


1. ОБЪЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

1.1. Особенности объемного моделирования в системе «Компас-3D»


Объемное моделирование позволяет построить на экране модель изделия, где можно наглядно, быстро и точно передать геометрию и размеры изделия. На базе созданной модели можно построить изображения ортогонального или аксонометрического чертежа изделия. В основе моделирования лежат два элемента – плоская фигура, называемая эскизом, и формообразующая операция.

Особенности построения эскиза и требования, предъявляемые к его построению, подробно рассмотрены в работе [2]. Напомним, что эскиз можно строить только на плоскости, в качестве плоскостей могут быть использованы плоскости проекций, грани созданных элементов модели или плоскости, полученные операциями инструментальной панели «Вспомогательная геометрия» .

Контур эскиза и линия траектории, используемая в кинематической операции, должны быть построены стилем линии «Основная». Не допускается наложение или пересечение линий контуров эскизов.

Линия «Осевая» используется для построения оси вращения в операциях «Вращения».

1.2. Алгоритм построения объемной модели

- 1) Создать документ «Деталь».
- 2) В «Дереве построения» указать плоскость, на которой следует строить эскиз.
- 3) На «Стандартной инструментальной панели» (третья строка сверху экрана) нажать кнопку «Эскиз»  – начало построения эскиза.
- 4) Командами инструментальных панелей «Геометрия», «Редактирование», «Размеры» построить элементы эскиза (формообразующий контур, траекторию, ось вращения и др.).
- 5) Повторно нажать кнопку «Эскиз» – окончание построения эскиза.
- 6) На «Компактной панели» нажать одну из четырех кнопок формообразующих операций: «Выдавливания», «Вращения», «Кинематическая», «По се-

чениям». Следует иметь в виду, что кнопки формообразующих операций могут быть доступными лишь один раз, при создании первого (базового) элемента модели. При построении последующих элементов модели станут доступными кнопки двух других разновидностей:

а) приклеить выдавливанием, вращением, кинематически, по сечениям, т. е. добавить к существующим элементам модели дополнительный объем новой формы;

б) вырезать выдавливанием, вращением, кинематически, по сечениям, т. е. вычесть из объема существующих элементов модели объем новой формы, создав тем самым сквозное отверстие, паз или углубление.

Такие операции называются булевыми операциями.

7) В «Дереве построения» выделить эскизы, участвующие в формообразующей операции, а в «Строке параметров» операции следует задать необходимые параметры (расстояние выдавливания, угол поворота и пр.).

8) После появления фантома модели нажать кнопку «Создать объект».

1.3. Редактирование элементов модели

В объемном моделировании нет кнопки отмены неверно выполненной операции, но есть возможность удаления ошибочного элемента модели (или его эскиза), а также возможность редактирования эскиза или редактирования элемента (т. е. изменения параметров операции, создавшей элемент модели).

Указанные действия можно осуществить, если не выполняется ни одна из формообразующих операций, т. е. на «Панели свойств» (слева от «Строки параметров») нет красной кнопки «Stop» (прервать команду). Для этого в «Дереве построения» производится правый щелчок по ошибочному элементу модели и в «Контекстном меню» (вызывается нажатием правой кнопки мыши) выбирается нужная строка: «Удалить эскиз», «Редактировать эскиз», «Удалить элемент», «Редактировать элемент». Для прерывания действия формообразующей операции нужно нажать указанную кнопку «Stop» или нажать клавишу «Esc» клавиатуры.

1.4. Построение двумерного изображения детали на основе ее объемной модели

На основе трехмерной модели детали можно создавать ее двумерные изображения: плоские чертежи и аксонометрические проекции в разрезах или без них.

Для создания двумерного изображения детали на основе ее объемной модели необходимо сохранить документ «Деталь» под именем и выполнить цепочку команд: из «Основного меню» системы выбрать строку «Операции», затем «Создать новый чертеж из модели». На экране появится формат чертежа, а к курсору привяжется габаритная рамка будущего изображения с координатными осями.

Обратите внимание на «Строку параметров» рассматриваемой операции, здесь указаны наименование вида («Спереди»), «Номер», «Имя», «Масштаб вида» и другие данные (рис.1.1). Если не согласны с предложенным видом, то необходимо нажать кнопку, помеченную стрелкой (см. рис.1.1), и в появившемся меню выбрать соответствующую строку, например, «Сверху».



Рис. 1.1. Строка параметров

Щелчком внутри формата укажите место вставки изображения. Вставленное изображение вида является макроэлементом (единым целым), и для редактирования изображения этого вида необходимо разрушить указанный макроэлемент на отдельные составляющие. Для этого щелчком на окаймляющей пунктирной рамке выделите изображение, щелчком правой кнопки мыши внутри выделенного прямоугольника вызовите «Контекстное меню» (правая кнопка мыши) и выберите в нем строку «Разрушить вид». В появившемся диалоговом окне нажмите кнопку «ОК». Щелчком вне изображения отмените выделение объекта.

Для последующей вставки вида или разреза детали в этот же чертеж необходимо создать в «Буфере обмена» копию изображения текущего чертежа. Для этого выделите все элементы изображения и, поместив курсор на любую линию выделенного объекта, щелчком правой кнопки мыши вызовите «Кон-

текстное меню». В этом меню выберите строку «Копировать» и в качестве базовой точки укажите начало координат. После копирования изображения закройте текущий чертеж без сохранения.




Зайдите в файл трехмерной модели, снова нажмите «Создать новый чертеж из модели» и укажите в «Строке параметров» соответствующий вид или разрез.

В меню «Окно» выберите документ «Чертеж». Включите привязку «Выравнивание» и щелчком правой клавиши вызовите «Контекстное меню», в котором выберите строку «Вставить». При вставке изображения вида или разреза детали необходимо обеспечить, чтобы точка вставки находилась на одном уровне с вертикальной осевой линией вида сверху.

Далее с помощью команд «Инструментальной панели» оформляется чертеж детали в соответствии с требованиями, предъявляемыми к выполнению машиностроительных чертежей.

2. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ

2.1. Построение модели детали операцией выдавливания. Общие требования

Операциями «Выдавливание» , «Приклеить выдавливанием» , «Вырезать выдавливанием»  объемная модель формируется путем перемещения плоского формообразующего контура в направлении, перпендикулярном к плоскости этого контура. Для выполнения этих операций необходимо построить один эскиз, соблюдая при этом следующие требования.

1. Контур эскиза может быть замкнутым или незамкнутым. На основе незамкнутого контура может быть построена лишь модель-оболочка.

2. Контур эскиза может быть составлен из любого набора линий (отрезков прямых, дуг окружностей или эллипсов, кривых Безье и др.), но без разрывов или наложения этих участков.

3. Эскиз может содержать несколько (два или более) контуров. В этом случае все контуры должны быть замкнутыми.

4. Контуры эскиза могут быть вложенными. При этом один охватывающий контур должен охватывать все остальные (охватываемые) контуры. Вложенными контурами в модели формируются отверстия.

5. Все линии контуров эскиза должны быть построены стилем «Основная».

Рассмотрим состав «Строки параметров» операции «Выдавливание» (рис. 2.1).

