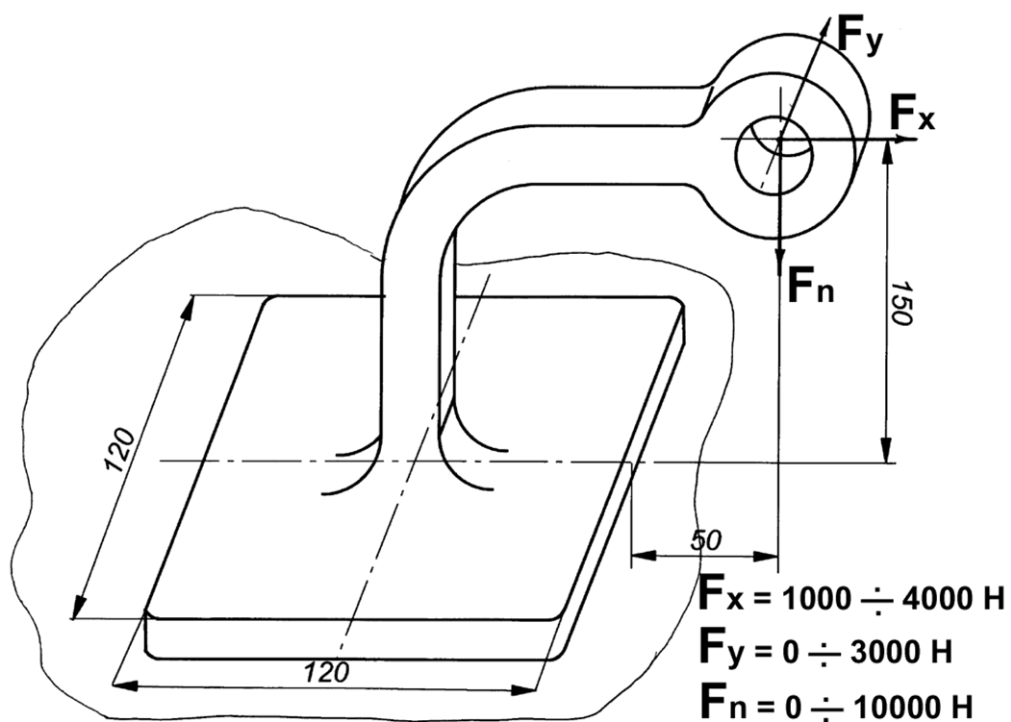


Рис. 9.1

Решение

1. Выбор типа соединения.

Тип соединения выбираем однократным щелчком левой кнопки мыши на схематическом изображении болта, установленного в отверстие с зазором (рис. 9.2). Такой режим установки болтов позволит учесть все виды действующих на стык поверхностей нагрузок – как отрывающие, так и сдвигающие (в то время как болты, установленные в отверстие без зазора, работают только на срез).

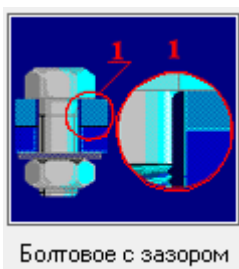



Рис. 9.2

2. Построение (или импорт) контура поверхности контакта.

В появившемся поле окна редактора необходимо либо изобразить контур поверхности контакта, либо импортировать его.

2.1. Построение контура поверхности. В рассматриваемом случае контур поверхности контакта представляет собой квадрат. Создать его можно различными способами, например, с помощью построения четырех отрезков, образующих стороны квадрата. Для построения первого горизонтального отрезка следует поступить следующим образом:

- нажать на панели инструментов «**Рисование**», выпадающая панель инструментов «**Отрезок**», кнопку «**Через 2 точки**»  (меню **Рисовать/Отрезок/Через 2 точки**);
- вывести курсор мыши на рабочее поле и нажать клавишу **Пробел** на клавиатуре; в появившемся диалоговом окне «**Первая точка**» ввести координаты $X = 0, Y = 0$;
- смещая курсор в горизонтальном направлении (например, вправо), нажать клавишу **Пробел** на клавиатуре для ввода параметров отрезка с клавиатуры;
- на вкладке «**Длина и угол**» открывшегося диалогового окна «**Вторая точка**» (рис. 9.3) задать длину создаваемого отрезка и угол его наклона относительно горизонтальной оси. При первоначальном открытии диалогового окна «**Вторая точка**» в его полях ввода записаны текущие значения длины и угла динамического объекта.

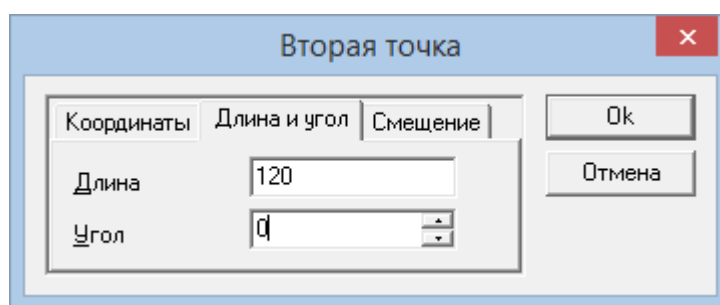


Рис. 9.3



Нажатием кнопки «**Ок**» в этом диалоговом окне или клавиши **Enter** на клавиатуре завершаем создание горизонтального отрезка.

Аналогичным образом создаем следующие стороны квадрата, обращая внимание на то, что конечная точка последнего отрезка должна быть привязана к начальной точке первого.

2.2. Импорт контура поверхности. Контур поверхности контакта может быть также импортирован через файл формата ***.dxf**. Для того чтобы произвести импорт, воспользуйтесь меню **Файл/Импорт...**, а затем в стандартном диалоговом окне укажите путь к импортируемому файлу формата ***.dxf**.

3. Выделение контуров (наружного и внутренних) поверхности контакта.


Созданный внешний контур поверхности контакта необходимо выделить. Кроме того, следует выделить внутренние (если они есть) контуры поверхности. Для этого на панели «**Кон-**


тур» есть специальные кнопки – «Простой контур»  (меню **Контур/Простой контур**) и «Набираемый контур»  (меню **Контур/Набираемый контур**).

После нажатия кнопки «Простой контур» щелкните сначала на любом из элементов наружного контура, а затем на любом из элементов каждого из внутренних контуров (если они есть). Замкнутые контуры после щелчка должны окраситься в синий цвет. Одновременно с нажатием одной из этих кнопок открывается диалоговое окно «Выбор контура», в котором после выделения всех контуров нужно нажать кнопку «Ок» (вместо кнопки «Ок» можно нажать правую кнопку мыши или клавишу **Пробел** на клавиатуре). Область между выделенными контурами, т. е. собственно поверхность контакта, окрасится в серый цвет. Это означает, что программа адекватно «поняла» задачу, т.е. будет воспринимать выделенный объект как поверхность контакта.

4. Расстановка болтов.


Расставить болты на поверхности контакта или вне ее можно двумя способами: с помощью мыши и указанием координат точек установки болтов.

4.1. Установка болтов с помощью мыши. Прежде всего нажимаем кнопку «Разместить Болты»  на инструментальной панели «Соединительные элементы» (меню **Данные/Разместить Болты**). Для того чтобы отметить центр будущего болта, достаточно щелкнуть левой кнопкой мыши в том месте, где будет расположен болт. В рассматриваемом примере устанавливаем 4 (четыре) болта в углах созданной поверхности.

Для удаления ранее установленного болта необходимо после нажатия кнопки «Удаление»  на панели инструментов «Модификация» (меню **Модификация/Удаление**) щелкнуть на любой точки области, ограниченной болтом.

4.2. Установка болтов по координатам. Переходим в режим установки болтов (см. п. 4.1), нажимаем клавишу **Пробел** на клавиатуре и в поля открывшегося диалогового окна «Точка» записываем координаты центра будущего болта.


Внимание! Координаты болтов задаются в системе координат окна редактора, а не в системе координат поверхности контакта.

*Для изменения координат созданного болта можно воспользоваться режимом «Редактирование», переход в который осуществляется нажатием кнопки  на панели инструментов «Модификация» (меню **Модификация/Редактирование**). После этого нужно подвести указатель мыши к искомому болту и, нажав левую кнопку мыши, переместить указатель в нужную точку. Величина смещения может задаваться с клавиатуры после нажатия на ней любой клавиши.*

5. Задание действующих на соединение сил.


В общем случае к поверхности стыка могут быть приложены силы, направленные как перпендикулярно к поверхности стыка, так и параллельно этой поверхности. В том случае, если по условию к поверхности стыка необходимо приложить момент, действующий относительно какой-либо из координатных осей, то следует задать соответствующую ему пару сил.


5.1. Задание сил, действующих перпендикулярно поверхности стыка.

5.1.1. *Задание сил.* Переходим в режим «**Нормальная сила**» нажатием соответствующей кнопки  на панели инструментов «**Силы**» (меню **Данные/Нормальная сила**) и щелкаем левой кнопкой мыши в том месте окна программы, которое соответствует точке приложения этой силы. После этого откроется диалоговое окно «**Нормальная сила**», в поля ввода которого **Приложена по x, mm** и **Приложена по y, mm** автоматически заносятся текущие координаты курсора. Эти значения можно изменить в соответствии с условием задачи. В рассматриваемом случае в поля ввода диалогового окна «**Нормальная сила**» записываем:



- в поле ввода «**Значение, Н**» — заданное по условию максимальное значение этого силового фактора, а именно **-10000** (знак «-» показывает, что сила направлена в отрицательном направлении оси, т. е. вниз);
- в поля ввода «**Обозначение**» и «**Индекс**» — обозначение силы, например **F₁** (однако эти поля могут быть и незаполненными).

Завершаем ввод нажатием кнопки «**Ок**». Если сила направлена «на нас», то она изображится в виде окружности с точкой в центре, если наоборот — в виде окружности с крестиком.


5.1.2. *Редактирование сил.* Для редактирования заданной силы нужно перейти в режим «**Модификация**» нажатием кнопки  на панели инструментов «**Модификация**» (меню **Модификация/Модификация**), а затем щелкнуть левой кнопкой мыши на установленной ранее силе. Далее необходимо в поле появившегося диалогового окна «**Модификация силы**» нажать кнопку «**Свойства**» и с помощью открывшегося диалогового окна «**Нормальная сила**» отредактировать параметры силы.

*Для изменения координат силы можно также воспользоваться режимом «**Редактирование**»* (кнопка  на панели инструментов «**Модификация**» или меню **Модификация/Редактирование**). *Перейдя в этот режим, следует подвести указатель мыши к подлежащей редактированию силе и, нажав левую кнопку мыши, сместить указатель мыши в нужную точку. Величина смещения может задаваться с клавиатуры после нажатия на ней любой клавиши.*

5.1.3. *Удаление сил.* Для удаления одной из нормальных сил следует воспользоваться режимом «**Удаление**» (см. п. 4.1.)

Для этого нужно нажать кнопку «Выделение»  (меню **Модификация/Выбор объектов**), после выбрать необходимый объект и нажать кнопку «Удаление»  на панели инструментов «Модификация» (меню **Модификация/Удаление**) или нажать кнопку «Delete» на клавиатуре.

5.2. Задание сил, действующих параллельно плоскости стыка.

5.2.1. *Задание сил.* Переход в этот режим происходит нажатием кнопки «Касательная сила»  на панели инструментов «Силы» (меню **Данные/Касательная сила**). После перехода щелкаем левой кнопкой мыши в точке приложения силы. В полях ввода **Приложена по x, mm** и **Приложена по y, mm** открывшегося диалогового окна «Касательная сила» автоматически записываются текущие координаты курсора. В поле ввода **Приложена по z, mm** следует записать расстояние от плоскости контактной поверхности до точки приложения силы – в рассматриваемом случае оно равно **150 мм**.


В группе параметров *Данные* выбираем способ задания – *Проекции*.


Исходя из заданной по условию схемы нагружения, в поля ввода диалогового окна «Касательная сила» вводим следующие значения:

- в поле ввода «X, Н» — **4000**;
- в поле ввода «Y, Н» — **3000**.



В поля ввода «Обозначение» и «Индекс» группы параметров **Символы** можно ввести название силы, например **F₂**, но они могут быть и пустыми.

Завершаем ввод нажатием кнопки «Ок». Сила отрисовывается в виде вектора, начало которого соответствует точке приложения силы.


5.2.2. *Редактирование сил.* Для редактирования заданной силы нужно перейти в режим «Модификация» нажатием кнопки  на панели инструментов «Модификация» (меню **Модификация/Модификация**), а затем щелкнуть левой кнопкой мыши на установленной ранее силе. Далее необходимо в поле появившегося диалогового окна «Модификация силы» нажать кнопку «Свойства» и с помощью открывшегося диалогового окна «Касательная сила» отредактировать параметры силы.

Для изменения координат силы можно также воспользоваться режимом «Редактирование» (кнопка  на панели инструментов «Модификация» или меню **Модификация/Редактирование**). Перейдя в этот режим, нужно подвести указатель мыши к подлежащей редактированию силе и, нажав левую кнопку мыши, сместить указатель мыши в нужную точку. Величина смещения может задаваться с клавиатуры после нажатия на ней любой клавиши.

5.2.3. *Удаление сил.* Для удаления одной из касательных сил следует воспользоваться режимом «Удаление» (см. п. 4.1).

Для этого нужно нажать кнопку «Выделение»  (меню **Модификация/Выбор объектов**), после выбрать необходимый объект и нажать кнопку «Удаление»  на панели инструментов «Модификация» (меню **Модификация/Удаление**) или нажать кнопку «Delete» на клавиатуре.

6. Уточнение постоянных параметров для расчета.

К таким параметрам относятся материал болтов и коэффициент текучести деталей крепления. Для уточнения значений этих параметров нужно перейти в соответствующий режим, нажав на панели инструментов «Главная» кнопку «Постоянные параметры»  (меню **Данные/Постоянные параметры....**).

Материал болтов (по условию это Сталь 40) задается следующим образом: в открывшемся диалоговом окне «Постоянные параметры» необходимо нажать кнопку «База данных...», после чего откроется еще одно диалоговое окно — «Материал». Из выпадающего списка **Типы материалов** выбираем **Сталь конструкционная (прокат)**, а из выпадающего списка **Подгруппы материалов** — **В нормализованном состоянии**. Затем выбираем из списка материалов нужную строку и завершаем ввод нажатием кнопки «Ок». Соответствующие значения параметров материала для выбранного типа стали переписываются в поля ввода диалогового окна «Постоянные параметры». Затем убеждаемся в том, что в соответствующем поле этого окна записано, что **Коэффициент текучести деталей крепления** равен 3.


7. Выбор типа расчета.

Для выбора типа расчета (проектировочный или проверочный) следует в меню **Расчет/Тип** выбрать **Проектировочный** или **Проверочный**. По умолчанию первым выполняется **Проектировочный** расчет.

Проектировочный расчет позволяет определить геометрию элементов соединения (диаметр болтов) по известным по условию параметрам, таким как количество и расположение болтов, свойства материала болтов, коэффициент запаса и величина внешней нагрузки. Расчет ведется при статическом характере нагружения.

Для выполнения *проверочного расчета* должна быть задана геометрия элементов соединения (диаметр и расположение болтов, их материал); кроме того, для определения коэффициента запаса по усталостной прочности требуется задать минимальное значение приложенных к элементам соединения нагрузок. Расчет по усталости ведется при числе циклов нагружения, превышающем базовое число циклов, т.е. в условиях длительной усталостной прочности. Кроме коэффициента запаса по усталостной прочности, в результате проверочного расчета можно получить значение коэффициента запаса по текучести.

8. Выполнение расчета.

Для запуска на расчет нужно нажать кнопку «**Расчет**»  на панели инструментов «**Главная**» (меню **Расчет/Расчет!**).

9. Просмотр результатов расчета.

После завершения расчета на экране монитора открывается окно **Карта давлений** (рис. 9.4) с изображением контактной поверхности, окрашенной в различные цвета. Цветовая гамма поверхности отвечает цветовой шкале **Давление МПа**, расположенной в левой верхней части окна.