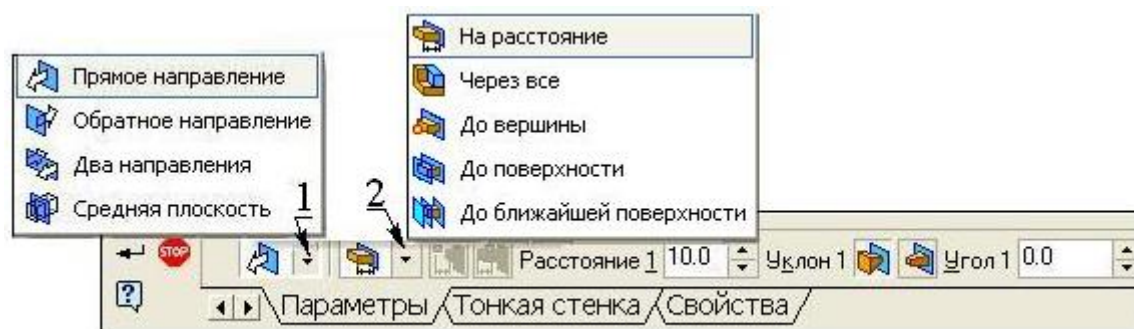


Рис. 2.1. «Строка параметров» операции «Выдавливание»

В «Строке параметров» имеются три вкладки: «Параметры», «Тонкая стенка» и «Свойства». На вкладке «Параметры» обычно используются меню кнопок: «Направление выдавливания» (стрелка 1), «На расстояние» (стрелка 2), а также поле «Расстояние 1», в котором задается численное значение расстояния выдавливания, измеряемое от плоскости эскиза.

В меню кнопки «Направление выдавливания» можно выбирать

«Прямое направление», когда направление выдавливания совпадает с положительным направлением координатной оси, перпендикулярной плоскости эскиза. Обычно это направление задается системой по умолчанию и определяется на экране по стрелке на фантоме создаваемого элемента модели;

«Обратное направление», когда выдавливание осуществляется в сторону, противоположную указанному выше направлению;

«Два направления», когда выдавливание осуществляется в обоих указанных направлениях на разное расстояние от плоскости эскиза. В этом случае в «Строке параметров» имеются два соответствующих поля: «Расстояние 1» (в прямом направлении) и «Расстояние 2» (в обратном);

«Средняя плоскость», когда выдавливание осуществляется в оба направления на одинаковое расстояние (симметрично относительно плоскости эскиза).

В этом случае в поле «Расстояние 1» нужно задавать суммарную величину двух одинаковых расстояний выдавливания.

В меню кнопки «На расстояние» чаще всего используется первая строка, где можно задавать численное значение расстояния выдавливания. Остальные строки этого меню имеют узкое применение. Например, строку «Через все» следует использовать при построении сквозного отверстия в модели, а строку «До ближайшей поверхности» – при построении отверстия до его пересечения с другим отверстием. Направления этих отверстий должны быть непараллельными.

Далее в «Строке параметров» располагаются две кнопки «Уклон», задающие расширение модели по мере удаления от плоскости эскиза (левая кнопка) или сужение модели (правая). Расширение (сужение) задается углом, измеряемым относительно координатной оси, перпендикулярной плоскости эскиза. Например, при выдавливании окружности, задав угол расширения (сужения) 30° , можно построить модель усеченного конуса вращения, образующие которого наклонены под углом 30° к оси вращения этой поверхности. При выдавливании в двух направлениях относительно плоскости эскиза на разные расстояния

можно задавать разные значения и углов расширения (сужения).

На вкладке «Тонкая стенка» (рис. 2.2) используется меню кнопки «Тип построения» тонкой стенки. В этом меню использование первой строки «Нет» приводит к созданию монолитной модели, а

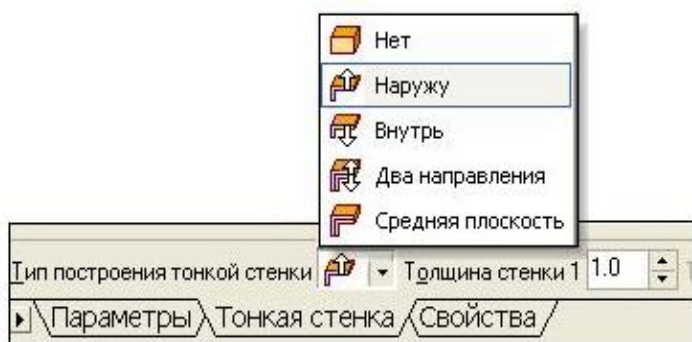


Рис. 2.2. Вкладка «Тонкая стенка»

остальных строк – к построению модели-оболочки. При этом можно выбирать различные варианты направления формирования стенки оболочки по отношению к плоскости эскиза, а также задавать толщину этой стенки.

На вкладке «Свойства» можно задавать цвет и оптические свойства модели.

2.2. Пример построения модели детали «Отвод угловой»

Построить модель детали «Отвод угловой» (рис. 2.3)

В рассматриваемом примере показан вариант «приклеивания» тела вращения к другому телу под заданным углом.

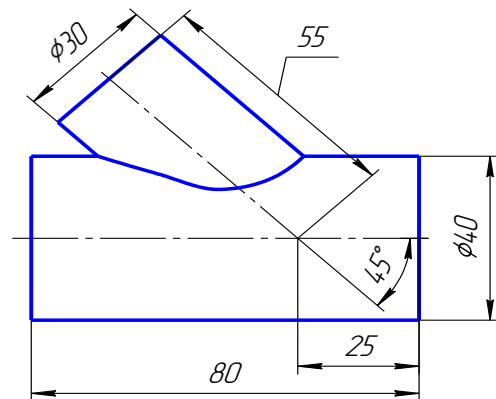





Рис. 2.3. Отвод угловой

2.2.1. Создание базового цилиндра

Создайте «Деталь» и сохраните ее файл под именем «Отвод угловой».

В «Дереве построения» укажите профильную плоскость проекций (плоскость ZY) и постройте эскиз, нажав при этом на кнопку «Эскиз» , в виде окружности радиуса 20 мм, центр которой расположен в начале координат.

Операцией «Выдавливание» создайте цилиндр, выбрав «Прямое направление выдавливания», «Расстояние 1, выдавливания: 80». В окне «Дерево построения» задайте новое наименование построенного элемента – «Основной цилиндр». Нажмите кнопки «Полутоновое»  и «Полутоновое с каркасом» .

Укажите фронтальную плоскость проекций (плоскость XY) и на ней постройте эскиз в виде двух отрезков 0-1 и 1-2 (рис. 2.4). Эти отрезки требуются для создания вспомогательной плоскости, на которой будет располагаться эскиз, предназначенный для построения второго цилиндра.

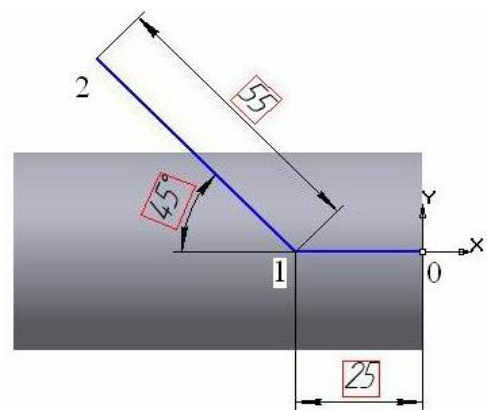


Рис. 2.4. Построение отрезков для создания вспомогательной плоскости

2.2.2. Построение цилиндра под углом

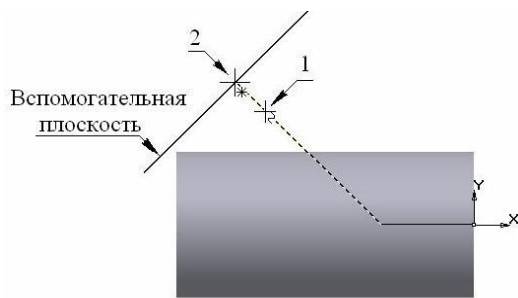




Рис. 2.5. Построение вспомогательной плоскости


Постройте отрезок 0-1 («Длина»: 25; «Угол»: 180) и отрезок 1-2 («Длина»: 55; «Угол»: 135). Закончите «Эскиз».

Создайте вспомогательную плоскость, проходящую через точку 2 (рис. 2.5) перпендикулярно к отрезку 1-2. Нажатием кнопки «Вспомогательная геометрия»  включите одноименную инструменталь-

ную панель. На указанной панели нажмите кнопку «Плоскость через вершину перпендикулярно ребру» .

Укажите отрезок 1-2 вспомогательного эскиза (поз. 1 на рис. 2.5).

Укажите точку 2 вспомогательного эскиза (поз. 2 на рис. 2.5). Вспомогательная плоскость будет создана в виде отрезка голубого цвета.

Клавишей «Esc» клавиатуры прервите действие операции и кнопкой «Повернуть»  разверните модель так, чтобы на вспомогательной плоскости удобно было построить эскиз.

В «Дереве построения» укажите последний созданный элемент – «Перпендикулярная плоскость: 1», нажмите кнопку «Эскиз» и постройте окружность радиуса 15 мм с центром в точке 2 (рис. 2.6).

Закончите «Эскиз».

Нажмите кнопку «Приклеить выдавливанием» инструментальной панели «Редактирование детали». В «Строке параметров» выберите «Обратное направление» выдавливания, нажмите кнопку «На

расстояние» и в появившемся меню выберите строку «До ближайшей поверхности». Нажатием кнопки «Создать объект» закончите построение модели.

Закройте файл модели «Отвод угловой», сохранив внесенные в него изменения.

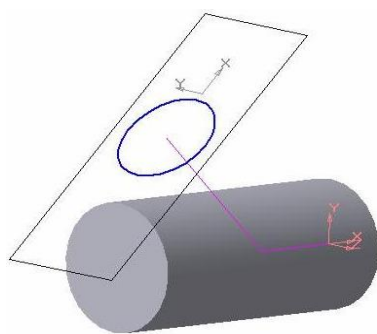





Рис. 2.6. Построение эскиза цилиндра во вспомогательной плоскости


2.3. Построение модели детали операциями вращения.


Общие требования

Операциями «Вращение» , «Приклеить вращением» , «Вырезать вращением»  объемная модель формируется путем вращения плоского формообразующего контура вокруг оси. При построении моделей деталей данными операциями необходимо выполнить следующие условия.

1. В одном эскизе должны быть построены ось вращения и один или несколько формообразующих контуров.
2. Формообразующие контуры должны быть построены стилем линии «Основная», ось вращения – стилем «Осевая».
3. Элементы контуров не должны иметь взаимных наложений или пересечений.
4. Формообразующий контур не должен пересекаться с осью вращения или ее продолжением, но может заканчиваться на оси.

Строка параметров операций «Вращение» имеет три вкладки: «Параметры», «Тонкая стенка», «Свойства». Во вкладке «Параметры» размещены две

кнопки «Способ». При нажатии левой кнопки – «Тороид»  – всегда строится модель в форме тонкостенной оболочки, если в эскизе операции имеется один незамкнутый контур. Если же в эскизе имеется один или несколько замкнутых контуров, то может быть построена как модель-оболочка, так и моно-

литная модель. Правая кнопка – «Сфероид»  – будет доступна лишь при наличии в эскизе незамкнутого контура, и с ее помощью может быть построена оболочка или монолитная модель. Управление построением монолитной модели или модели-оболочки осуществляется на вкладке «Тонкая стенка», состав которой аналогичен такой же вкладке «Строки параметров» операции «Выдавливание».

2.4. Пример построения модели детали «Ось»

Построить модель детали «Ось» (рис. 2.7, 2.8).

Создайте документ «Деталь» и сохраните файл под именем «Ось». Мож-

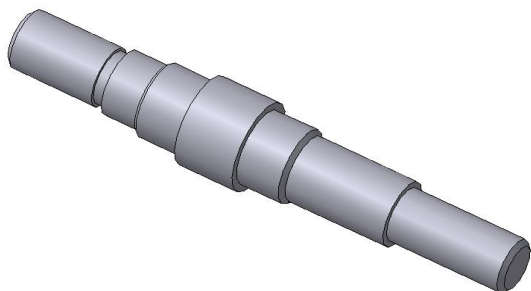


Рис. 2.7. Модель детали «Ось»

но указанную модель построить операциями «Выдавливание» путем создания базового цилиндра и последовательного «приклеивания» всех последующих цилиндров. Однако рациональней воспользоваться алгоритмом, который будет приведен далее.

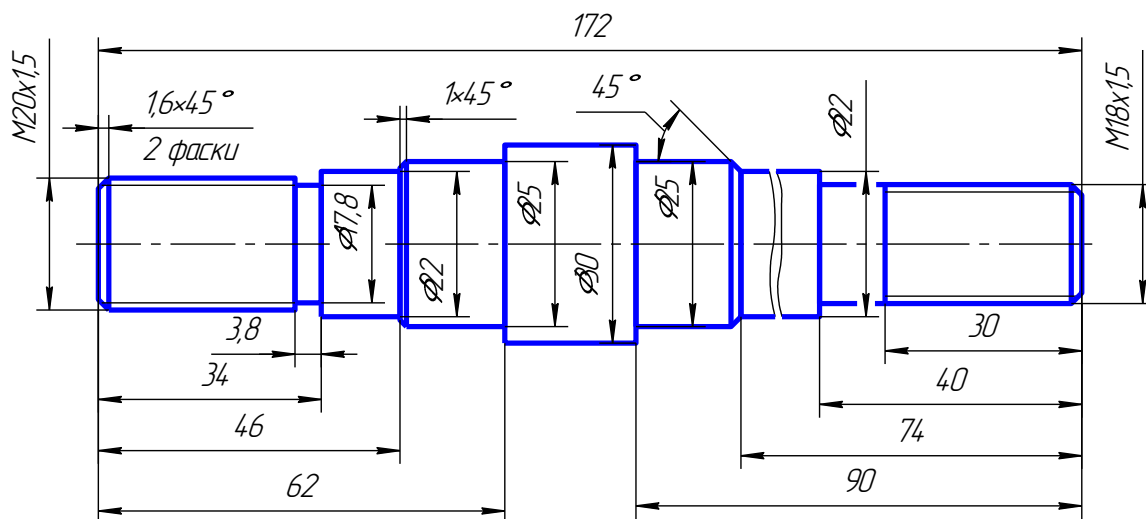



Рис. 2.8. Фрагмент чертежа детали «Ось»

2.4.1. Построение эскиза для модели «Ось»

В «Дереве построения» укажите фронтальную плоскость (плоскость XY) и нажмите кнопку «Эскиз».

Включите инструментальную панель «Геометрия» и командой «Прямоугольник» постройте прямоугольник стилем линии «Тонкая» (параметры: «Высота»: 20 мм, «Ширина»: 30,2 мм), который будет изображать левый цилиндр с резьбой M20 × 1,5 (см. рис. 2.8).

Справа постройте семь других прямоугольников (высота \times ширина): $17,8 \times 3,8$ мм (см. изображение проточки на рис.3.2); 22×12 мм; 25×16 мм; 30×20 мм; 25×16 мм; 22×34 мм; 18×40 мм.



Установите «Глобальную привязку»  «Середина» и включите инструментальную панель «Редактирование».


Выделите прямоугольник $17,8 \times 3,8$ мм и нажмите кнопку «Сдвиг».

Подведите курсор к середине левой стороны выделенного прямоугольника и при появлении сообщения о привязке «Середина» щелчком укажите эту точку. Подведите курсор к середине правой стороны прямоугольника $20 \times 30,2$ мм. При появлении сообщения о привязке «Середина» щелчком укажите эту точку. Прервите действие команды «Сдвиг».

В результате выполненных действий два прямоугольника будут присоединены друг к другу серединами смежных вертикальных сторон.

Последовательно повторите все действия, описанные выше, для присоединения оставшихся шести прямоугольников

Командой «Осевая» по двум точкам  инструментальной панели «Обозначения»  постройте осевую линию изображения детали (рис. 2.9)

Командой «Непрерывный ввод объектов»  инструментальной панели «Геометрия» стилем линии «Основная» произведите обводку контура 1-16 (см. рис. 2.9). Закончите «Эскиз».