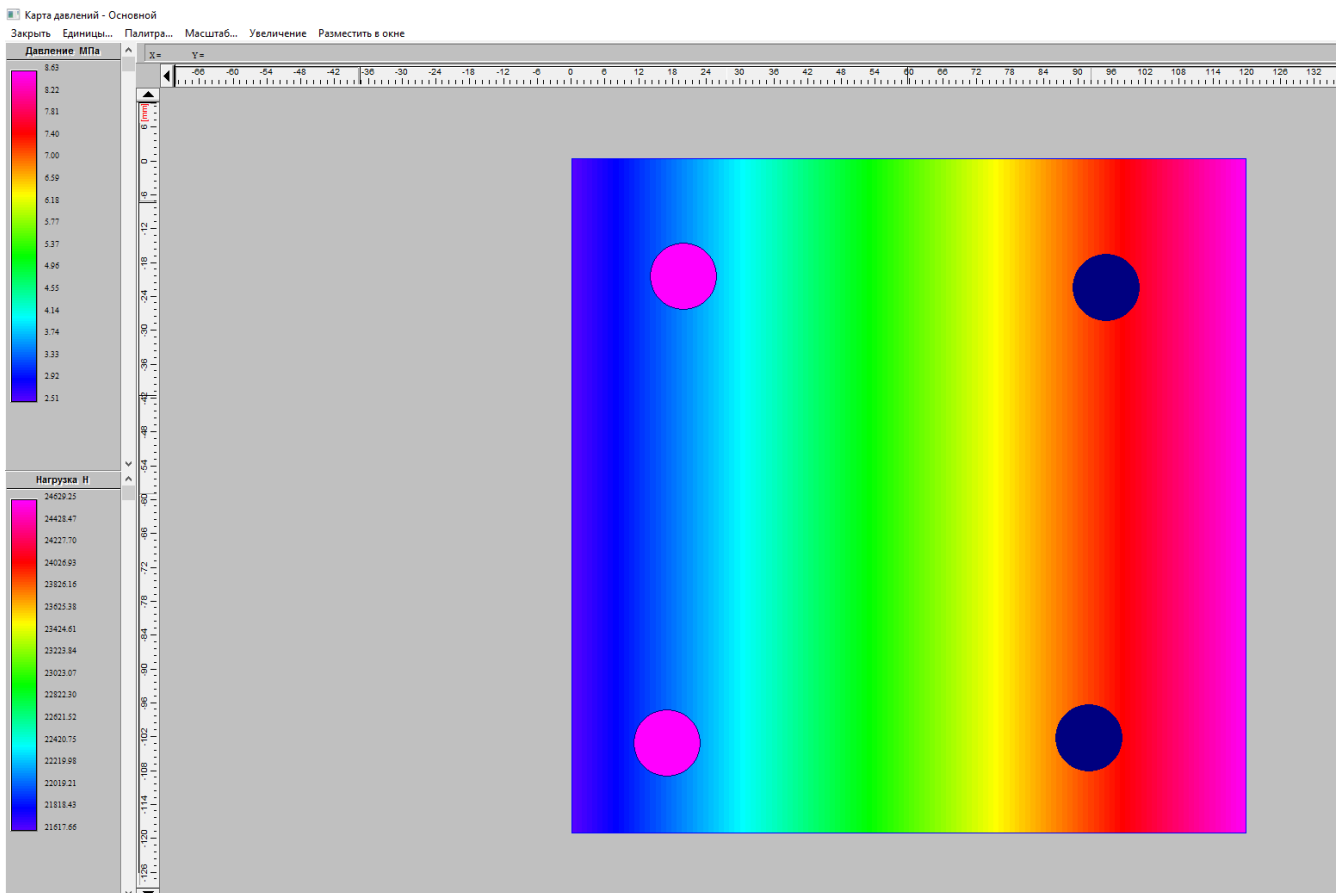



Рис. 9.4

В местах установки болтов на карте изображены квадратики, цвета которых соответствуют величине нагрузки, действующей на соответствующий болт (цветовая шкала **Нагрузка Н** в нижней левой части окна).

Для закрытия этого окна выберите пункт меню **Заккрыть**.

Переход в режим просмотра числовых результатов расчета осуществляется нажатием кнопки «**Результаты**»  (меню **Результаты...**).

10. Возможная корректировка параметров по результатам расчета.

Если после анализа результатов ясно, что необходимо провести корректировку расположения болтов, то нужно вернуться к схеме расположения болтов, изменить их положение (можно добавить или удалить часть болтов) и заново произвести расчет.

Практическое задание.

Произвести расчет группового болтового соединения фланца с опорной поверхностью, изображенной на рис. 9.5. Расположение болтов в плоскости фланца, их материал и коэффициент запаса — по усмотрению пользователя.

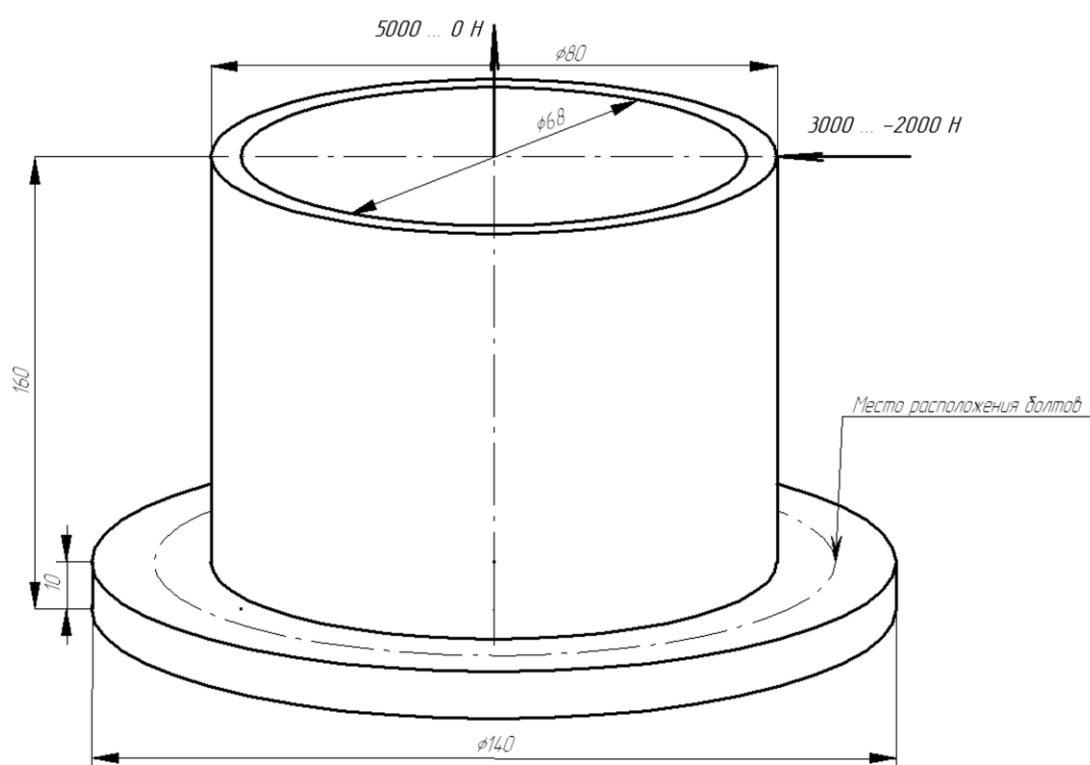


Рис. 9.5

Пример 2. Пример расчета сварного таврового соединения

Общий порядок расчета

1. Выбор типа соединения.
2. Создание конфигурации сварного шва.
3. Задание действующих на сварной шов силовых факторов.
4. Уточнение постоянных параметров для расчета.
5. Выбор типа расчета: проектировочный или проверочный.
6. Выполнение расчета.
7. Просмотр результатов расчета.
8. Оптимизация конфигурации сварного шва по результатам расчета.
9. Проведение проверочного расчета.
10. Корректировка значения катета сварного шва по результатам расчета на выносливость.

Задача

Выполнить проектировочный и проверочный расчеты таврового соединения, предназначенного для крепления П-образного профиля к плоскости. Действующие на соединение силовые факторы изображены на рис. 9.6. Материал, из которого изготовлены соединяемые детали — сталь 40.

При расчете необходимо обеспечить следующие значения коэффициентов запаса сварного шва:

- по статической прочности — не ниже 2,5;
- по выносливости — не ниже 1,5.

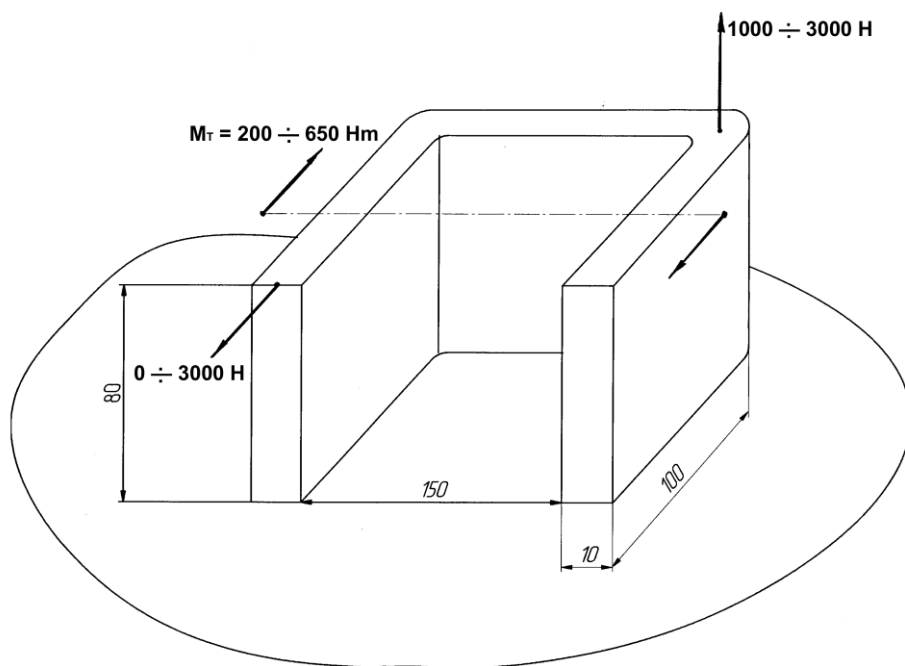


Рис. 9.6

Решение.

1. Выбор типа соединения.

Выбираем тип соединения однократным щелчком левой кнопки мыши на картинке с изображением сварного одностороннего таврового шва (рис. 9.7). Это приведет к открытию окна «Соединения сваркой».




Рис. 9.7

2. Создание конфигурации сварного шва.

Теперь нужно построить (или импортировать) конфигурацию сварного шва, которым П-образный профиль будет приварен к плоскости. В качестве первоначальной конфигурации сварного шва выберем сварку по внешнему контуру.

Поскольку в общем случае сварной шов может быть прерывистым, т.е. незамкнутым, то выделять контур сварного шва нет необходимости. Поэтому при сварке угловыми швами соответствующие кнопки команд будут неактивны.

2.1. Построение отрезков, совпадающих с внешним контуром поверхности. В рассматриваемом случае внешний контур сопрягаемой поверхности представляет собой П-образный профиль, который можно смоделировать тремя отрезками прямых. Для отрисовки первого вертикального отрезка следует поступить следующим образом:

- нажать на панели инструментов «**Рисование**», выпадающая панель инструментов «**Отрезок**», кнопку «**Через 2 точки**»  (меню «**Рисовать**»/«**Отрезок**»/«**Через 2 точки**»);
- вывести курсор мыши на рабочее поле и нажать клавишу **Пробел** на клавиатуре; в появившемся диалоговом окне «**Первая точка**» ввести координаты $X = 0, Y = 0$;
- смещая курсор в вертикальном направлении (например, снизу вверх), нажать клавишу **Пробел** на клавиатуре для ввода параметров отрезка с клавиатуры;
- на вкладке «**Длина и угол**» открывшегося диалогового окна «**Вторая точка**» (рис. 9.8) задать длину создаваемого отрезка и угол его наклона относительно горизонтальной оси.

При первоначальном открытии диалогового окна «**Вторая точка**» в его полях ввода записаны текущие значения длины и угла динамического объекта.

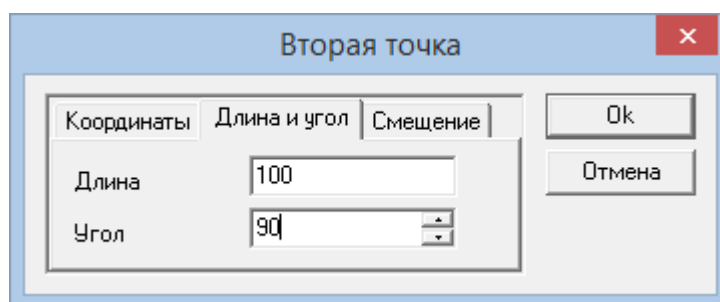




Рис. 9.8

После ввода длины отрезка и его угла нажатием кнопки «**Ок**» в этом диалоговом окне или клавиши **Enter** на клавиатуре завершаем создание вертикального отрезка.

Аналогичным образом создаем остальные стороны П-образного профиля.

Для удаления уже построенного отрезка необходимо нажать кнопку «**Удаление**»  на панели инструментов «**Модификация**» (меню «**Модификация**»/«**Удаление**») и щелкнуть на любой точки удаляемого отрезка.


2.2. Построение скруглений. Переходим в режим построения скруглений нажатием кнопки «**Скругление**» , расположенной на выпадающей панели инструментов «**Скругление**», панель инструментов «**Модификация**» (меню «**Модификация**»/«**Скругление к двум объектам**»). Затем последовательно щелкаем левой кнопкой мыши на скругляемых объектах и внутри образованного ими угла, а в открывшемся диалоговом окне «**Радиус скругления**» вводим значение радиуса скругления.

2.3. Импорт контура поверхности. Контур поверхности может быть также импортирован через файл формата ***.dxf**. Для того чтобы произвести импорт, воспользуйтесь меню **Файл/Импорт...**, а затем в стандартном диалоговом окне укажите путь к импортируемому файлу формата ***.dxf**.

3. Задание действующих на сварной шов силовых факторов.


В общем случае к сварному шву могут быть приложены силы, направленные как перпендикулярно к плоскости сварного шва, так и параллельно этой плоскости. В том случае, если по условию к сварному шву необходимо приложить момент, действующий относительно какой-либо из координатных осей, то следует задать соответствующую ему пару сил.


3.1. Задание сил, действующих перпендикулярно плоскости сварного шва.

3.1.1. Задание сил. Переходим в режим **«Нормальная сила»** нажатием соответствующей кнопки  на панели инструментов **«Силы»** (меню **«Данные»/«Нормальная сила»**) и щелкаем левой кнопкой мыши в том месте окна программы, которое соответствует точке приложения этой силы. После этого откроется диалоговое окно **«Нормальная сила»**, в поля ввода которого **Приложена по x, mm** и **Приложена по y, mm** автоматически заносятся текущие координаты курсора. Пользователь имеет возможность их изменить в соответствии с условием задачи. В рассматриваемом случае в поля ввода диалогового окна **«Нормальная сила»** записываем:



- в поле ввода **«Значение, Н»** — заданное по условию максимальное значение этого силового фактора, а именно **3000**;
- в полях ввода **«Обозначение»** и **«Индекс»** — обозначение силы, например **F₁** (однако эти поля могут быть и незаполненными).

Завершаем ввод нажатием кнопки **«Ок»**. Если сила направлена «на нас», то она отрисуется в виде окружности с точкой в центре, если наоборот — в виде окружности с крестиком.


3.1.2. Редактирование сил. Для редактирования заданной силы нужно перейти в режим **«Модификация»** нажатием кнопки  на панели инструментов **«Модификация»** (меню **«Модификация»/«Модификация»**), а затем щелкнуть левой кнопкой мыши на установленной ранее силе. Далее необходимо в поле появившегося диалогового окна **«Модификация силы»** нажать кнопку **«Свойства»** и с помощью открывшегося диалогового окна **«Нормальная сила»** отредактировать параметры силы.

Для изменения координат силы можно также воспользоваться режимом **«Редактирование»** (кнопка  на панели инструментов **«Модификация»** или меню **«Модификация»/«Редактирование»**). Перейдя в этот режим, нужно подвести указатель мыши к подлежащей редактированию силе и, нажав левую кнопку мыши, сместить указатель мыши в нужную точку. Величина смещения может задаваться с клавиатуры после нажатия на ней любой клавиши.

3.1.3. *Удаление сил.* Для удаления одной из нормальных сил следует воспользоваться режимом «Удаление» (см. п. 2.1.)

Для этого нужно нажать кнопку «Выделение»  (меню **Модификация/Выбор объектов**), после выбрать необходимый объект и нажать кнопку «Удаление»  на панели инструментов «Модификация» (меню **Модификация/Удаление**) или нажать кнопку «Delete» на клавиатуре.

3.2. Задание сил, действующих параллельно плоскости сварного шва.

3.2.1. *Задание сил.* Переход в этот режим происходит нажатием кнопки «Касательная сила»  на панели инструментов «Силы» (меню «Данные»/«Касательная сила»). После перехода щелкаем левой кнопкой мыши в точке приложения силы. В полях ввода **Приложена по x, mm** и **Приложена по y, mm** открывшегося диалогового окна «Касательная сила» автоматически записываются текущие координаты курсора. В поле ввода **Приложена по z, mm** следует записать расстояние от плоскости контактной поверхности до точки приложения силы – в рассматриваемом случае оно равно **80 мм**.


В группе параметров **Данные** выбираем способ задания – **Проекции**.


Исходя из заданной по условию схемы нагружения, в поля ввода диалогового окна «Касательная сила» вводим следующие значения:

- в поле ввода «**X, Н**» — **0**;
- в поле ввода «**Y, Н**» — **-3000** (знак «-» показывает, что сила направлена в отрицательном направлении оси Y, т. е. вниз);

В поля ввода «**Обозначение**» и «**Индекс**» группы параметров **Символы** можно ввести название силы, например **F₂**, но они могут быть и пустыми.