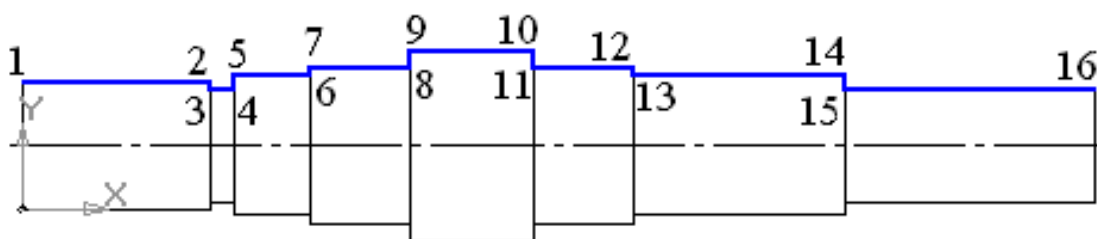



Рис. 2.9. Эскиз операции «Вращение» для модели «Ось»

2.4.2. Создание монолитной модели детали «Ось»


На инструментальной панели «Редактирование детали» нажмите кнопку «Операция вращения», вложенную в меню кнопки «Операция выдавливания».

В «Строке параметров» нажмите кнопку «Сфероид» , а на вкладке «Тонкая

стенка» щелчком в поле «Тип построения тонкой стенки» раскройте меню и выберите строку «Нет» . Такие действия необходимо предпринимать, когда требуется построить монолитную модель, а не оболочку. Для создания модели нажмите кнопку «Создать объект» и кнопками «Полутоновое» и «Полутоновое с каркасом» создайте реалистичное изображение модели.

2.4.3. Условное изображение резьбы на модели детали «Ось»

Выполните условное построение наружной резьбы $M20 \times 1,5$. Для этого выполните цепочку команд из «Главного меню» системы: «Операции» – «Условное изображение резьбы». В «Строке параметров» задайте «Шаг резьбы: 1,5» «Enter». Обратите внимание на переключатели (галочки) в квадратном поле с именами «Автоопределение» и «На всю длину» – они должны быть включены.

Укажите торцевую окружность цилиндра, где нужно построить резьбу. При этом щелчок-указание выполните лишь после принятия курсором формы «палочки2» . Нажмите кнопку «Создать объект».




Самостоятельно выполните условное построение резьбы $M18 \times 1,5$ длиной 30 мм (см. рис. 2.8). В «Строке параметров» уберите переключатель в поле с именем «Автоопределение», а в поле «Диаметр» введите соответствующее число. Уберите переключатель в поле «На всю длину», чтобы ввести значение длины резьбы.

Самостоятельно постройте на модели все фаски (см. рис. 2.8).

Закройте файл модели «Ось», сохранив внесенные в него изменения.

2.5. Построение модели детали кинематической операцией.

Общие требования

Кинематическими операциями «Кинематическая операция» , «Приклеить кинематически» , «Вырезать кинематически»  объемная модель формируется путем перемещения плоского формообразующего контура, называемого «Сечением», вдоль пространственной линии, называемой «Траекторией».

Для выполнения указанных операций необходимо построить два или более эскиза, соблюдая при этом следующие требования.

1. «Траектория» и «Сечение» должны находиться в разных эскизах, плоскости которых не должны быть параллельны между собой.

2. Контур «Сечения» может быть замкнутым или незамкнутым.

3. «Траектория» и «Сечение» могут быть составлены из любого набора линий без разрывов или наложений.

4. Плоскость «Сечения» должна пересекаться с «Траекторией» в ее начальной или конечной точке.

5. Участки «Траектории» могут находиться в разных эскизах и в разных плоскостях. В этом случае контур «Траектории» должен быть разомкнутым.

6. Все линии «Эскизов» должны быть построены стилем «Основная».

В «Строке параметров» кинематических операций на вкладке «Параметры» нет полей для задания численных значений параметров, но имеются две кнопки для указания сечения (стрелка 1) и траектории (стрелка 3) (рис. 2.10). Для указания конкретного элемента (например, сечения) необходимо нажать кнопку этого элемента, а затем на изображении модели или в «Дереве построения» указать эскиз сечения. Затем выбирают эскизы, относящиеся к траектории. Результаты выбора отображаются в соответствующих прямоугольных полях, расположенных справа от этих кнопок (стрелки 2 и 4 на рис. 2.10).



Рис. 2.10. Строка параметров кинематической операции

На вкладке «Параметры» располагаются еще три кнопки «Движение сечения», управляющие расположением плоскости сечения относительно линии траектории при формировании модели. Нажатие левой кнопки «Сохранять угол наклона» обеспечивает постоянство заданного исходного угла наклона траектории к плоскости сечения. При нажатии средней кнопки «Параллельно самому себе» сечение перемещается вдоль траектории, оставаясь в любом промежуточном положении параллельным своему исходному положению. Нажатие пра-

вой кнопки «Ортогонально траектории» обеспечивает перемещение сечения, когда его плоскость перпендикулярна к линии траектории в любой ее точке.

В качестве примеров применения кинематических операций рассмотрим построение моделей пружины сжатия и метрической наружной и внутренней резьбы.

2.6. Пример построения модели детали «Пружина»


Построить модель цилиндрической пружины сжатия (рис. 2.11).




Рис. 2.11. Модель детали «Пружина»

Создайте «Деталь» и сохраните ее файл под именем «Пружина».

В «Дереве построения» укажите горизонтальную плоскость (плоскость ZX).

Не изменяя ориентации плоскости, включите инструментальную панель «Пространственные кривые» и нажмите кнопку «Спираль цилиндрическая» .


В «Строке параметров» укажите «Число витков»: 7,5, нажмите клавишу «Enter», «Шаг»: 10 «Enter», а на вкладке «Диаметр»: 32,5 «Enter».

Нажмите кнопку «По размеру» . Нажатие этой кнопки означает, что построение модели пружины будет осуществляться по диаметру контрольной гильзы, т. е. по наружному диаметру пружины. Для окончания создания траектории отожмите кнопку «Создать объект».

2.6.1. Создание опорных витков пружины

Для имитации опорных витков пружины необходимо к спирали добавить с каждой стороны дуги $\frac{3}{4}$ окружности, плоскости которых перпендикулярны оси пружины, а начала дуг должны совпадать с конечными точками спирали.

Создадим вспомогательные плоскости, в которых будут располагаться дуги окружности.

Включите инструментальную панель «Вспомогательная геометрия» и нажмите там кнопку «Плоскость через вершину, параллельно другой плоскости». В «Дереве построения» укажите «плоскость ZX», а на спирали – точку 1 начала этой линии (рис. 2.12). Щелчок-указание производится лишь тогда, когда курсор примет форму «звездочки» . Созданная вспомогательная плоскость на экране будет показана голубым цветом.

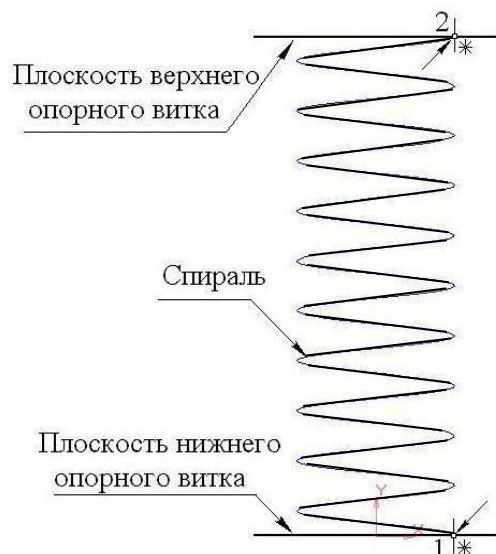


Рис. 2.12. Создание вспомогательных плоскостей для опорных витков

В «Дереве построения» задайте новое название созданной плоскости – «Плоскость нижнего опорного витка».

Подобным образом постройте вторую вспомогательную плоскость, проходящую через точку 2 (см. рис. 2.12).