Завершаем ввод нажатием кнопки «**Ок**». Сила отрисовывается в виде вектора, начало которого соответствует точке приложения силы.

3.2.2. *Редактирование сил.* Для редактирования заданной силы нужно перейти в режим «Модификация» нажатием кнопки  на панели инструментов «Модификация» (меню «Модификация»/«Модификация»), а затем щелкнуть левой кнопкой мыши на установленной ранее силе. Далее необходимо в поле появившегося диалогового окна «Модификация силы» нажать кнопку «Свойства» и с помощью открывшегося диалогового окна «Касательная сила» отредактировать параметры силы.


Для изменения координат силы можно также воспользоваться режимом «Редактирование» (кнопка  на панели инструментов «Модификация» или меню «Модификация»/«Редактирование»). Перейдя в этот режим, нужно подвести указатель мыши к подлежащей редактированию силе и, нажав левую кнопку мыши, сместить указатель мыши в нуж-

ную точку. Величина смещения может задаваться с клавиатуры после нажатия на ней любой клавиши.

3.2.3. *Удаление сил.* Для удаления одной из касательных сил следует воспользоваться режимом «Удаление» (см. п. 2.1).

Для этого нужно нажать кнопку «Выделение»  (меню **Модификация/Выбор объектов**), после выбрать необходимый объект и нажать кнопку «Удаление»  на панели инструментов «Модификация» (меню **Модификация/Удаление**) или нажать кнопку «Delete» на клавиатуре.

3.3. Задание момента. В качестве точки приложения момента выбираем (приблизительно) центр тяжести построенных сварных швов.

Переход в этот режим происходит нажатием кнопки «Момент»  на панели инструментов «Силы» (меню «Данные»/ «Момент»). После перехода щелкаем левой кнопкой мыши в точке приложения момента.

В поля ввода «Обозначение» и «Индекс» группы параметров **Символы** можно ввести название силы, например, M_1 , но они могут быть и пустыми.


В полях ввода **Приложена по x, mm** и **Приложена по y, mm** открывшегося диалогового окна «Момент» автоматически записываются текущие координаты курсора. В поле ввода **Приложена по z, mm** следует записать расстояние от плоскости контактной поверхности до точки приложения силы – в рассматриваемом случае оно равно **80 мм**.

В группе параметров **Значения относительно оси** вводим следующие значения:

- в поле ввода «X, Н*м» – 0;
- в поле ввода «Y, Н*м» – 0;
- в поле ввода «Z, Н*м» – -650 (знак «-» показывает, что момент направлена по часовой стрелке относительно оси Z).

Завершаем ввод нажатием кнопки «Ок». Момент отобразится в виде дуги со стрелкой, указывающей направление вращения.

4. Уточнение постоянных параметров для расчета.

К таким параметрам относятся материал соединяемых деталей и различные коэффициенты. Для уточнения значений этих параметров нужно перейти в соответствующий режим, нажав на панели инструментов «Главная» кнопку «Постоянные параметры»  (меню «Данные»/«Постоянные параметры...»). В открывшемся диалоговом окне «Постоянные параметры» активными будут только поля **Коэффициент запаса текучести деталей крепления** и **Предел текучести материала деталей сопряжения, МПа**.

Материал болтов (по условию это Сталь 40) задается следующим образом: в открывшемся диалоговом окне «**Постоянные параметры**» необходимо нажать кнопку «**База данных...**», после чего откроется еще одно диалоговое окно — «**Материал**». Из выпадающего списка **Типы материалов** выбираем **Сталь конструкционная (прокат)**, а из выпадающего списка **Подгруппы материалов** — **В нормализованном состоянии**. Затем выбираем из списка материалов нужную строку и завершаем ввод нажатием кнопки «**Ок**». Соответствующие значения параметров материала для выбранного типа стали переписываются в поля ввода диалогового окна «**Постоянные параметры**». Затем убеждаемся в том, что в соответствующем поле этого окна записано, что **Коэффициент текучести деталей крепления равен 3**.


5. Выбор типа расчета: проектировочный или проверочный.

Для выбора типа расчета (проектировочный или проверочный) следует в меню **Расчет/Тип** выбрать **Проектировочный** или **Проверочный**. По умолчанию первым выполняется **Проектировочный** расчет.

Проектировочный расчет позволяет определить геометрию элементов соединения (величину катета сварного шва) по известным по условию параметрам, таким как количество и расположение сварных швов, свойства материала сварных швов, коэффициент запаса и величина внешней нагрузки. При этом расчет ведется при статическом характере нагружения.

Для выполнения *проверочного расчета* должна быть задана геометрия элементов соединения (величины катетов и расположение сварных швов, материал соединяемых деталей); кроме того, для определения коэффициента запаса по усталостной прочности требуется задать минимальное значение приложенных к элементам соединения нагрузок. Расчет по усталости ведется при числе циклов нагружения, превышающем базовое число циклов, т.е. в условиях длительной усталостной прочности. Кроме коэффициента запаса по усталостной прочности, в результате проверочного расчета можно получить значение коэффициента запаса по текучести.

6. Выполнение расчета.

Для запуска на расчет нужно нажать кнопку «**Расчет**»  на панели инструментов «**Главная**» (меню «**Расчет**»/«**Расчет!**»).

7. Просмотр результатов расчета.

7.1. Просмотр карты напряжений. После завершения расчета на экране монитора открывается окно «**Карта напряжений**» (рис. 9.9) с изображением сварного шва, окрашенного в различные цвета. Цветовая гамма шва отвечает цветовой шкале **Касательные напряжения МПа**, расположенной в левой верхней части окна.

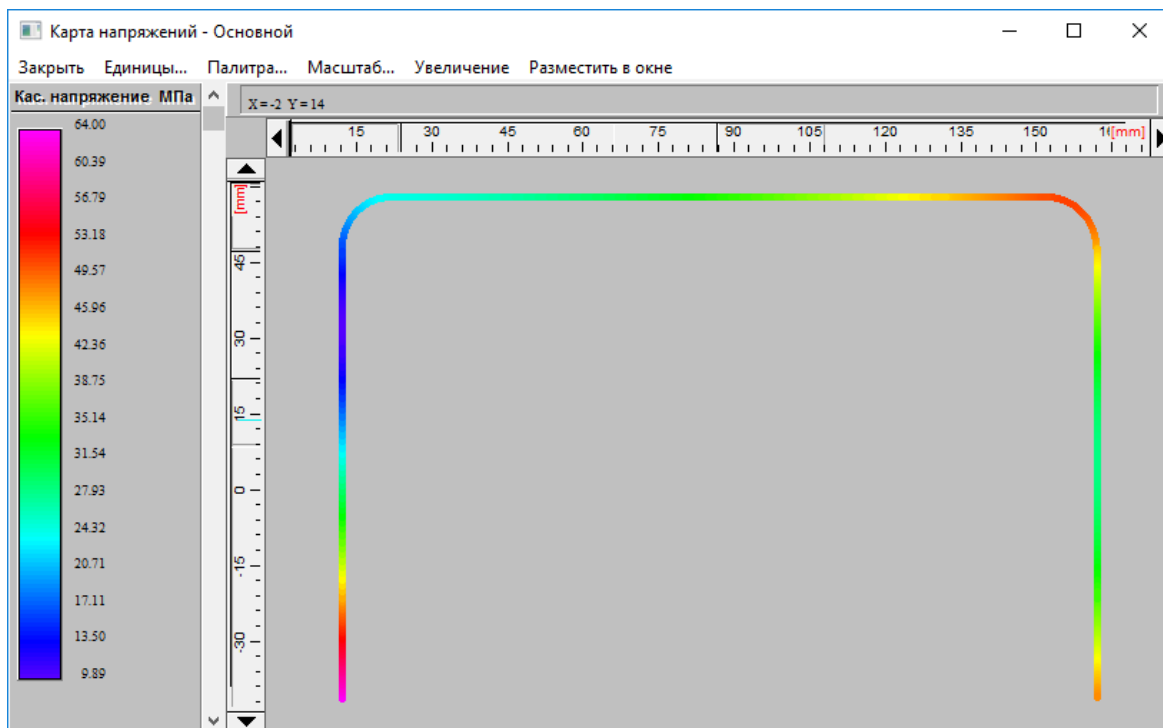


Рис. 9.9

7.2. Просмотр числовых результатов расчета. Для просмотра числовых результатов расчета выбираем меню **Результаты...** и находим, что для обеспечения требуемой по условию статической прочности с коэффициентом запаса, равным 3, программа предлагает значение катета сварного шва **1,39269 мм**. Выполнить сварку с таким малым значением катета сварного шва проблематично. Однако, основываясь на результатах расчета, можно провести некоторую оптимизацию конфигурации сварного шва.

8. Оптимизация конфигурация сварного шва по результатам расчета.

На карте напряжений видно, что наиболее нагруженными являются горизонтальный и правый вертикальный участки сварного шва, а наименее нагруженным — левый участок. Следовательно, на левом участке шов можно сделать прерывистым. Для этого удаляем левый отрезок и заменяем его двумя отрезками меньшей длины, например, по **20 мм**.

Затем нужно снова повторить расчет и посмотреть полученные результаты. Убеждаемся, что после проведенной корректировки сварного шва распределение напряжений по участкам шва изменилось, а значение катета сварного шва увеличилось и стало равно **2,11 мм**. Поскольку изменение величины катета незначительно, оптимизацию конфигурации сварного шва можно продолжить. Например, в соответствии с новым распределением напряжений видно, что правый вертикальный отрезок также может быть заменен отрезками меньшей длины, пусть это будет длина **20 мм**.

Снова проводим расчет и видим (рис. 9.10), что распределение напряжений по участкам сварного шва снова изменилось, а значение катета сварного шва опять увеличилось незначительно и стало равным **2,32 мм**. Поэтому можно сделать прерывистым и горизонтальный участок шва, т. е. проварить только углы. Величина катета сварного шва при этом составит **2,45 мм**. Следовательно, делаем вывод о том, что в результате оптимизации конфигурации сварного шва, т. е. при замене сплошного шва прерывистым, катет увеличился незначительно при сокращении общей длины шва относительно первоначальной примерно на $45 \div 50\%$.

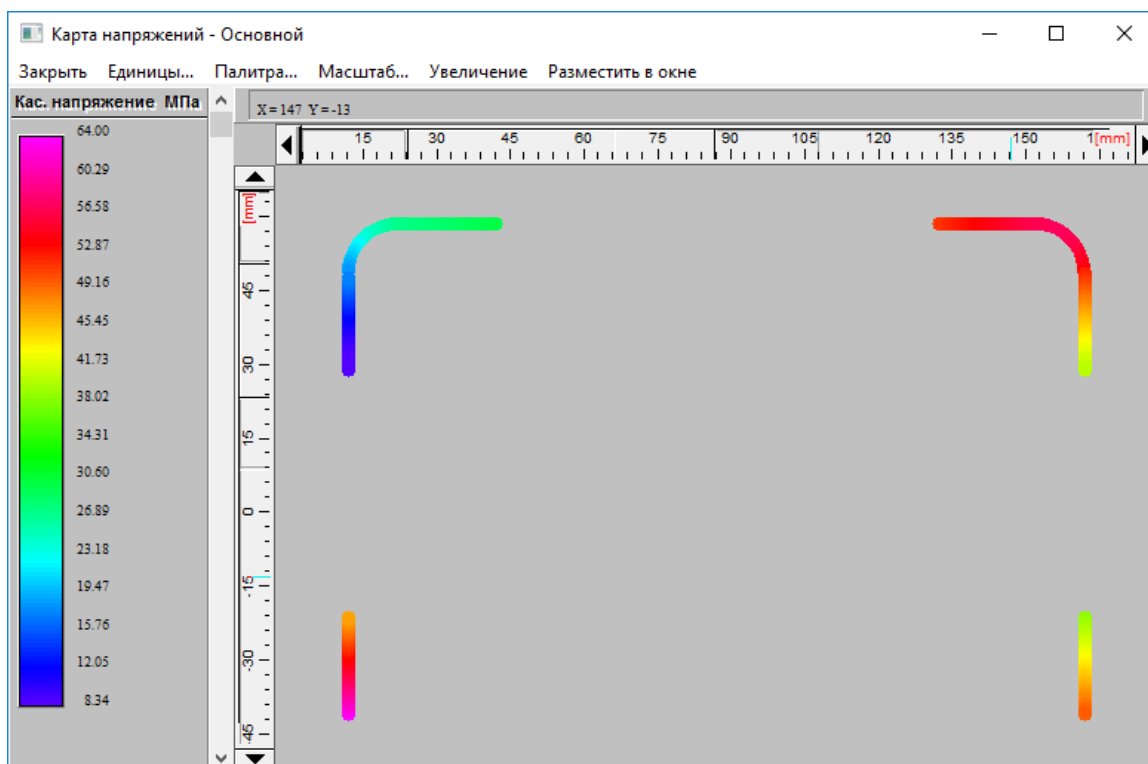



Рис. 9.10

9. Проведение проверочного расчета.

При проведении проверочного расчета можно выполнить проверку прочности сварного шва не только в условиях статического нагружения, как при проектировочном расчете, но и в условиях действия переменных нагрузок. Для перехода в режим проверочного расчета в меню **Расчет/Тип** выбираем **Проверочный**. При этом открывается окно с изображением конфигурации сварного шва. Это окно аналогично тому, с которым мы работали при проведении проектировочного расчета. Значения сил также автоматически переносятся из проектировочного расчета, но с одной особенностью — для выполнения проверочного расчета нужно задавать дополнительные параметры, а именно минимальное значение каждого силового фактора. По умолчанию эти параметры равны нулю, и пользователь должен задать их значения в соответствии с расчетной схемой.

Для задания минимальных значений силовых факторов переходим в режим редактирования сил нажатием кнопки «**Модификация**»  на панели инструментов «**Модификация**» (меню «**Модификация**»/«**Модификация**»), а затем щелкаем левой кнопкой мыши на уже заданной ранее силе. Далее необходимо в поле появившегося диалогового окна «**Модификация силы**» нажать кнопку «**Свойства**» и с помощью открывшегося диалогового окна «**Нормальная сила**» (или «**Касательная сила**») отредактировать параметры силы.

В рассматриваемом случае в этих полях ввода записываем:

- Для нормальной силы (окно «**Нормальная сила**») в поле ввода «**Min значение, Н**» — **1000**;
- Для пары сил, образующих момент (окно «**Касательная сила**») в поля ввода «**Min Y, Н**» — **2000** и **-2000**;
- Для касательной силы (окно «**Касательная сила**») в поле ввода «**Min Y, Н**» оставляем значение, заданное по умолчанию, т. е. **0**.

После задания минимальных значений сил производим проверочный расчет, выбрав в меню **Расчет** пункт **Расчет**.

После выполнения проверочного расчета открывается окно «**Карта напряжений**». Раскраска сварного шва соответствует карте касательных напряжений, возникающих в тех или иных точках сварного шва.

Для просмотра числовых результатов проверочного расчета выбираем меню **Результаты...** и находим, что при величине катета сварного шва **2,45 мм**, полученного из проектировочного расчета, коэффициент запаса прочности по пределу текучести равен **2,5**, а коэффициент запаса по выносливости — **1,35**, т. е. меньше требуемого по условию.

10. Корректировка катета сварного шва по результатам расчета на выносливость.

При найденной конфигурации сварного шва обеспечить требуемое значение коэффициента запаса можно увеличением катета сварного шва. Для задания нового значения катета сварного шва в меню **Данные** выбираем **Дополнительные параметры...** В поле ввода «**Катет шва, мм**» открывшегося диалогового окна следует записать значение, которое превышает 2,45, например 3, и провести расчет заново. Величину эффективного коэффициента концентрации напряжений оставляем равной 3 (значение по умолчанию).

Снова обратившись к меню **Результаты...**, видим, что при величине катета сварного шва **3 мм**, полученного из проектировочного расчета, коэффициент запаса прочности по пределу текучести равен 3,05, а коэффициент запаса по выносливости — 1,78, что полностью удовлетворяет заданным условиям. Таким образом, задачу можно считать решенной.

Практическое задание.

Произвести расчет сварного шва, предназначенного для присоединения горизонтальной прямоугольной трубы к вертикальной (рис. 9.11).

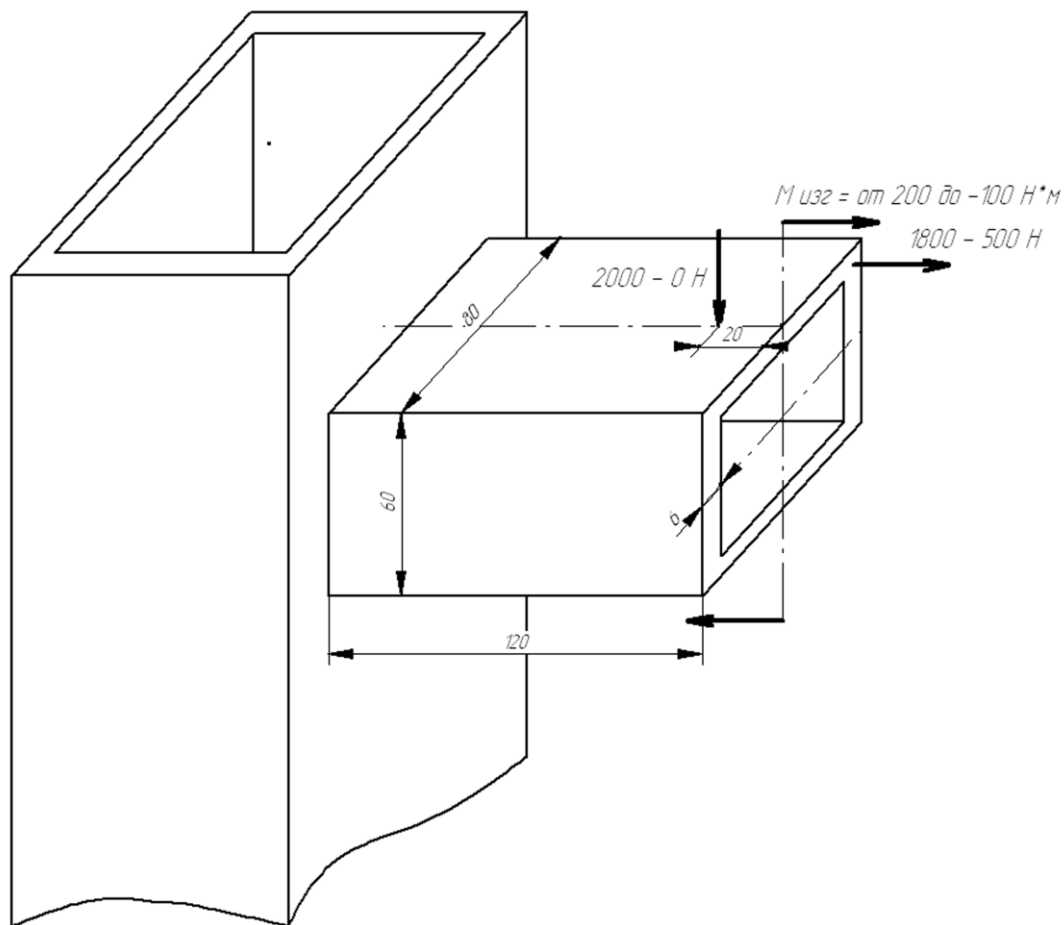


Рис. 9.11

Глава 10. Пример расчета спиральной пружины сжатия в модуле APM Spring

Общий порядок расчета

1. Выбор типа пружины.
2. Выбор типа расчета: проектировочный, проверочный или подбор стандартной пружины по ГОСТ 13765-86.
3. Задание основных параметров.
4. Задание дополнительных параметров (если необходимо).
5. Выполнение расчета.
6. Просмотр результатов расчета.
7. Генерация чертежа спроектированной пружины.
8. Вывод результатов расчета на печать.
9. Вывод результатов расчета в файл формата ***.rtf**.

Задача

Выполнить проектировочный расчет пружины сжатия круглого сечения со следующими параметрами:

- сила пружины при рабочей нагрузке — 800 Н;
- сила пружины при предварительной деформации — 120 Н;
- рабочий ход — 45 мм;
- класс пружины — 2-й;
- материал — пружинная проволока 2 класса;
- диаметр проволоки — 5 мм.

Решение

1. Выбор типа пружины.

Тип пружины выбираем из меню **Тип/Пружина** — в открывшемся диалоговом окне «**Пружина**» указываем «**Пружина сжатия**».

2. Выбор типа расчета.

В меню **Тип/Расчеты** выбираем **Проектировочный**.

3. Задание основных параметров.

Для ввода исходных данных открываем меню **Данные...** и в поля ввода диалогового окна **«Основные параметры»** (рис. 10.1) заносим запрашиваемые параметры в соответствии с исходными данными (кроме значения диаметра проволоки):

- «Сила пружины при рабочей нагрузке» — 800 [Н];
- «Сила пружины при предварительной деформации» — 120 [Н];
- «Рабочий ход» — 45 [мм].

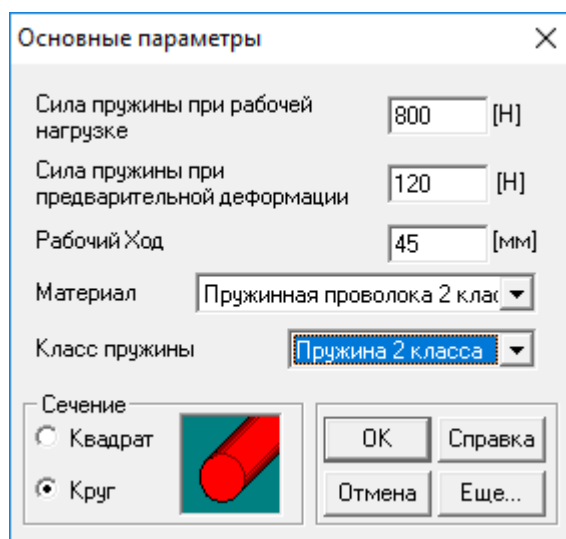


Рис. 10.1

Из выпадающего списка **«Материал»** выбираем материал пружины — **Пружинная проволока 2 класса**;


В группе параметров **Сечение** выбираем — **Круг**.

4. Задание дополнительных параметров.


В данном случае в качестве дополнительного параметра выступает диаметр проволоки. Для его задания в окне **«Основные параметры»** нажимаем кнопку **«Еще...»** и в поле ввода **«Диаметр проволоки»** открывшегося диалогового окна **«Дополнительные параметры»** вводим значение требуемого диаметра проволоки — 5 [мм]. Поля с остальными параметрами оставляем незаполненными (нулевыми).

Замечание. Из параметров «Средний диаметр пружины», «Индекс пружины» и «Диаметр проволоки» группы «Геометрические параметры» может быть независимо задан только один, поскольку все эти величины связаны между собой функциональными зависимостями.

5. Выполнение расчета.

Расчет происходит после нажатия кнопки «**Рассчитать**»  (меню **Рассчитать**). После окончания расчета становится активной кнопка «**Результаты...**» (меню «**Результаты...**»).

6. Просмотр результатов расчета.

Для просмотра результатов расчета нажимаем кнопку «**Результаты**»  (меню **Результаты...**). В открывшемся диалоговом окне «**Пружина сжатия**» показываются как исходные данные, для которых проводился расчет, так и результаты расчета.

7. Генерация чертежа спроектированной пружины.

Для генерации чертежа спроектированной пружины в диалоговом окне «**Пружина сжатия**» необходимо нажать кнопку «**Чертеж**». После этого откроется диалоговое окно «**Черчение**» (рис. 10.2), в котором нужно сделать некоторые настройки.

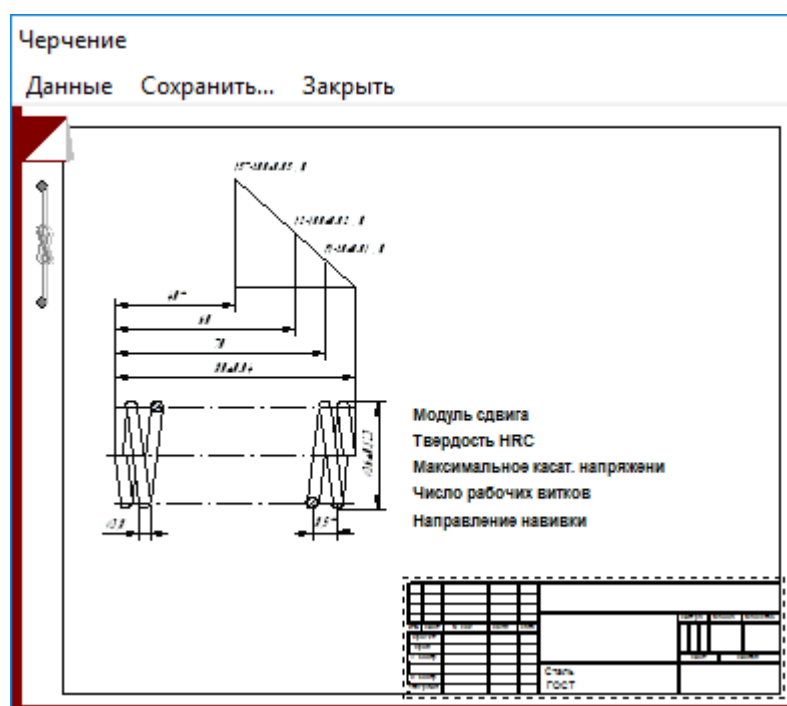


Рис. 10.2

7.1. Выбор типа опорных витков пружины. Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области изображения пружины (меню **Данные/Построение...**) вызывает открытие диалогового окна «**Типы опорных витков пружины сжатия**» (рис. 10.3), с помощью которого можно выбрать тип опорных витков. При наведении указателя мыши на различные типы появляется всплывающая подсказка. После выбора одного из типов опорных витков это окно закрывается.

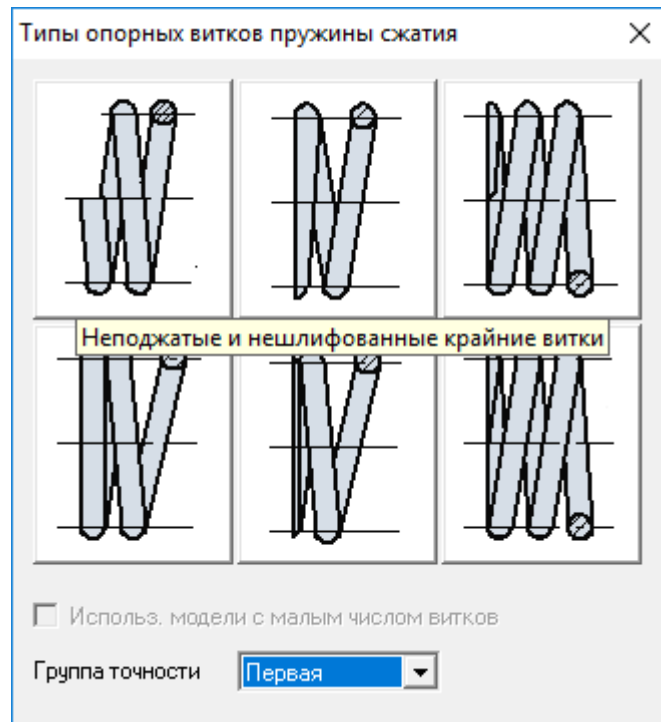


Рис. 10.3

7.2. Задание технических требований. Двойной щелчок левой кнопки мыши в области списка с техническими требованиями (меню **Данные/Технические требования...**) вызывает открытие диалогового окна «**Технические требования**» (рис. 10.4). Пользователь может изменить параметры, записанные в полях с белым фоном.

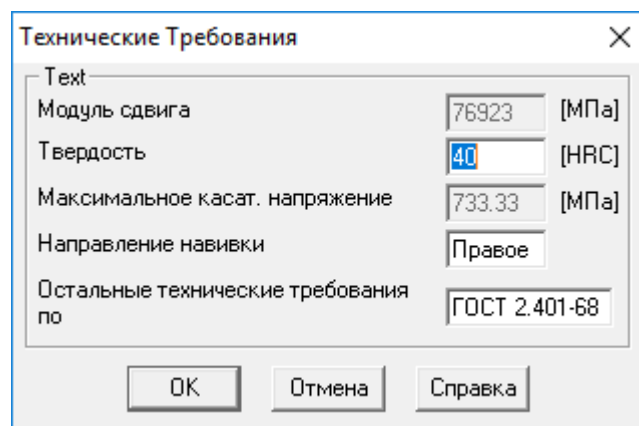


Рис. 10.4

7.3. Заполнение штампа. Двойным щелчком левой кнопкой мыши в области штампа чертежа (меню **Данные/Штамп...**) открываем диалоговое окно «**Заполнение штампа**», в полях ввода которого можно указать фамилии исполнителей и дату, а также выбрать масштаб чертежа, формат чертежа и т. п.

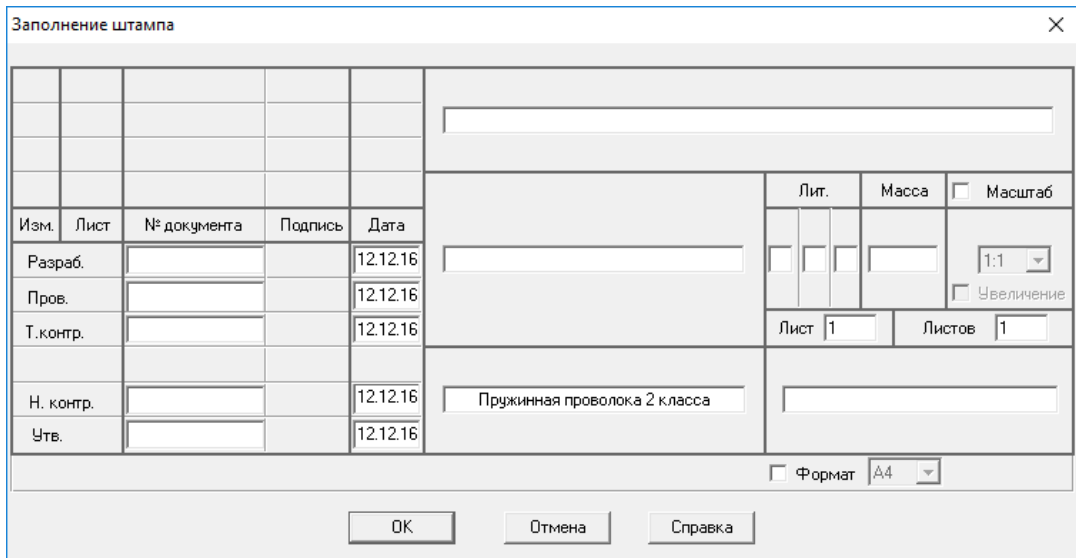


Рис. 10.5

7.4. Сохранение файла чертежа. Для завершения генерации чертежа необходимо в окне «Черчение» (меню **Сохранить...**) сохранить этот чертеж в виде файла с расширением ***.agr**. После этого произойдет запуск плоского графического редактора **APM Graph**, в окне которого и будет показан чертеж рассчитанной пружины (рис. 10.6).

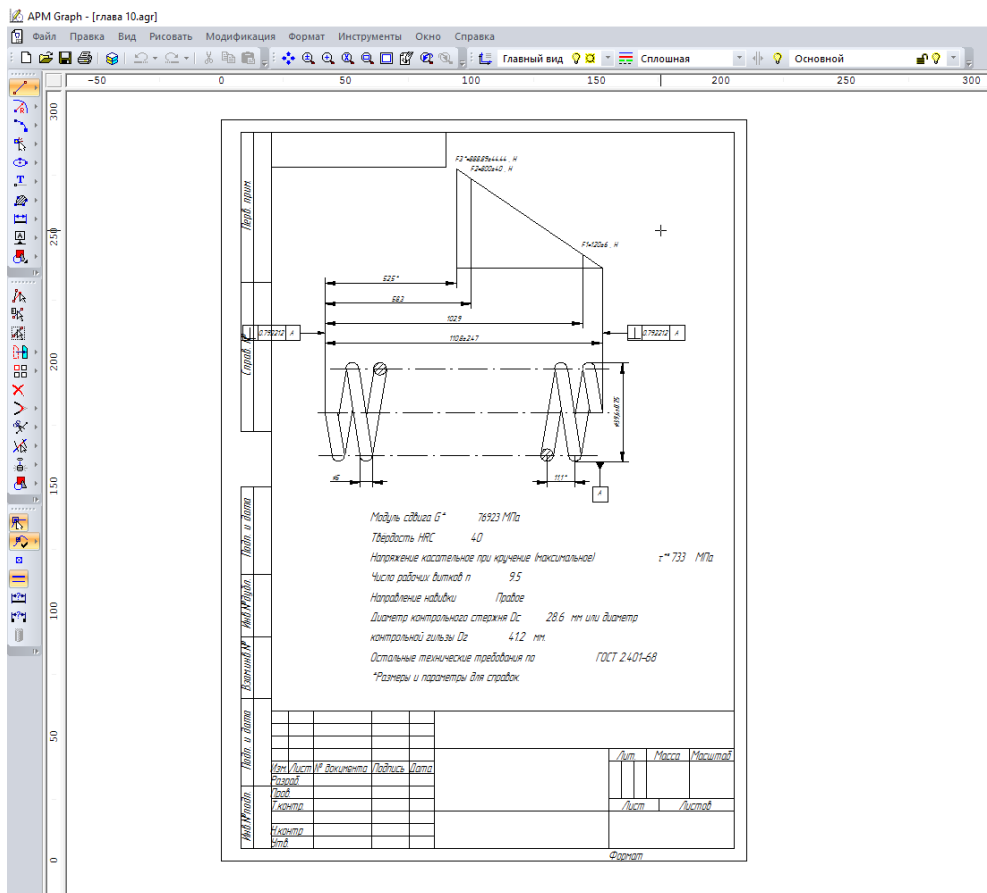



Рис. 10.6

8. Вывод результатов расчета на печать.