В «Дереве построения» созданную плоскость назовите «Плоскостью верхнего опорного витка».

В первой вспомогательной плоскости постройте эскиз дуги $\frac{3}{4}$ окружности (рис. 2.13). Для этого

в «Дереве построения» укажите элемент «Плоскость нижнего опорного витка» и нажмите кнопку «Эскиз»;

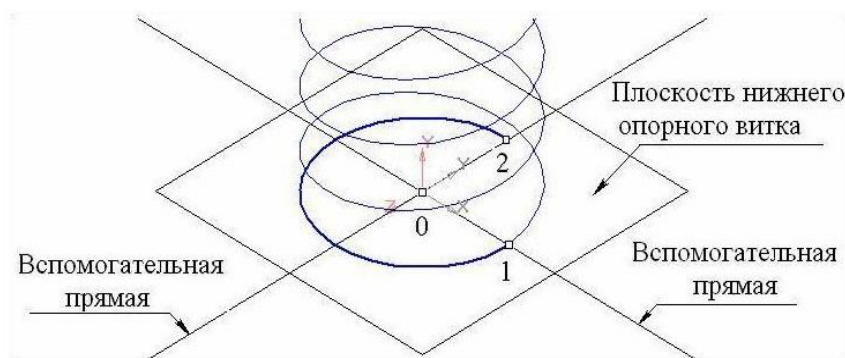


Рис. 2.13. Построение эскиза дуги окружности в нижней плоскости опорного витка

выберите ориентацию – «Изометрия XYZ». Постройте окружность с центром в начале координат (точка 0) и проходящую через начальную точку спирали (точка 1);

удалите дугу, обозначенную точками 1-2 ($\frac{1}{4}$ часть окружности), и закончите «Эскиз».

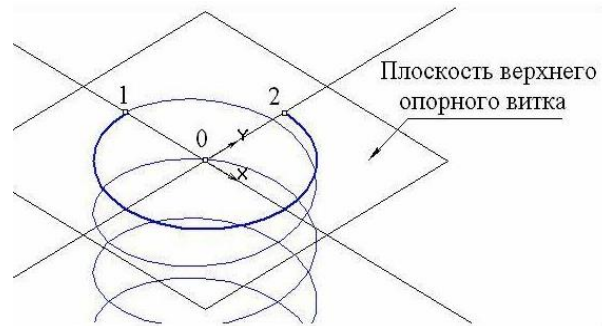


Рис. 2.14. Построение эскиза дуги окружности в нижней плоскости опорного витка

Повторите пункты, рассмотренные выше для построения дуги $\frac{3}{4}$ окружности, начинающейся в конечной точке спирали (см. точку 1 на рис. 2.14). При этом в качестве плоскости эскиза укажите «Плоскость верхнего опорного витка».

2.6.2. Построение контура сечения витка «Пружины»

Теперь необходимо построить эскиз контура сечения витка пружины – окружность диаметром (\varnothing) 2,5 мм (рис. 2.15).

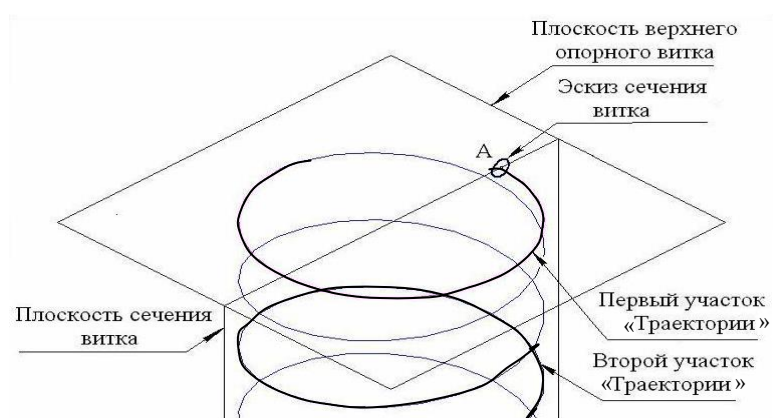



Рис. 2.15. Эскиз контура сечения витка

Плоскость эскиза сечения витка должна проходить через начальную либо конечную точку траектории. В данном случае мы выберем точку А, расположенную в плоскости верхнего опорного витка, т. е. начальную точку траектории.

Для построения контура

включите инструментальную панель «Вспомогательная геометрия» и нажмите кнопку «Плоскость через вершину, параллельно другой плоскости» ;

в «Дереве построения» укажите «плоскость ZY», а на траектории укажите точку А конца этой линии (см. рис. 2.15). Щелчок-указание производите лишь тогда, когда курсор примет форму «звездочки». Прервите действие текущей операции клавишей «Esc»;

в «Дереве построения» назовите созданную плоскость «Плоскостью сечения витка». Прервите действие текущей команды и в «Дереве построения» укажите элемент «Плоскость сечения витка»;

нажмите кнопку «Эскиз», начертите окружность радиусом 1,25 мм с центром в точке А и зайдите в объемное моделирование, вновь нажав на кнопку «Эскиз».

2.6.3. Создание объема детали «Пружина»


Для создания объема детали «Пружина» необходимо выбрать кнопку «Кинематическая операция» на инструментальной панели «Редактирование детали». В появившейся «Строке параметров» указан последний созданный эскиз, который является формообразующим контуром, однако не определяется траектория, которая состоит из трех участков. Траекторию можно указать как в «Дереве построения», так и на самой модели.

Укажите на модели первый участок – верхнюю дугу $\frac{3}{4}$ окружности (см. рис. 2.15), далее второй участок – спираль, а затем третий участок – нижнюю дугу $\frac{3}{4}$ окружности – и нажмите кнопку «Создать объект».

Для того чтобы создать реалистичное изображение модели пружины, нажмите кнопки «Полутоновое» и «Полутоновое с каркасом».

Для снятия выделения вспомогательных плоскостей и спирали необходимо выполнить цепочки команд:

«Вид» – «Скрыть начала координат»;
«Вид» – «Скрыть конструктивные плоскости»;
«Вид» – «Скрыть эскизы»;
«Вид» – «Скрыть пространственные кривые».




Для того чтобы создать на опорных витках плоские участки, в «Дереве построения» укажите элемент «Плоскость нижнего опорного витка» и нажмите кнопку «Сечение поверхностью» . В «Строке параметров» задайте нужное направление отсечения так, чтобы стрелка-фантом была направлена вниз и нажмите кнопку «Создать объект».

Повторите пункт, описанный выше, выбрав элемент «Плоскость верхнего опорного витка» и направление отсечения – вверх.

Закройте файл «Пружина», сохранив внесенные в него изменения.

2.7. Построение модели детали операцией по сечениям.

Общие требования

«Операцией по сечениям» , «Приклеить по сечениям» , «Вырезать по сечениям»  модель формируется путем плавного перехода формообразующего контура между несколькими эскизами сечений. При этом должны соблюдаться следующие требования.

1. В операциях участвуют не менее двух эскизов сечений, располагающихся в параллельных или пересекающихся плоскостях.
2. Следует избегать резкого изменения размеров соседних эскизов сечений.
3. Контур эскиза сечения не должен пересекаться с плоскостями смежных эскизов.
4. Если в качестве эскизов сечений используются многоугольники, то рекомендуется сохранять число вершин этих многоугольников во всех эскизах.
5. На результат построения модели влияет последовательность выделения эскизов сечений, если их более двух. Эскизы указывают либо на самой модели, либо в «Дереве построения».

2.8. Пример построения модели детали «Воронка»

Построить модель детали «Воронка» (рис. 2.16).

Создайте «Деталь» и сохраните файл под именем «Воронка».

В «Дереве построения» укажите «Плоскость XY», нажмите кнопку «Эскиз», включите инструментальную панель «Геометрия» и начертите стилем линии «Основная» три отрезка (рис. 2.17):

- отрезок 0-1 («Длина»: 50; «Угол»: 270).