Для вывода результатов расчета на печать нужно нажать в основном окне программы кнопку «Печать»  (меню **Файл/Печать**).

9. Вывод результатов расчета в файл формата *.rtf.

У пользователя есть возможность вывести и исходные данные, и результаты расчета в текстовый файл формата ***.rtf**, который может быть открыт с помощью большинства современных текстовых редакторов. Для вывода результатов в файл формата ***.rtf** следует выбрать в меню **Файл/Сохранить...** тип файла ***.rtf** и сохранить файл в этом формате.

Практическое задание.

1. Выполнить проектировочный и проверочный расчеты оригинальной пружины (параметры задаются пользователем) с генерацией ее чертежа.
2. Выполнить расчет стандартной пружины из ГОСТ с данными задания 1.

Глава 11. Пример расчета кулачкового механизма с поступательным роликовым толкателем в модуле АРМ Сам

Общий порядок расчета

1. Выбор типа кулачкового механизма.
2. Задание геометрических параметров кулачкового механизма.
3. Задание физических данных материалов кулачкового механизма.
4. Задание реализуемого кулачком закона движения.
5. Выполнение расчета.
6. Просмотр результатов расчета.
7. Генерация чертежа спроектированного кулачка;
8. Вывод результатов расчета на печать или в файл формата ***.rtf**.

Задача

Выполнить расчет кулачкового механизма с поступательным роликовым толкателем. Исходные данные:

геометрические параметры

- эксцентриситет — 20 мм;
- радиус ролика — 5 мм;
- длина направляющих — 300 мм;
- расстояние до центра — 400 мм.
- толщина кулачка – 20 мм.
- максимальный угол давления — 35°;
- направление вращения кулачка — по часовой стрелке.

физические параметры


- результирующая сила сопротивления — 200 Н;
- допустимое напряжение — 800 МПа;
- модуль упругости материала кулачка — 200 000 МПа;
- модуль упругости материала ролика — 200 000 МПа;
- коэффициент трения в высшей паре — 0,01;
- коэффициент трения в направляющих — 0,01;
- коэффициент запаса угла давления — 1.

Закон движения (функциональная зависимость перемещения толкателя от угла поворота кулачка)


перемещение толкателя как функция угла поворота кулачка, $y=y(x)$, имеет вид $y = 40 \sin(0,07x - 1,57) + 40$; $[y]=[\text{мм}]$, $[x]=[\text{рад}]$.

Решение

1. Выбор типа кулачкового механизма.

Нажимаем кнопку «**Выбор типа кулачка**»  (меню **Данные/Тип...**) и в открывшемся диалоговом окне «**Выбор типа кулачкового механизма**» выбираем в группе параметров *По-ступательный толкатель* позицию «**С роликом**».

2. Задание геометрических параметров кулачкового механизма.


Нажимаем кнопку «**Ввод геометрических данных**»  (меню **Данные/Геометрические данные...**) и в поля ввода открывшегося диалогового окна «**Геометрические данные для кулачка с роликовым толкателем**» записываем запрашиваемые параметры в соответствии с исходными данными:

- «**Эксцентриситет, мм**» — вводим число **20**;
- «**Радиус ролика, мм**» — **5**;
- «**Длина направляющих, мм**» — **300**;
- «**Расстояние до центра, мм**» — **400**;
- «**Толщина кулачка, мм**» — **20**.

В группе параметров *Направление вращения* выбираем — **по час. стрелке**.


Для задания величины максимального угла давления следует в диалоговом окне «**Геометрические данные для кулачка с роликовым толкателем**» нажать кнопку «**Больше...**». После этого в открывшемся диалоговом окне «**Дополнительные данные**» выбираем один из взаимоисключающих параметров. Так как в рассматриваемой задаче задана величина максимального угла давления, то в поле ввода «**Критический угол давления, град**» записываем число **35**.


3. Задание физических параметров материалов кулачкового механизма.


Для задания физических данных материалов кулачкового механизма нажимаем кнопку «**Ввод физических данных**»  (меню **Данные/Физические данные...**) и в открывшемся диалоговом окне «**Физические данные для кулачка с роликовым толкателем**» задаем запрашиваемые параметры, занося их в соответствующие поля ввода:

- «Результирующая сила сопротивления, Н» — вводим число **200**;
- «Допустимое напряжение, МПа» — **800**;
- «Модуль упругости кулачка, МПа — **200000**;
- «Модуль упругости наконечника, МПа — **200000**;
- «Коэффициент трения в высшей паре» — **0,01**;
- «Коэффициент трения в направляющих» — **0,01**;
- «Коэффициент запаса угла давления» — **1**.

4. Задание реализуемого кулачком закона движения.

Нажимаем кнопку «Задание новой функции»  (меню Данные/Функция...). Заданный по условию функциональный вид закона движения вводится в появившемся диалоговом окне «Редактор функций», в котором нужно предварительно выполнить несколько настроек.

4.1. Задание масштаба окна редактора функции. Для большинства случаев достаточно установить масштаб **1:1**. Для этого следует нажать кнопку «Масштаб»  и записать **1:1** в поле ввода диалогового окна «Масштаб».

4.2. Задание диапазона изменения функции. Для задания диапазона функциональной зависимости по **Y** следует нажать кнопку «Пределы функции» . Откроется диалоговое окно «Пределы функции» (рис 11.1), в котором нужно будет задать диапазон изменения функции, а следовательно, и диапазон перемещения толкателя. Единицы измерения по различным осям приводятся на панели статуса диалогового окна «Редактор функций».

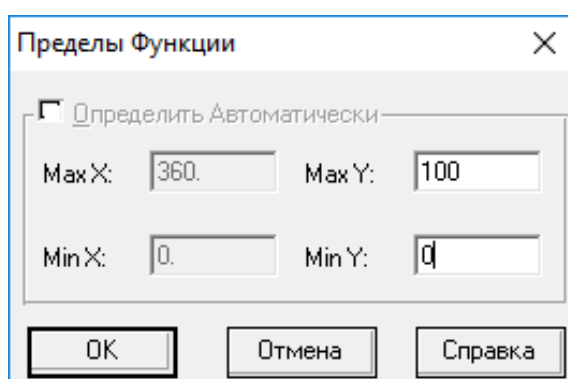





Рис. 11.1

Поля ввода по **X** неактивны, поскольку в данном случае **X** — это угол поворота кулачка, который всегда определяется величиной полного оборота.

По условию диапазон перемещений толкателя составляет от 0 до 80 мм, поэтому для того чтобы вся функция располагалась в окне редактора функций, в соответствующие поля ввода записываем:





- «Max Y» — число 100;
- «Min Y» — число 0.


4.3. Выбор вида закона движения. У пользователя есть возможность выбора вида закона движения, т. е. вида функциональной зависимости, которую должен реализовать кулачковый механизм:

- Функция «Перемещение», нажата кнопка «Перемещение» ;
- Функция первой производной функции перемещения — кнопка «Аналог скорости» ;
- Функция второй производной функции перемещения, — кнопка «Аналог ускорения» .

По умолчанию нажата кнопка «Перемещение», что и соответствует рассматриваемой задаче.

4.4. Выбор способа задания закона движения. У пользователя есть возможность выбора способа задания закона движения или его участков:

- Сплайн — нажата кнопка «Вставить сплайн» ;
- Линейная или кусочно-линейная зависимость — нажата кнопка «Вставить линию» ;
- Аналитическая функция – нажата кнопка «Аналитическая функция» ;
- Кроме того, ввод данных может быть осуществлен с помощью таблицы — нажата кнопка «Таблица» .

4.5. Задание аналитической функции. В рассматриваемой задаче закон движения задан в виде аналитической функции, для ввода которой следует перейти в соответствующий режим нажатием кнопки . После этого открывается диалоговое окно «Аналитическая функция» (рис. 11.2).

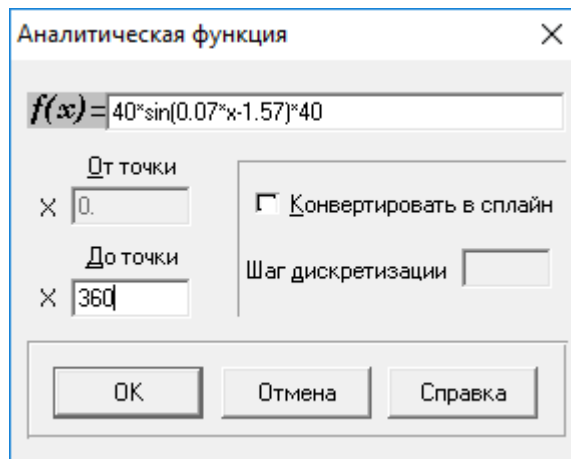


Рис. 11.2

В поле ввода $f(x)$ = этого окна нужно записать заданную по условию функциональную зависимость, т. е. $40*\sin(0.07*x-1.57)+40$. Кроме того:

- В поле ввода «От точки» — вводим число **0**;
- В поле ввода «До точки» — вводим число **360**.

После выполнения всех этих операций заданная функциональная зависимость отобразится в окне «Редактор функций» (рис. 11.3).

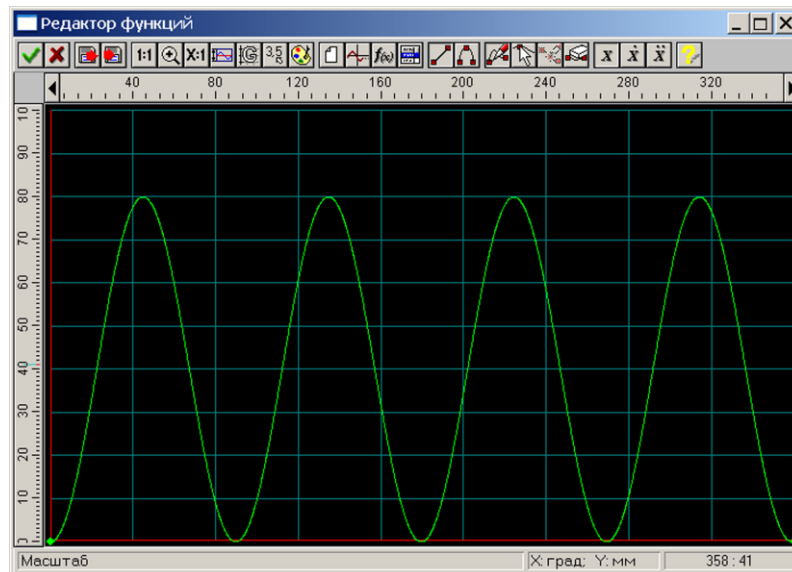




Рис. 11.3

5. Выполнение расчета.

Нажимаем кнопку «Расчет»  (меню **Расчет**). После окончания расчета становится активной кнопка «Результаты» (меню **Результаты**).

Замечание. Если в процессе расчета с введенными исходными данными возникают те или иные проблемы, программа может выдавать различные сообщения. В зависимости от вида возникающих проблем в отдельных случаях возможно получение результата, в других — расчет будет прерван.

6. Просмотр результатов расчета.

Для просмотра результатов расчета нажимаем кнопку «Показать результаты»  (меню **Результаты**). В открывшемся диалоговом окне «Результаты» (рис. 11.4) пользователь может выбрать те результаты расчета, которые он желает просмотреть.

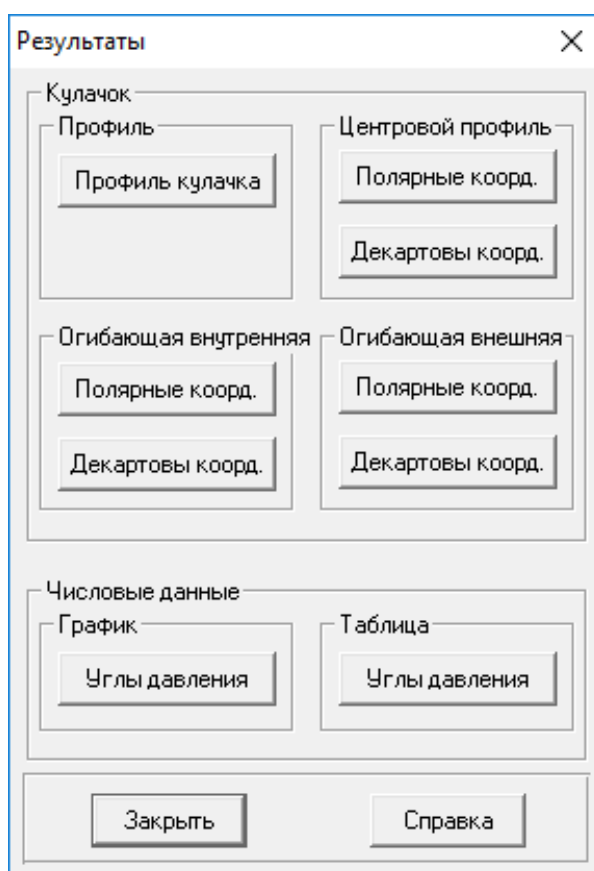


Рис. 11.4

При нажатии кнопки «Профиль кулачка» откроется диалоговое окно «Профиль кулачка» (рис. 11.5), в поле которого можно оценить размеры спроектированного кулачка и посмотреть моделирование его работы.

Выбирая различные кнопки в диалоговом окне «Результаты», можно последовательно просмотреть координаты центрального профиля кулачка, а также его внешней и внутренних огибающих в полярных и декартовых координатах.

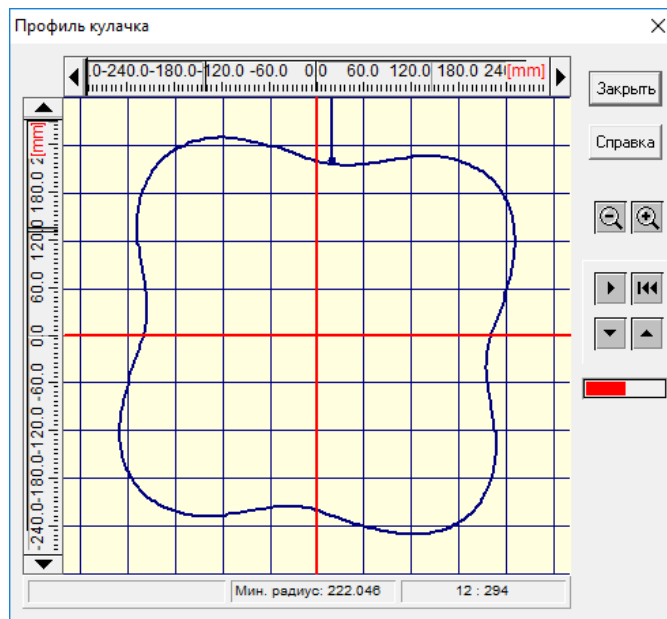



Рис. 11.5.

7. Генерация чертежа спроектированного кулачка.

Для генерации чертежа спроектированного кулачка следует нажать кнопку «**Чертеж**»  (меню **Чертеж...**). Это приведет к открытию диалогового окна «**Черчение**» (рис. 11.6), в котором необходимо сделать некоторые настройки.

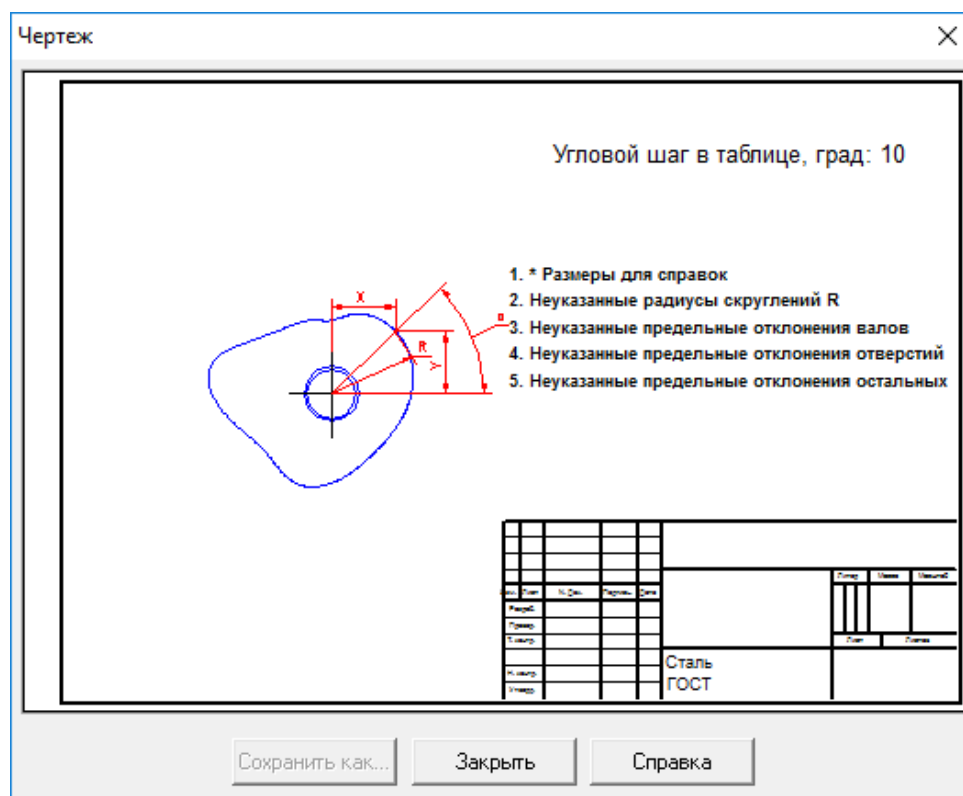


Рис. 11.6

7.1. Задание конструктивных размеров кулачка. Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области изображения кулачка вызывает открытие диалогового окна «**Ступицы кулачка**» (рис. 11.7), с помощью которого может быть выбран тип ступицы кулачка.