Здесь точка 0 – начало координат;

- отрезок 1-2 («Длина»: 25; «Угол»: 270);

- отрезок 2-3 («Длина»: 140; «Угол»: 315).



Закончите построение, нажав на кнопку «Эскиз».




Рис. 2.16. Модель детали «Воронка»

Эти отрезки будут использованы для создания вспомогательных плоскостей, в которых следует начертить эскизы сечений воронки.

Для того чтобы построить эскизы сечений, необходимо, выполнить следующее:

включить инструментальную панель «Вспомогательная геометрия»  и нажать на кнопку «Плоскость через вершину, перпендикулярно ребру» . Эта кнопка располагается во вложенном меню кнопки «Смещенная плоскость»;

указать отрезок 0-1 (щелчок-указание производите лишь после появления рядом с курсором изображения «волнистая линия» );

указать точку 0 (щелчок-указание производите лишь после появления рядом с курсором изоб-

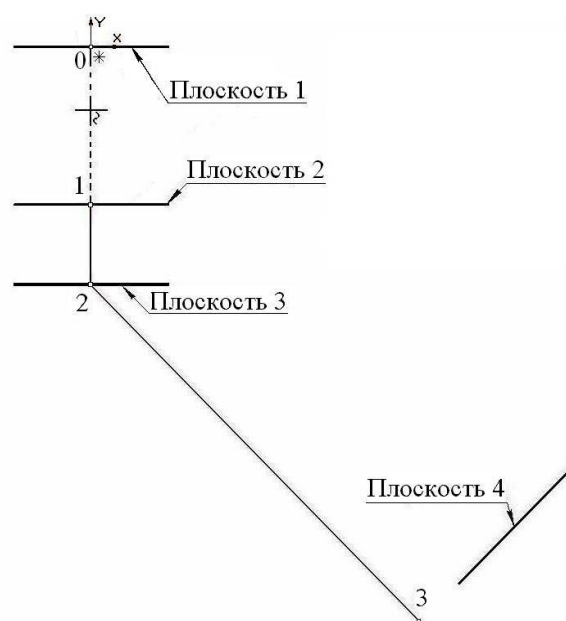



Рис. 2.17. Построение вспомогательных плоскостей

ражения «звездочки» ). Будет создана вспомогательная «Плоскость 1» (см. рис. 2.17) в виде отрезка голубого цвета.

По аналогии постройте вспомогательные «Плоскости 2, 3 и 4» и прервите действие операции клавишей «Esc».

Выберите «Ориентацию» «Изометрия XYZ». В «Дереве построения» укажите строку «Перпендикулярная плоскость: 1» и нажмите кнопку «Эскиз».

Начертите эскиз сечения – окружность («Радиус: 100»; «Центр – в точке 0»). Закончите построение «Эскиза».


По аналогии на «Плоскости 2» постройте окружность («Радиус: 50»; «Центр – в точке 1»).



На «Плоскости 3» постройте окружность («Радиус: 40»; «Центр – в точке 2»).

На «Плоскости 4» постройте окружность («Радиус: 15»; «Центр – в точке 3»).

После последнего построения окружность радиусом 15 мм осталась выделенной. Щелчком по свободному месту экрана отмените это выделение.

Включите инструментальную панель «Редактирование детали» и нажмите на ней кнопку «Операция по сечениям», находящуюся в меню кнопки «Операция выдавливание».

В «Дереве построения» последовательно укажите строки: «Эскиз 2» – «Эскиз 3» – «Эскиз 4» – «Эскиз 5». Можно указывать и в обратной последовательности. В «Строке параметров» операции, во вкладке «Тонкая стенка» укажите поле «Тип построения тонкой стенки» и в появившемся меню выберите строку «Внутрь» . Задайте толщину стенки 2 мм. Нажмите кнопку «Создать объект».

Для получения реалистичного изображения модели отожмите кнопки «Полутоновое»  и «Полутоновое с каркасом»  (третья строка сверху экрана).

Закройте файл «Воронка», сохранив внесенные в него изменения.

3. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА С ПОМОЩЬЮ БИБЛИОТЕКИ «КОМПАС-SHAFT 2D»

Использование библиотеки «Компас-SHAFT 2D» позволяет автоматически рассчитать все параметры зубчатого колеса, зная модуль и число зубьев колеса, построить его объемную модель и выполнить рабочий чертеж, а также заполнить таблицу параметров, расположенную в правом верхнем углу чертежа. Правила выполнения рабочего чертежа прямозубого цилиндрического колеса устанавливает ГОСТ 2.403-75.


Рассмотрим использование библиотеки «Компас-SHAFT 2D» на примере построения прямозубого цилиндрического зубчатого колеса.

3.1. Пример построения модели и чертежа прямозубого цилиндрического зубчатого колеса

Построить модель и чертеж прямозубого цилиндрического зубчатого колеса, показанного на рис. 3.1 и 3.2 и имеющего следующие параметры: число зубьев колеса ($z_2 = 30$), модуль зацепления ($m = 3$, мм), материал – сталь 45ХГТ ГОСТ4543-71.

Для расчета сопрягаемого зубчатого колеса (шестерни) необходимы следующие параметры: число зубьев ($z_1 = 20$), ширина зубчатого венца ($b_1 = 22$ мм).

Через меню «Сервис», затем через вкладку «Параметры» и «Параметры первого листа» создайте чертеж формата А3 горизонтального расположения и сохраните файл под именем «Колесо».

Нажмите кнопку «Менеджер библиотек»  и укажите каталог библиотеки «Расчет и построение». Двойным щелчком левой кнопкой мыши нажмите по строке «Компас-SHAFT 2D» и войдите в указанную библиотеку.

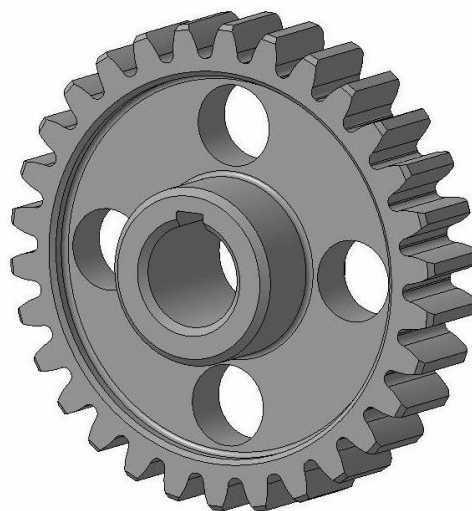



Рис. 3.1. Модель детали
«Зубчатое колесо»

Двойным щелчком мыши по строке «Построение модели» откройте окно, в котором нажмите кнопку «Новая модель» .