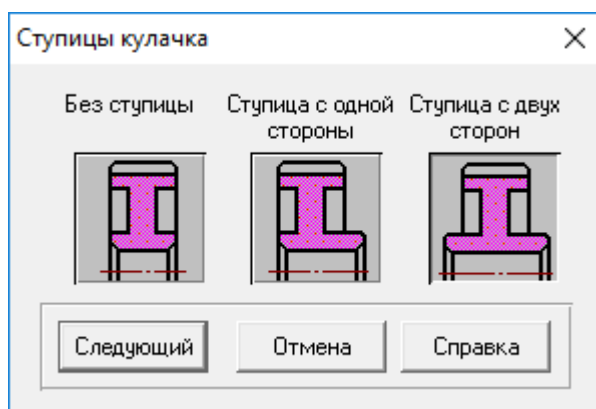


Рис. 11.7

После выбора типа ступицы (щелчка на одной из кнопок с типом ступицы) и нажатия кнопки «**Следующий**» откроется диалоговое окно «**Тип соединения**» (рис. 11.8). Щелчком на одной из кнопок с типом соединения выбираем тип соединения и нажимаем кнопку «**Следующий**».

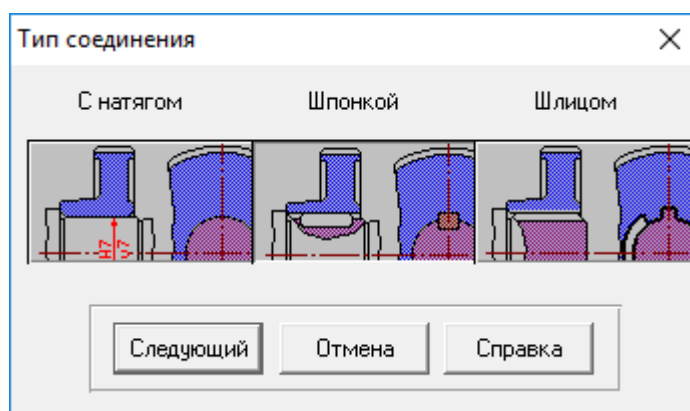


Рис. 11.8

Затем откроется диалоговое окно «**Размеры**» (рис. 11.9), в полях которого можно будет задать/уточнить некоторые из размеров кулачка.

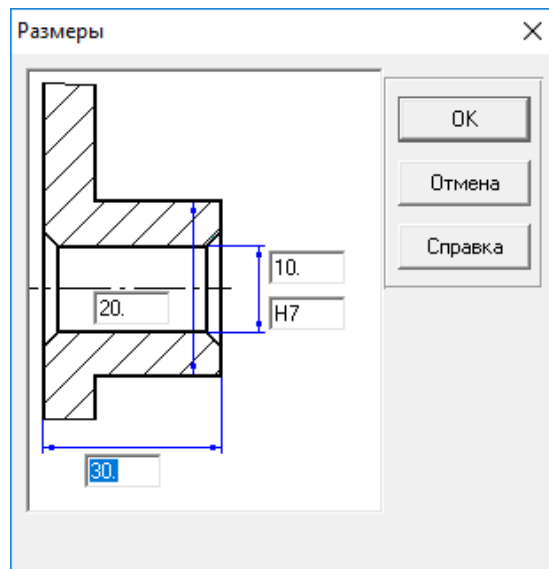


Рис. 11.9

7.2. Задание углового шага вывода данных профиля кулачка. Двойной щелчок левой кнопкой мыши в правом верхнем углу окна «Черчение» (рис. 11.6), вызывает открытие диалогового окна «Угловой шаг». В поле ввода этого окна можно изменить угловой шаг, с которым в таблице будут выводиться значения профиля кулачка.

7.3. Задание технических требований. Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области списка с техническими требованиями вызывает открытие диалогового окна «Технические требования» (рис. 11.10). Пользователь может изменить значения параметров, записанные в полях с белым фоном.

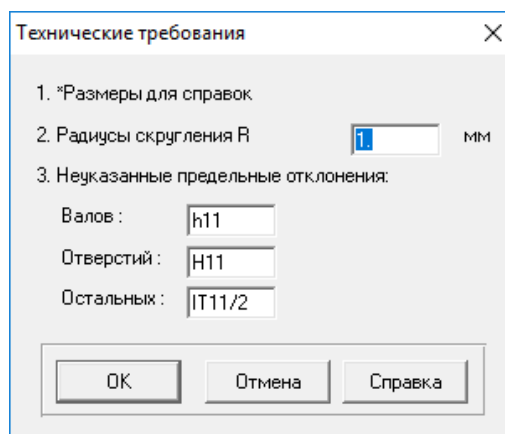


Рис. 11.10

7.4. Заполнение штампа. Двойным щелчком левой кнопкой мыши в области штампа чертежа открываем диалоговое окно «Заполнение штампа», в полях ввода которого можно указать фамилии исполнителей и дату, а также выбрать масштаб чертежа, формат чертежа и т.п.

7.5. Сохранение чертежа. Для завершения генерации чертежа необходимо в окне «Черчение» нажать кнопку «Сохранить как» и сохранить чертеж как файл с расширением *.agr. После этого произойдет запуск плоского чертежного редактора **APM Graph**, в окне которого и будет показан чертеж спроектированного кулачка (рис. 11.11).

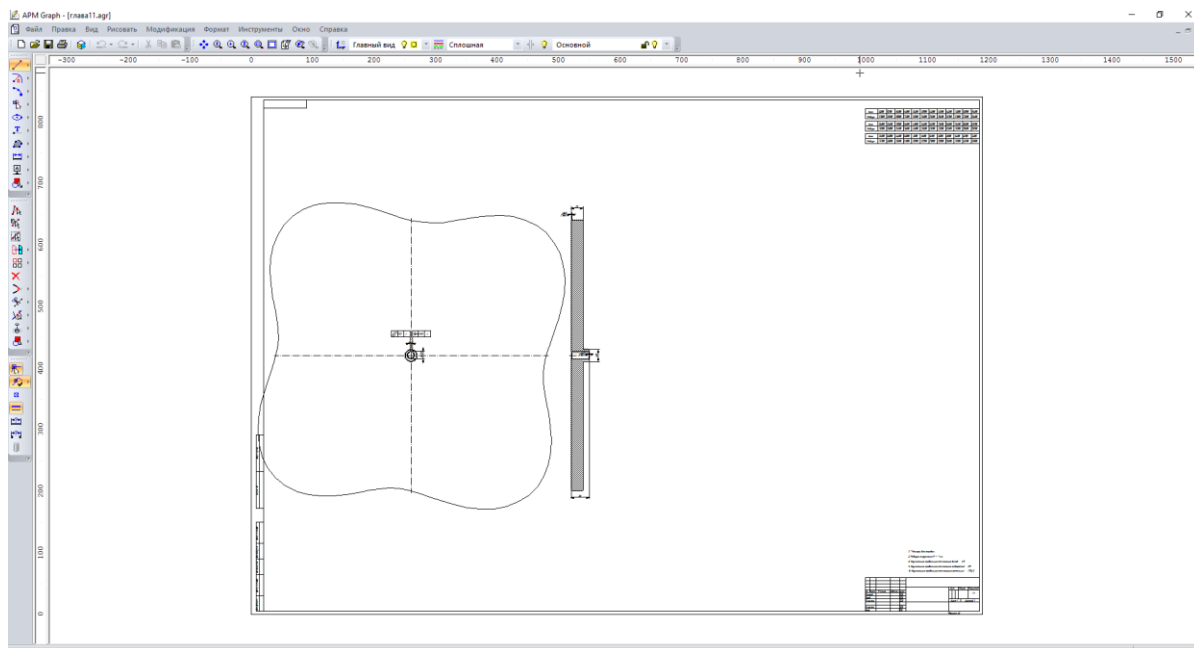



Рис. 11.11

8. Вывод результатов на печать или в файл формата *.rtf.

Для вывода результатов расчета на печать нажмите в основном окне программы кнопку «Печать»  (меню **Файл/Печать**) и в открывшемся окне «**Что Вы хотите напечатать?**» отметьте флажками те результаты, которые требуется вывести на печать. Вывод результатов расчета может быть осуществлен либо сразу на принтер (кнопка «Печать»), либо в текстовый файл формата *.rtf (кнопка «RTF»), который может быть открыт в большинстве текстовых редакторов, так что пользователь имеет возможность его редактировать. Такая возможность особенно удобна в том случае, когда по результатам расчета нужно подготовить отчет по заданной форме.

Практическое задание.

Выполнить расчет аналогичного роликового кулачкового механизма с коромыслом, реализующим функциональную зависимость $y = 20 \sin(0,07x/4 - 1,57) + 20$; [y]=[град], [x]=[рад].

Глава 12. Пример расчета подшипника скольжения жидкостного трения в модуле APM Plain

Общий порядок расчета

1. Выбор типа подшипника.
2. Задание геометрии подшипника.
3. Задание радиального зазора в дополнительных параметрах (если необходимо).
4. Задание условий работы подшипника.
5. Задание параметров масла;
6. Проведение расчета;
7. Просмотр результатов расчета.
8. Сохранение результатов расчета в файле формата *.rtf.

Задача

Провести расчет подшипника скольжения жидкостного трения при подаче смазки в рабочую зону. Исходные данные:

геометрические параметры

- диаметр вала — 300 мм;
- длина контактной зоны — 300 мм;
- чистота поверхности вала и отверстия — 1 мкм;
- нецилиндричность вала и отверстия — 0,02 мм.

условия работы

- радиальная сила — 30000 Н;
- скорость вращения — 3000 об/мин;
- давление масла — 0.2 МПа;

параметры смазки

- теплоемкость масла — 1980 Дж/(кг·°C);
- плотность — 872 кг/м³.
- вязкость масла при температуре T=20°C — 0.0872 Па·с.
- вязкость масла при температуре T=70 °C — 0.0095 Па·с.

Решение

1. Выбор типа подшипника.

Входим в меню **Данные/Тип подшипника...** и в открывшемся диалоговом окне **«Выбор типа подшипника»** выбираем **«Радиальный подшипник жидкостного трения»**.

2. Задание геометрии подшипника.


Нажимаем кнопку «Геометрия»  (меню **Данные/Геометрия...**) и в поля ввода открывшегося диалогового окна «**Геометрия подшипника**» записываем запрашиваемые параметры в соответствии с исходными данными:

- «Диаметр вала, мм» — вводим число **300**;
- «Длина контактной зоны, мм» — **300**;
- «Чистота поверхности вала, мкм» — **1**;
- «Чистота поверхности отверстия, мкм» — **1**;
- «Нецилиндричность вала, мм» — **0,02**;
- «Нецилиндричность отверстия, мм» — **0,02**.

3. Задание радиального зазора в дополнительных параметрах.


Для задания величины радиального зазора следует в диалоговом окне «**Геометрия подшипника**» нажать кнопку **Дополнительные параметры...** Это приводит к открытию диалогового окна «**Геометрия подшипника**». Поскольку величина радиального зазора не задана, то в поле ввода **Дополнительные параметры... Радиальный зазор, мм** оставляем значение, равное **0**.

4. Задание условий работы подшипника.

Для задания условий работы следует нажать кнопку «**Условия работы**»  (меню **Данные/Условия работы...**) и в поля ввода открывшегося диалогового окна «**Условия работы**» ввести запрашиваемые параметры в соответствии с исходными данными:

- «Радиальная сила, Н» — **30000**;
- «Скорость вращения, об/мин» — **3000**;
- «Температура масла, °С» — **20**;
- «Давление масла, Па» — **200000**;

5. Задание параметров масла.

Для задания параметров масла нужно нажать кнопку «**Параметры масла**»  (меню **Данные/Параметры масла...**) и в открывшемся диалоговом окне «**Ввод характеристик масла...**» в группе параметров *Данные по вязкости* выбрать **Значения**. Далее следует ввести параметры масла.

- 5.2. Вязкость масла при темп. 1, Па*сек — **0.0872**;
- 5.3. Вязкость масла при темп. 2, Па*сек — **0.0095**;
- 5.4. Температура 1, град. С — **20**;

5.5. Температура 2, град. С — 70.


Кроме того, в полях ввода группы параметров *Основные параметры* следует задать теплоемкость и плотность масла:

5.6. «Теплоемкость масла, Дж/(кг·°С)» — 1980;


5.7. «Плотность масла, кг/м³» — 872.

По введенным параметрам вязкости строится зависимость вязкости масла от температуры. Чтобы ее просмотреть следует нажать кнопку «**Определить зависимость**», что приведет к открытию диалогового окна «**Зависимость Температура-вязкость для масла**», в котором по введенным значениям вязкости и температуры будет построена зависимость.

6. Проведение расчета.

Нажимаем кнопку «**Расчет**»  (меню «**Расчет**»). После окончания расчета становится активной кнопка «**Результаты**» (меню «**Результаты**»).

7. Просмотр результатов расчета.

Для просмотра результатов расчета нажимаем кнопку «**Результаты**»  (меню «**Результаты**»). В открывшемся диалоговом окне «**Результаты расчета**» показываются результаты расчета.

8. Сохранение результатов расчета в файле формата *.rtf.

У пользователя есть возможность вывести и исходные данные, и результаты расчета в текстовый файл формата ***.rtf**, который может быть открыт в большинстве текстовых редакторов. Для вывода результатов в формате ***.rtf** следует выбрать в меню **Файл/Печать в RTF...** тип файла ***.rtf** и сохранить его в этом формате.

Практическое задание.

Провести проектировочный расчет радиального подшипника скольжения жидкостного трения с параметрами по выбору пользователя.

Глава 13. Пример расчета шарико-винтовой передачи с преднатягом в модуле АРМ

Screw

Общий порядок расчета

1. Выбор типа передачи.
2. Задание геометрии передачи.
3. Задание параметров точности изготовления передачи.
4. Задание условий работы передачи.
5. Выполнение расчета.
6. Просмотр результатов расчета.
7. Вывод результатов расчета на печать или в файл формата *.rtf.

Задача

Рассчитать шарико-винтовую передачу с преднатягом со следующими исходными данными:

геометрические параметры

- средний радиус винта — 25 мм;
- радиус тел качения — 3 мм;
- радиус дорожки качения — 3.12 мм;
- шаг винта — 12 мм;
- число тел качения в витке — 21;
- число рабочих витков — 3.

величины допусков

- допуск на радиус дорожки винта — 0,02 мм;
- допуск на радиус дорожки гайки — 0,02 мм;
- допуск на шаг винта — 0,03 мм;
- допуск на шаг гайки — 0,03 мм;
- накопленная ошибка шага — 0,1 мм

условия работы

- осевая сила — 5000 Н;
- радиальная сила — 1000 Н;
- опрокидывающий момент — отсутствует;
- частота вращения — 20 об/мин;
- коэффициент динамичности — 1,1;

- сила преднатяга — 500 Н;
- режим работы — постоянный.

Решение

1. Выбор типа передачи.

Входим в меню **Данные/Тип передачи...** и в открывшемся диалоговом окне «**Тип передачи**» выбираем «**Шарико-винтовая с преднатягом**».

2. Задание геометрии передачи.

Входим в меню **Данные/Геометрия...** и в открывшемся диалоговом окне «**Геометрия**» задаем геометрические параметры рассчитываемой передачи, записывая их значения в соответствующие поля ввода:

- «Средний радиус винта, мм» — **25**;
- «Радиус тел качения, мм» — **3**;
- «Радиус дорожки качения, мм» — **3.12**;
- «Шаг винта, мм» — **12**;
- «Число тел качения в витке» — **21**;
- «Число рабочих витков» вводим — **3**.

3. Задание параметров точности изготовления передачи.

Входим в меню **Данные/Допуски...** и в соответствующих полях ввода открывшегося диалогового окна «**Допуски**» задаем данные по точности рассчитываемой передачи:

- в поле ввода «**Допуск на радиус дорожки винта, мм**» вводим число **0,02**;
- в поле ввода «**Допуск на радиус дорожки гайки, мм**» вводим число **0,02**;
- в поле ввода «**Допуск на шаг винта, мм**» вводим число **0,03**;
- в поле ввода «**Допуск на шаг гайки, мм**» вводим число **0,032**;
- в поле ввода «**Накопленная ошибка шага, мм**» вводим число **0,1**;

4. Задание условий работы передачи.

Входим в меню **Данные/Рабочие условия...** и в полях ввода открывшегося диалогового окна «**Рабочие условия**» записываем величины параметров нагрузки:

- «Осевая сила, Н» — **5000**;
- «Радиальная сила, Н» — **1000**;
- «Опрокидывающий момент, Нм» — **0**;
- «Частота вращения, об/мин» — **20**;

- «Коэффициент динамичности» — 1.1;
- «Сила преднатяга, Н» — 500;
- поле ввода «Смещение преднатяга, мм» оставляем пустым, поскольку задается или сила преднатяга, или смещение преднатяга;
- задание постоянного режима работы достигается отсутствием флажка в опции **Динамическое нагружение**.

5. Выполнение расчета.

Для запуска на расчет выбираем пункт меню **Расчет!**. После окончания расчета становится активным пункт меню **Результаты**.

6. Просмотр результатов расчета.

Для просмотра результатов расчета выбираем пункт меню **Результаты....** В открывшемся диалоговом окне «**Результаты расчета**» (рис. 13.1) можно просмотреть общие результаты расчета по нагруженной или ненагруженной полугайке (группа параметров *Резюме*). Кроме того, нажатием соответствующих кнопок можно вызвать диалоговые окна просмотра отдельных параметров передачи, таких как момент трения, потери мощности, различные смещения и т. д.

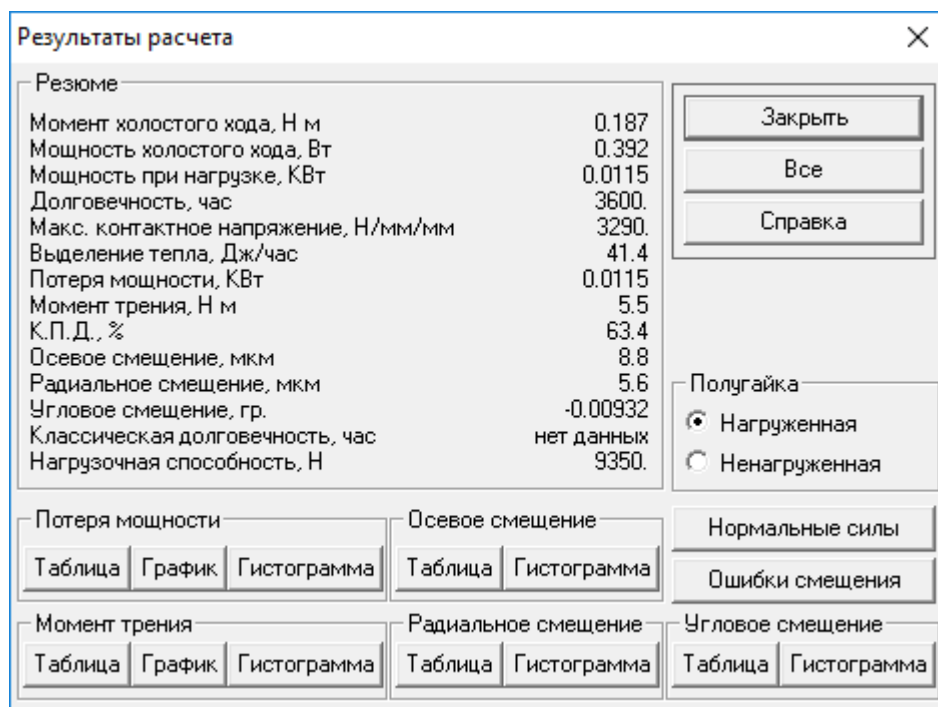


Рис. 13.1

Нажатием кнопки «**Нормальные силы**» открывается диалоговое окно «**Нормальные силы**» (рис. 13.2).

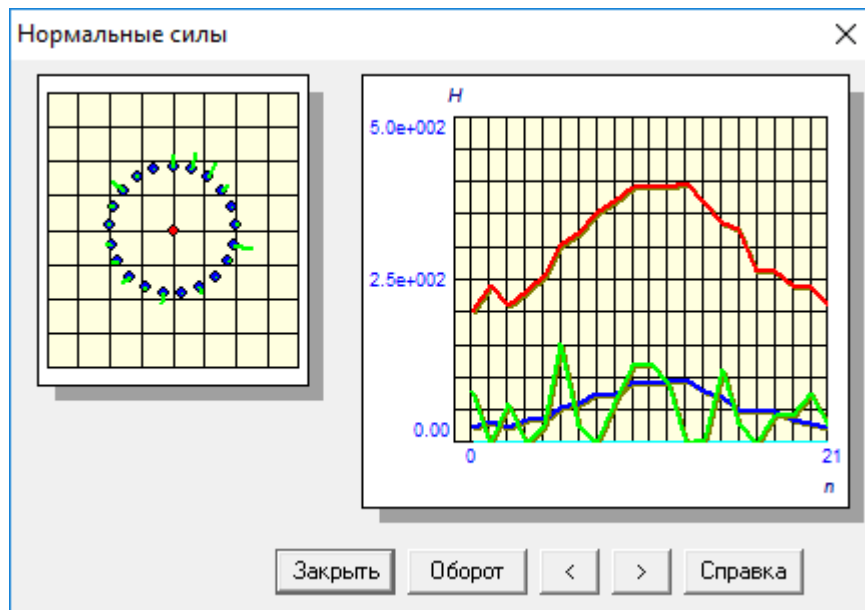


Рис. 13.2

В этом окне показывается нагрузка на тела качения в первом из рабочих витков шарико-винтовой передачи. Нажимая кнопку «**Оборот**», можно посмотреть распределение нормальных сил при различных положениях винта (100 значений), а с помощью кнопок «<» и «>» можно выбрать различные витки передачи.

7. Вывод результатов расчета на печать или в файл формата *.rtf.

Для вывода результатов расчета на печать следует выбрать меню **Файл/Печать** и в открывшемся окне «**Данные для печати**» отметить флажками те результаты, которые требуется вывести на печать для выбранной (нагруженной и/или ненагруженной) полугайки. Вывод результатов расчета может быть осуществлен либо сразу на принтер (кнопка «**Печатать**»), либо в текстовый файл формата *.rtf (кнопка «**RTF**»), который может быть открыт в большинстве текстовых редакторов, так что пользователь имеет возможность его редактировать. Такая возможность особенно удобна в том случае, когда по результатам расчета нужно подготовить отчет по заданной форме.

Глава 14. Пример работы с базой данных в модуле APM Base

Основные операции по работе с базами данных (БД)

1. Открытие базы данных. Объекты БД;
2. Просмотр и добавление объектов в БД;
3. Редактирование табличных данных объектов БД;
4. Экспорт данных из таблицы БД в файл формата Excel;
5. Поиск объектов в БД;
6. Печать объектов БД.

Для управления базами данных в Системе APM WinMachine служит модуль APM Base. Информация, размещенная в базе данных, может быть условно разделена по следующим признакам:

- *числовая* (допуски, посадки, качества и т. п.);
- *графическая*, которая может использоваться графическими редакторами (параметрическая модель, эскиз).

Граница между этими двумя видами информации проходит весьма условно, поскольку почти к каждой параметрической модели (графическая информация) прилагается список параметров ее типоразмеров (числовая информация).


При работе с БД пользователь имеет следующие возможности:

- *добавлять* в структуру БД, поставляемых в комплекте с Системой APM WinMachine, собственные разделы, группы и объекты, а также использовать их в расчетных и графических модулях;
- *выгружать* данные из БД с сохранением их в отдельный файл на диске;
- *экспортировать* всю БД или ее отдельные объекты с сохранением в другой базе данных.
- *создавать* собственную, пользовательскую, базу данных и использовать размещенную в ней информацию в графических модулях.

Порядок выполнения операций

1. Открытие БД. Объекты БД.

Запуск модуля APM Base осуществляется с помощью следующей последовательности команд меню Windows: **Пуск/Программы/APM WinMachine/APM Base**. Выполнение этих команд приведет к открытию основного окна APM Base.

После появления основного диалогового окна следует открыть те БД, которые потребуются для дальнейшей работы. Для того чтобы войти в режим открытия конкретной БД (или всех сразу), а также для создания пользовательской БД, необходимо нажать кнопку  «Открыть базу», находящуюся в левом верхнем углу основного окна. Это приведет к открытию диалогового окна «Менеджер баз данных» (рис. 14.1).

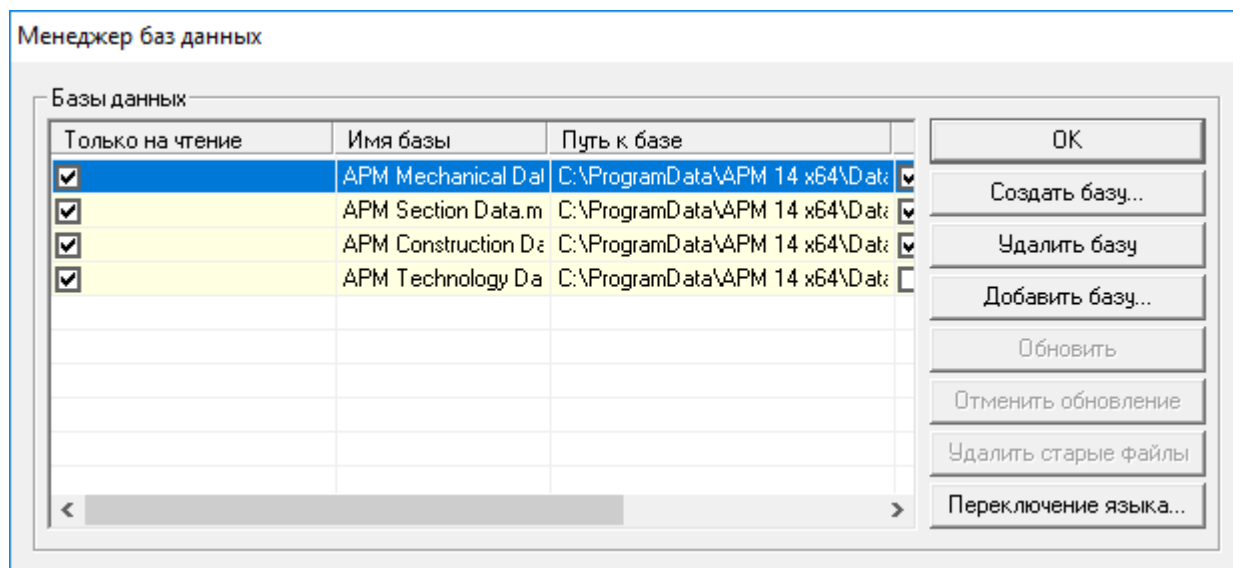


Рис. 14.1

В этом диалоговом окне приводится список всех подключенных БД. Рассмотрим подробнее столбцы этого списка.

Только на чтение – отмеченные БД при открытии будут недоступны для редактирования объектов (изменение/удаление/перемещение/добавление).

Имя базы – имя файла (*.mbd) базы данных MS Access.

Путь к базе – путь к базе данных на локальном или сетевом диске.

Открытые базы – отмеченные БД будут открыты после нажатия кнопки «Ок».

Текущий язык – язык, выбранный в качестве текущего для базы данных.

Для того чтобы иметь возможность работать с конкретной БД, нужно напротив имени этой базы поставить флажок в графе *Открытые базы*.

Нажатием кнопки «Ок» внесенные изменения подтверждаются, и выбранные БД будут открыты и готовы к работе (рис. 14.2).

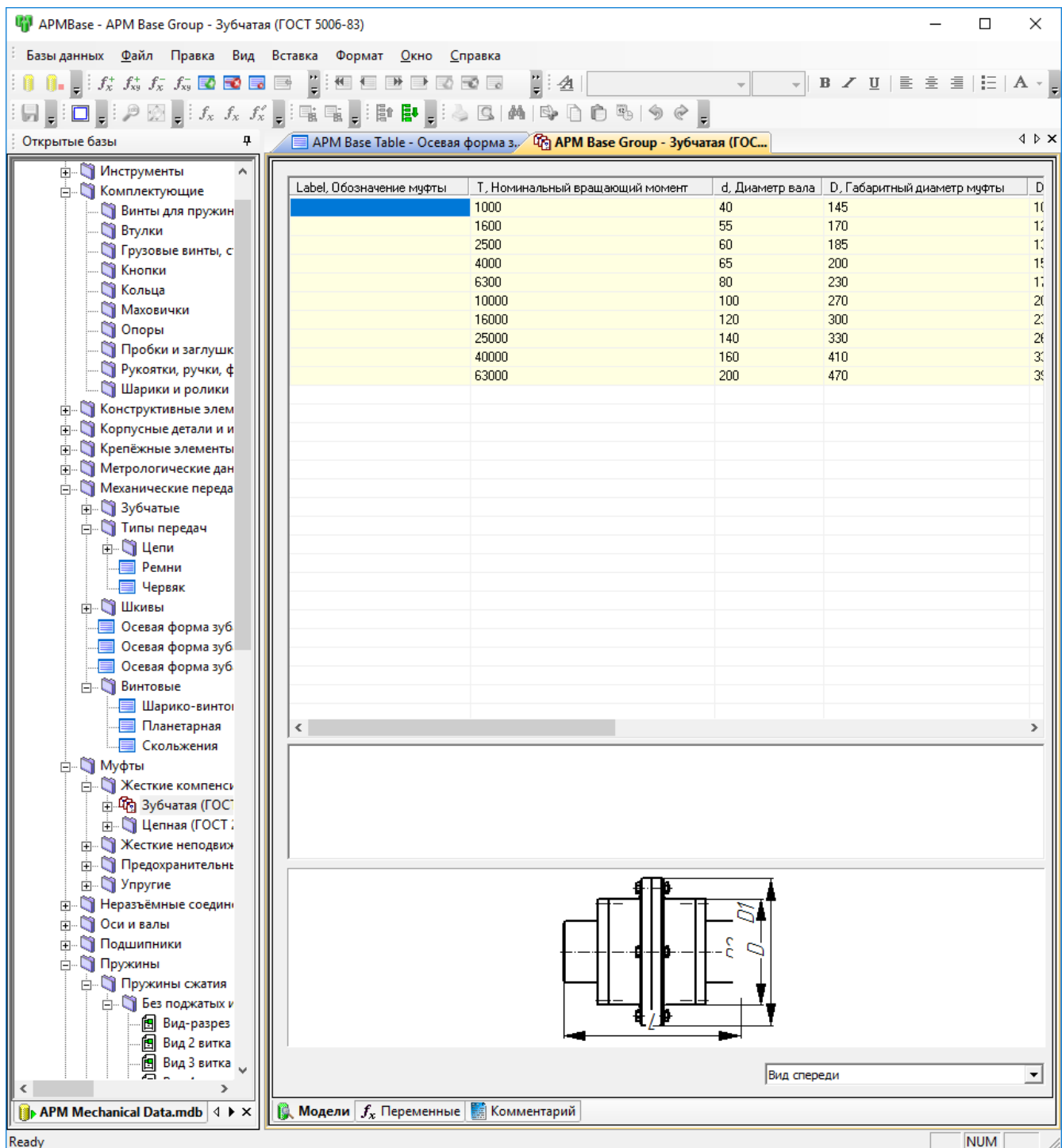





Рис. 14.2


В левой части основного окна APM Base (см. рис. 14.2) показывается структура открытой базы данных – так называемое *дерево*. Оно состоит из следующих объектов:


 *Папки* — имеют то же значение, что и папка (директория) в системе *Windows*. В редакторе базы данных возможен только просмотр содержимого конкретной папки.


 *Группы объектов* — объект БД, в составе которого могут находиться только параметрические модели. К группе объектов относятся, например, различные виды параметрической


модели одного и того же устройства – к примеру, это могут быть различные параметрические модели болта (вид спереди, вид слева, разрез и т.п.).

 *Параметрическая модель APM Graph* — объект, который может входить в состав *группы объектов* или находиться в составе *папки*. Параметрическая модель может быть встроена в чертеж при открытии БД из графического редактора.

 *Файл APM Graph* — объект, представляющий собой обычный чертеж, выполненный в редакторе *APM Graph*.

 *Таблица* — объект, в котором хранятся числовые данные, которые могут быть использованы соответствующими расчетными программами.

 *Рисунок* — объект, который может существовать в структуре БД самостоятельно или входить в состав таблицы. Этот объект имеет поясняющее значение и предназначен для иллюстрации чего-либо.

 *Текстовый файл* — текстовый файл формата ***.txt**, ***.rtf** или любого другого. Объект предназначен для хранения текстовых пояснений и технической документации.

2. Просмотр и добавление объектов в БД

После открытия выбранной БД (см. рис. 14.2) в левой части основного окна показывается дерево базы, состав которого можно просмотреть. Выбрав для просмотра требуемый объект из дерева базы, следует щелчком левой кнопки мыши выделить его, а затем открыть – это осуществляется двойным щелчком на названии этого объекта или нажатием клавиши **Enter** на клавиатуре. Выбранный объект откроется в правой части основного окна.