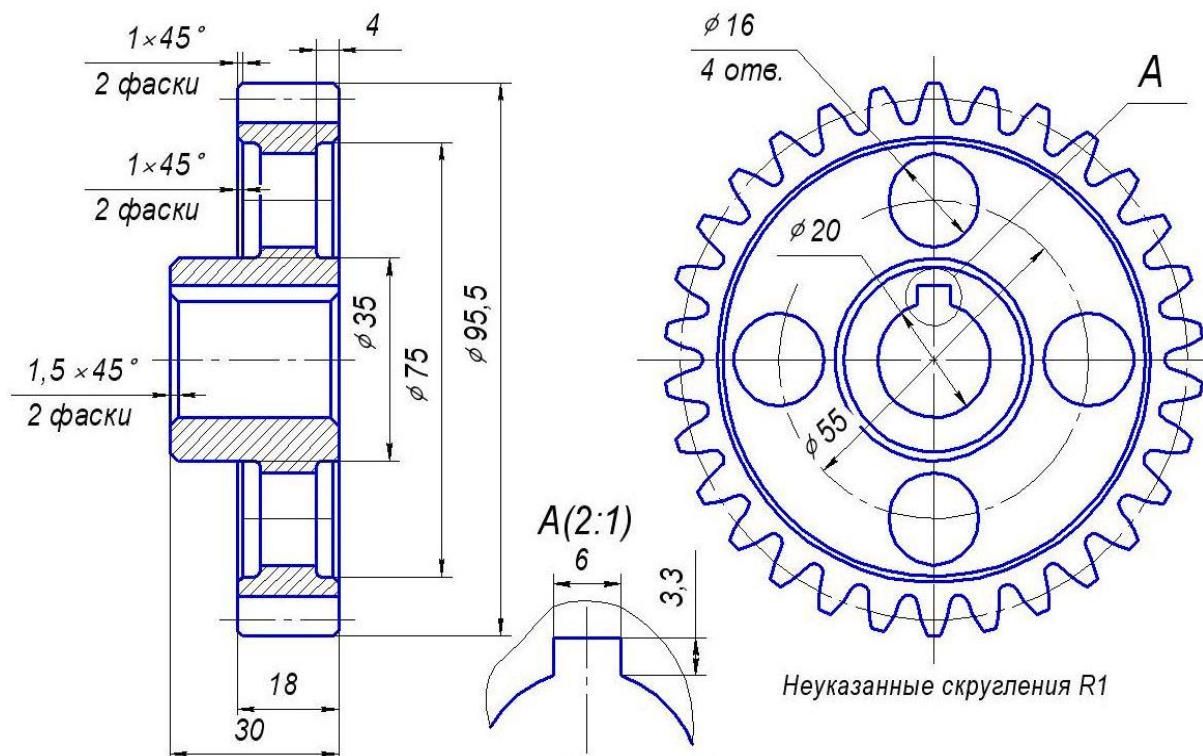


Рис. 3.2. Фрагмент чертежа зубчатого

В появившемся окне «Выбор типа отрисовки модели» установите переключатель в поле «В полуразрезе» и нажатием кнопки «ОК» закройте его.

При построении плоской модели можно применить тип ее отрисовки «В разрезе».



Создайте первый элемент внешней формы зубчатого колеса – цилиндр длиной 12 мм и диаметром 35 мм, для чего, нажав кнопку «Простые ступени»  и выбрав в появившемся меню строку «Цилиндрическая ступень», откройте одноименное окно, в котором задайте параметры в соответствии с рис. 3.3.





Рис. 3.3. Вид окна «Цилиндрическая ступень»


Создайте второй элемент внешней формы рассматриваемой детали – цилиндрическое колесо с прямыми зубьями. Для этого, нажав кнопку «Элементы механических передач» , выберите строку «Шестерня цилиндрической зубчатой передачи», в появившемся одноименном окне задайте размеры фасок: $1 \times 45^\circ$ обоих торцов колеса и нажмите кнопку «Запуск расчета».


В окне «Расчеты цилиндрической зубчатой передачи внешнего зацепления» нажмите кнопку «Исходные данные» и далее – «Новый расчет» – «По межосевому расстоянию».



В появившемся окне «Геометрический расчет» введите данные в следующие строки:


1. Число зубьев ведущего колеса – 20, ведомого – 30.
2. Модуль – 3 мм.
8. Ширина зубчатого венца ведущего колеса – 22 мм, ведомого – 18 мм.
9. Для автоматического определения межосевого расстояния укажите кнопку с изображением калькулятора.
10. Рекомендуемое значение диаметра ролика выбирается двойным щелчком из списка, появляющегося после нажатия кнопки с изображением калькулятора.
13. Направление спирали ведущего колеса – прямое.

После заполнения данных на странице 1 перейдите на страницу 2, указав соответствующую вкладку, расположенную в верхней части окна, и нажмите на ней сначала кнопку «Расчет» , а затем – «Просмотр результатов расчета» .

В открывшемся одноименном окне можно ознакомиться с результатами расчетов или распечатать их, а затем закрыть указанное окно. Можно сохранить данные и результаты расчетов в файле, нажав на странице 2 одноименную кнопку .

Для сохранения только исходных данных нажмите кнопку «Возврат в главное меню» , далее – кнопку «Исходные данные» и укажите строку «Запись». Задав имя файла «Колесо», сохраните данные.

Возвратившись в главное меню, нажмите кнопку «Геометрический расчет», на странице 2 нажмите сначала кнопку «Расчет» , затем – «Закончить расчеты» . В появившемся окне установите переключатель (точка) в поле «Колесо $Z = 30$ » и нажмите кнопку «ОК», что приведет к автоматическому за-

полнению данных в окне «Цилиндрическая шестерня с внешними зубьями». Нажатием кнопки «ОК»  закончите формирование зубчатого колеса.

3.1.1. Создание внутренних поверхностей модели зубчатого колеса


Создайте первый элемент внутренней формы рассматриваемой детали – сквозное осевое цилиндрическое отверстие диаметром 20 мм, в обоих торцах которого имеются фаски с размерами $1,5 \times 45^\circ$. Для этого

на инструментальной панели дерева построений «Внутренний контур» нажмите кнопку «Простые ступени» ;

укажите строку «Цилиндрическая ступень» и задайте параметры элемента, перечисленные выше, а в поле «Длина» введите значение: 30;

затем нажмите кнопку «ОК» .

В созданном отверстии постройте шпоночный паз, для чего,

нажав кнопку «Дополнительные элементы ступеней» , в появившемся меню выберите строку «Шпоночные пазы»;

затем нажмите на вкладку «Под призматическую шпонку ГОСТ 23360-78»;

в открывшемся окне «Шпоночный паз», убедившись в том, что выбраны нужные параметры шпонки ($6 \times 6 \times 14$ мм), нажмите кнопку «ОК».

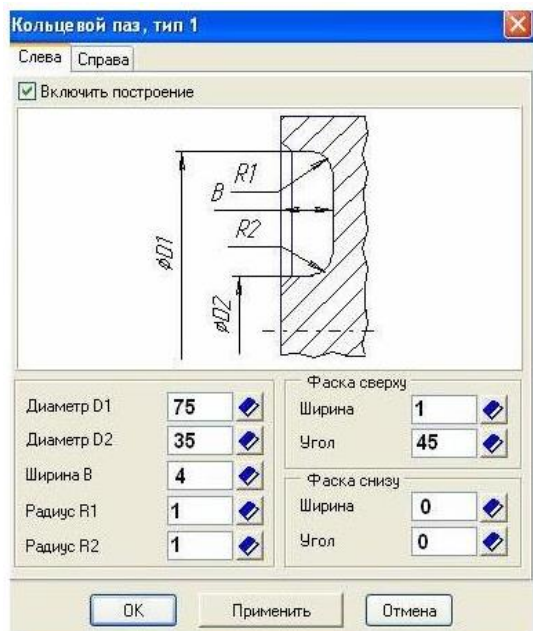




Рис. 3.4. Вид окна для построения кольцевого паза

На зубчатом колесе с обеих сторон создайте кольцевые углубления, отделяющие ступицу колеса от его обода, используя следующие значения, мм: наружного диаметра ступицы – 35, внутреннего диаметра обода – 75 и толщины диска – 10.

Для этого укажите в «Дереве построений» наружного контура элемент «Шестерня $Z = 30$ », выделите его. Затем нажмите кнопку «Дополнительные элементы ступеней»  и последовательно укажите строки «Кольцевые пазы» – «Тип 1». В открывшемся окне (рис. 3.4)

задайте необходимые параметры сначала на вкладке «Слева», а затем аналогичные данные – на вкладке «Справа». Закройте окно, нажав на кнопку «ОК».


На диске зубчатого колеса создайте четыре отверстия диаметром 18 мм, центры которых располагаются на окружности диаметром 55 мм. Для этого выделите в «Дереве построений» «Внешний контур» элемент «Шестерня $Z = 30$ »;


нажмите кнопку «Дополнительные элементы ступеней»  и в появившемся меню выберите строку «Кольцевые отверстия»;

в открывшемся окне задайте перечисленные выше параметры и нажмите на кнопку «ОК».