Прежде чем добавлять в какую-либо БД новые объекты, необходимо изменить ее статус — разрешить проводить в ней изменения. Для этого нужно выполнить еще раз все операции, указанные в п. 1 «Открытие БД», но отключить флажок в опции *Только на чтение* в диалоговом окне «**Менеджер баз данных**» (см. рис. 14.1). Программа выдаст предупреждение о том, что «**База данных будет доступна для изменений**», и после этого можно добавлять в БД новую информацию.

Рассмотрим добавление в БД нового объекта — *текстового файла*. Сразу же заметим, что объект типа *Текстовый файл* может быть добавлен только в папку. Поэтому прежде всего необходимо щелчком левой кнопкой мыши указать папку, в которую будет добавляться текстовый файл. Для добавления в выделенную папку нового объекта следует щелкнуть правой кнопкой мыши на выделенной папке, а затем в открывшемся контекстном меню (рис. 14.3) выбрать опцию «**Добавить текстовый файл**». После этого откроется стандартное диалоговое окно Windows «**Добавить текстовый файл**», в котором нужно указать добавляемый файл.

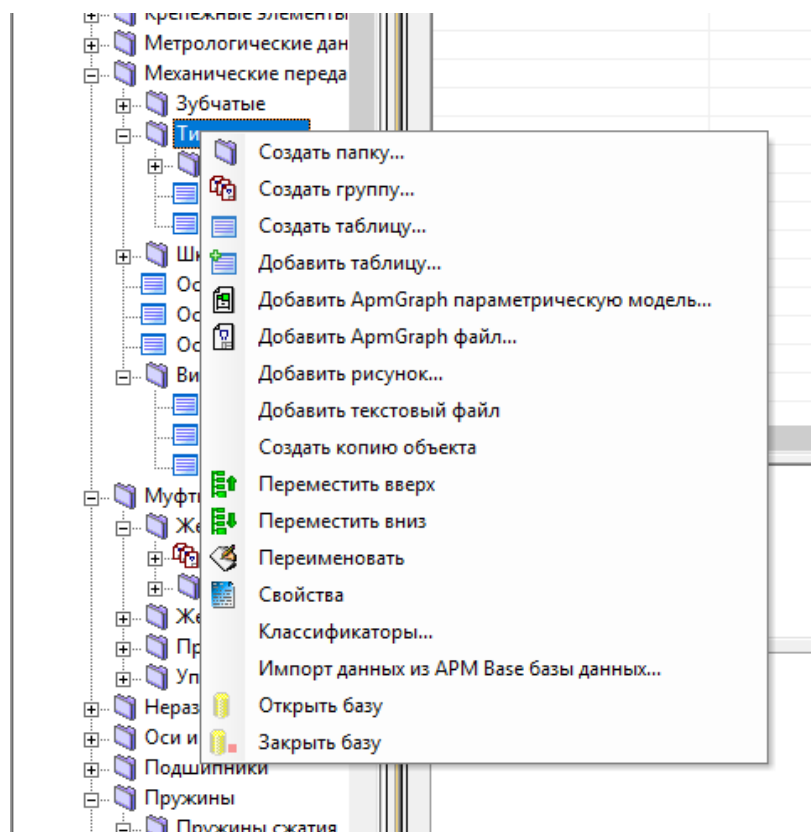


Рис. 14.3



Аналогичным образом в БД могут быть добавлены и другие объекты.

3. Редактирование табличных данных объектов БД.

Пользователь имеет возможность редактировать таблицы с данными. Таким образом могут быть отредактированы собственно таблицы с данными, а также таблицы с данными группы объектов и таблицы с данными параметрической модели.

Прежде чем редактировать какой-либо объект БД, его необходимо найти и открыть. После этого в зависимости от типа объекта станут активными те или иные кнопки (команды), расположенные на соответствующей инструментальной панели.


В качестве примера рассмотрим добавление информации в объект «Таблица».

Предположим, что в таблицу нужно добавить еще одну строку. Для этого вначале открываем этот объект, затем нажимаем на инструментальной панели «Операции с данными объекта «таблица»» кнопку «Добавить строку» . В результате в таблицу будет добавлена одна строка снизу (первая ячейка этой строки при этом становится выделенной), в которую может быть внесена любая информация в формате этой таблицы. Пользователь имеет возможность ввести данные с клавиатуры или встроить их вставку из буфера обмена с помощью кнопки «Вставить» , Расположенной на

инструментальной панели **«Операции с данными объекта «таблица»**. Для завершения ввода данных в ячейку таблицы следует нажать клавишу **Enter** на клавиатуре.


Аналогичным образом добавляются данные в другие таблицы. Естественно, кнопку **«Добавить строку»** необходимо нажимать на инструментальной панели, соответствующей типу объекта.

Замечание. Если параметрическая модель входит в состав группы объектов, то вставить данные можно только в таблицу группы объектов, а если параметрическая модель представляет собой самостоятельный объект БД – то в таблицу данных самой параметрической модели.

Для изменения данных в ячейке объекта *Таблица* следует выделить эту ячейку таблицы, а затем ввести новые данные с клавиатуры или вставить их из буфера обмена. При нажатии кнопки **«Вставить»**  (инструментальной панели **«Операции с данными объекта «таблица»**) информация в выделенной ячейке таблицы заменится содержанием буфера обмена. Для завершения ввода данных в ячейку таблицы нужно нажать клавишу **Enter** на клавиатуре.

Аналогично можно изменить содержимое ячеек других таблиц с данными.

4. Экспорт данных из таблицы в Excel.


В модуле APM Base предусмотрена возможность экспорта данных из таблицы объекта БД в файл формата MS Excel. Для этого необходимо нажать кнопку **«Экспорт»** , расположенную на инструментальной панели **«Операции с данными объекта «таблица»**, а затем в стандартном диалоговом окне Windows **«Сохранить как...»** указать имя файла и путь к нему.

5. Поиск объектов в БД.

В БД предусмотрена организация поиска по строке данных и по классификаторам.

Поиском по строке данных удобно пользоваться, если заранее известно (полно или частично) имя объекта или комментарии к нему. Для проведения поиска объектов в БД в меню **«Правка»** выбираем пункт **«Найти...»**, затем в поле ввода *Найти* появившегося диалогового окна **«Найти»** (рис. 14.4) вводим слово (или слова) для поиска и отмечаем флажками необходимые атрибуты поиска. Далее нажатием кнопки **«Найти далее»** производим поиск в той области БД, которая отмечена флажками. Найденные элементы (в рассматриваемом случае это элементы дерева) выделяются (см. рис. 14.4). Для поиска следующего объекта, содержащего заданное слово, нажимаем кнопку **«Найти далее»** еще раз.

Поиск по классификаторам удобно проводить в том случае, если кроме самих объектов БД необходимо найти данные или переменные, удовлетворяющие определенным условиям. Этот поиск осуществляется следующим образом. Выбираем в меню **«Правка»** пункт **«Найти по классификаторам...»**, что приводит открытию справа от окна открытого элемента БД панели

«Поиск», внешний вид которой показан на рис. 14.5. Затем из выпадающего списка *Классификаторы*: выбираем классификатор, по которому будет производиться поиск. Нажав кнопку  настройки параметров поиска, можно с помощью контекстного меню (рис. 14.6) уточнить те объекты, в которых необходимо проводить поиск, при необходимости отключив щелчком левой кнопкой мыши флажки ненужных объектов поиска.

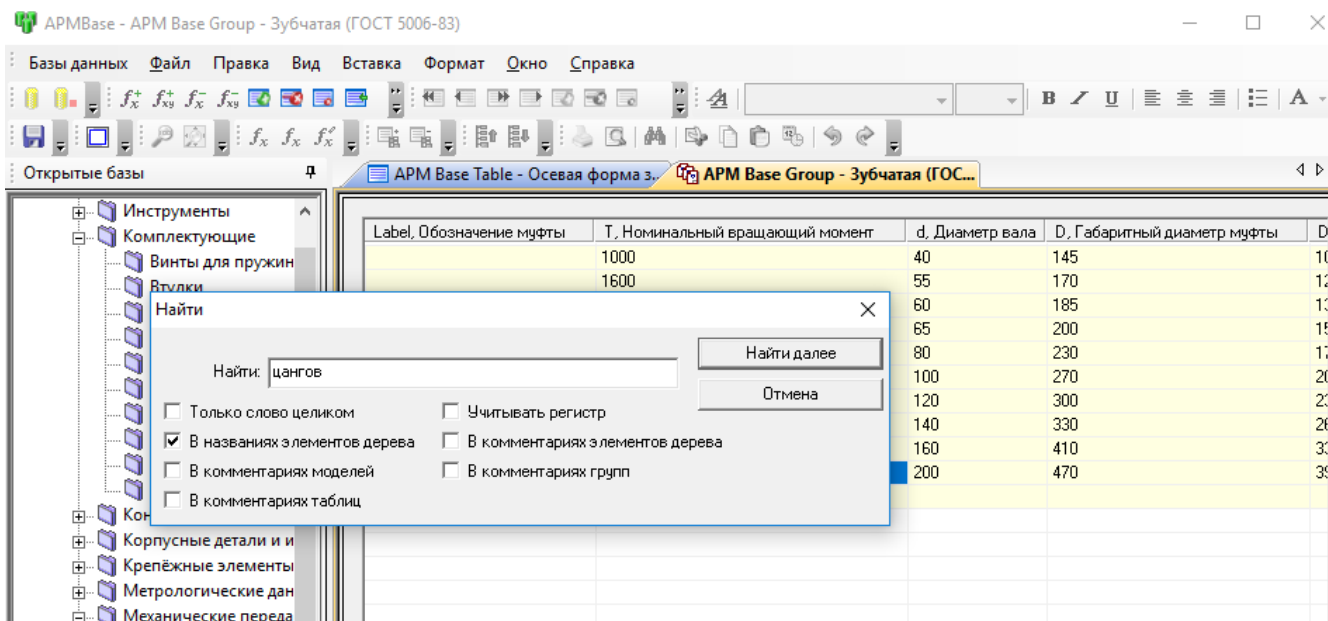


Рис. 14.4

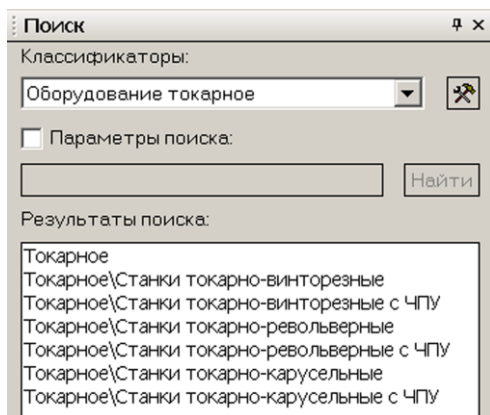


Рис. 14.5

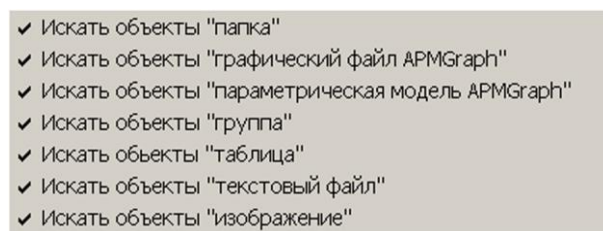



Рис. 14.6

Результат поиска показан в нижней части окна поиска в виде списка объектов БД, соответствующих выбранному классификатору (см. рис. 14.5). Двойной щелчок на названии объекта в списке *Результаты поиска* открывает этот объект в окне.

Если включить флажок в опции *Параметры поиска*, то поиск становится доступен только в следующих объектах: *Параметрическая модель*, *Группа* и *Таблица*. Можно сократить и эту область, оставив включенные флажки только в тех объектах поиска, которые необходимы. Это делается с помощью контекстного меню, вызываемого нажатием кнопки настройки параметров

поиска . Данная функция позволяет находить, например, переменные или их значения, используемые в таблицах.

На рис. 14.7 приведен пример, когда в строке *Параметры поиска* задан диапазон длины станины станков «Dstan>=350; Dstan<500;» (после каждого параметра поиска необходимо поставить точку с запятой), а для выполнения поиска нажать кнопку «**Найти**». Результаты поиска также приведены на рис. 14.7.

При некорректном задании параметров поиска программа выдаст соответствующее предупреждение.

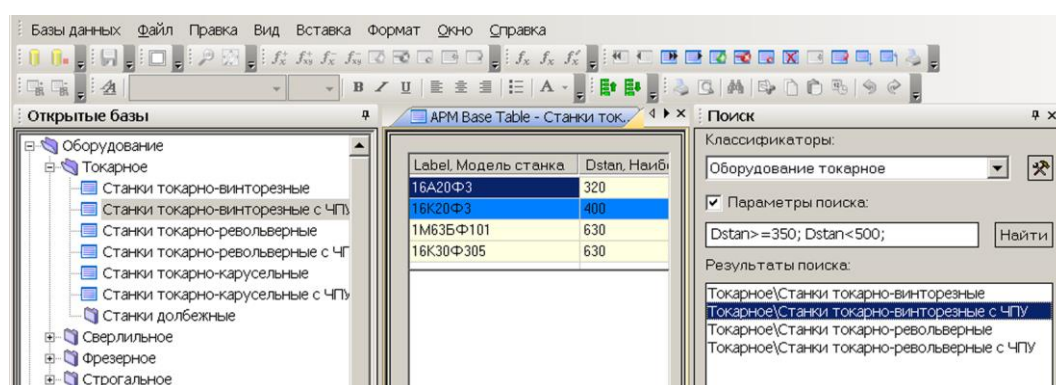


Рис. 14.7

6. Печать объекта таблицы БД.

Открываем необходимую для печати таблицу, затем в меню **Файл** выбираем опцию **Печать** и в открывшемся диалоговом окне «**Параметры печати**» указываем предназначенный для печати принтер, а также настраиваем параметры печати.

Для того чтобы осуществить печать остальных таблиц других объектов БД (группы объектов, параметрической модели), необходимо предварительно скопировать всю таблицу с данными в буфер обмена, затем встроить эту информацию в MS Word или MS Excel и производить печать уже из этих программ.

Для копирования всей таблицы в буфер обмена следует щелкнуть на одном из элементов таблицы с данными, а затем в контекстном меню, вызываемом щелчком правой кнопки мыши, выбрать пункт «**Скопировать всю таблицу в буфер**».

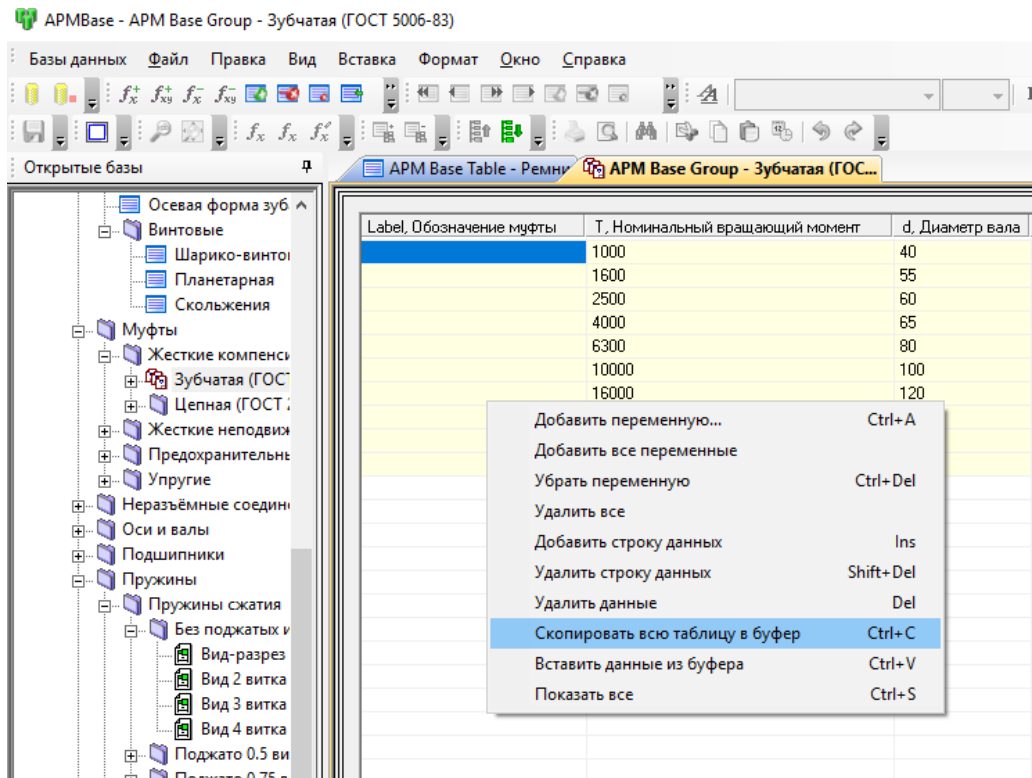


Рис. 14.8

В данном учебно-методическом пособии рассмотрены основные, базовые функции модулей Системы APM WinMachine, освоив которые, пользователи смогут решать большой круг практических задач. Компания НТЦ АПИМ постоянно расширяет возможности этого программного продукта, поэтому данное пособие будет дорабатываться.