Создав все элементы 2D-модели зубчатого колеса, постройте его 3D-модель.


3.1.2. Построение 3D-модели зубчатого колеса

Для того чтобы построить 3D-модель зубчатого колеса, необходимо выполнить следующие действия: нажмите кнопку «Дополнительные построения»  и в появившемся меню выберите строку «Генерация твердотельной модели».

На основе 2D-модели постройте изображение вида слева, для чего нажмите кнопку «Дополнительные построения»  и в появившемся меню выберите соответствующую строку.

На основе 2D-модели постройте таблицу параметров зубчатого колеса. Для этого

выделите в «Дереве построений» «Внешний контур» элемент «Шестерня $Z = 30$ », нажмите кнопку «Дополнительные элементы ступеней»  и в меню выберите строку «Таблица параметров». Вставьте эту таблицу в чертеж, отступив вниз на 15 мм от правого верхнего угла рамки чертежа.


Создайте выносной элемент шпоночного паза с его размерами. Для этого выделите в «Дереве построения» «Внутренний контур» элемент «Шпоночный паз», нажмите кнопку «Дополнительные элементы ступеней» ;

в меню выберите строку «Профиль шпоночного паза»;

в открывшемся одноименном окне задайте масштаб выносного элемента (2:1) и уберите переключатель (✓) в поле «Штриховка»;

нажмите кнопку «ОК».

Далее отредактируйте рассматриваемое изображение в соответствии с рис. 3.2.

Закройте окно «Компас-SHAFT 2D», сохранив модель, и нажмите на панели «Стандартная» кнопку «Сохранить» , сохраняя, таким образом, изменения, произошедшие в текущем файле.

Командами «Файл», «Сохранить как...» создайте копию текущего файла под именем «Колесо». При этом файл с именем «Колесо» будет закрыт, и в нем сохранится 2D-модель рассматриваемой детали. Эта модель может пригодиться для последующего ее редактирования.

3.1.3. Построение чертежа зубчатого колеса на основе его 3D-модели

В текущем файле «Колесо» разрушьте 2D-модель, для чего двойным щелчком по главному изображению откройте окно «Компас-SHAFT 2D», а затем закройте его без сохранения модели, т. е. дайте отрицательный ответ на появившийся запрос.

Разместите все изображения чертежа в одном виде. Для этого выделите вид слева и поместите курсор на одну из его линий, щелчком правой кнопки мыши вызовите контекстное меню, в котором выберите строку «Вырезать»;

в качестве базовой точки укажите одну из точек главного изображения; правой кнопкой мыши вызовите контекстное меню, в нем выберите строку «Вставить»;

укажите базовую точку, выбранную ранее.

Таковыми действиями оба изображения чертежа разместятся в одном виде.

Разрушьте макроэлементы видов и приведите изображения чертежа в соответствие с рис. 3.2.



Нанесите обозначения выносного элемента и необходимые размеры.

Заполните основную надпись чертежа.

Закройте файл чертежа, сохранив изменения в нем.

3.2. Редактирование модели зубчатого колеса

Поскольку при выполнении данной работы возможны как ошибки и неточности со стороны студентов, так и элементарная нехватка времени, то для успешного выполнения задания необходимо научиться редактировать имеющуюся модель, т. е. повторно открывать диалоговое окно «Компас-SHAFT 2D».

Для этого нажмите кнопку «Менеджер библиотек»  и укажите каталог библиотеки «Расчет и построение». Двойным щелчком левой кнопкой мыши нажмите по строке «Компас-SHAFT 2D» и войдите в указанную библиотеку: двойным щелчком мыши по строке «Построение модели» откройте окно, в котором нажмите кнопку «Открыть» , после чего щелкните по построенной модели.

Рассмотрим случай, когда требуется изменить тип отображения рассчитанной модели, например, изменить тип отображения на полный разрез. Для этого необходимо

щелкнуть правой кнопкой мыши по элементу «Модель» в диалоговом окне «Компас-SHAFT 2D» (рис. 3.5);

из предложенных вариантов действий выбрать «Отредактировать»;

в появившемся диалоговом окне выбрать вариант «В разрезе» (рис. 3.6).

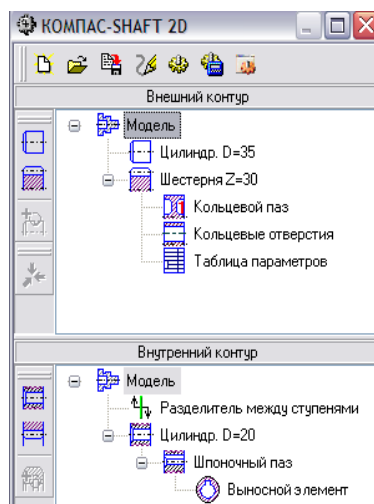


Рис. 3.5. Вид окна «Компас-SHAFT 2D»

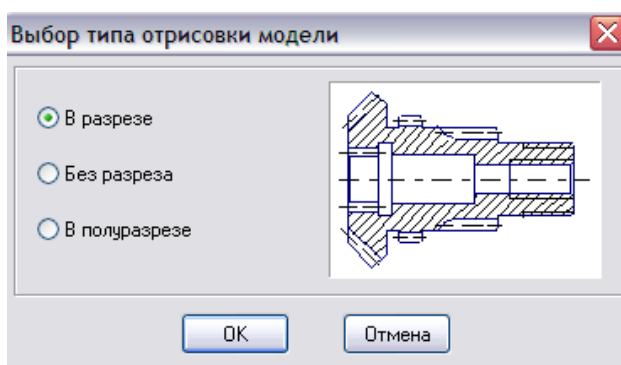


Рис. 3.6. Вид окна
«Выбор типа отрисовки модели»

Аналогичным образом вносятся и другие изменения в рассчитываемую модель. Если после внесения изменений модель автоматически не перестроилась, необходимо нажать клавишу F5.

4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задание 1: Построить объемную модель детали «Кронштейн» (рис. 4.1) по своему варианту (табл. 4.1).

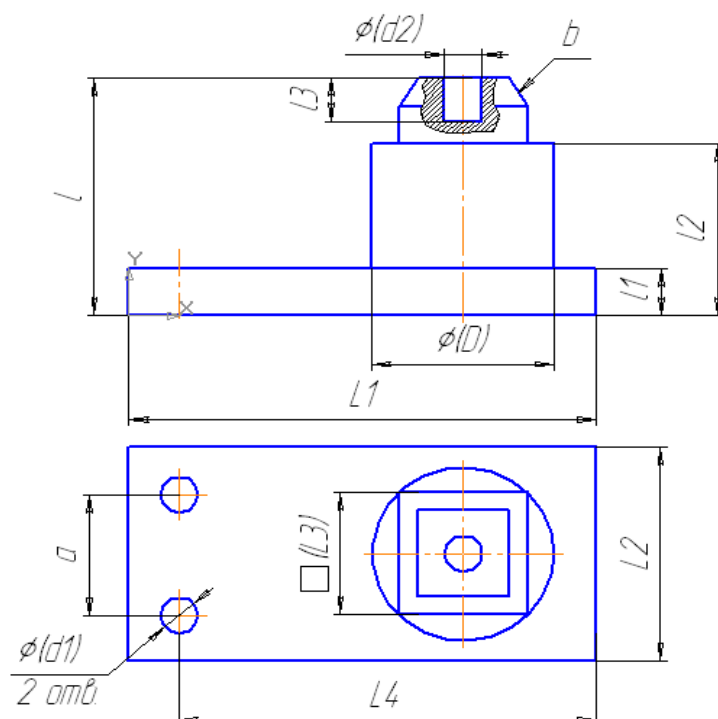


Рис. 4.1. Чертеж детали «Кронштейн»

Т а б л и ц а 4.1

Варианты и значения для построения модели детали «Кронштейн»

| Номер варианта | $L1$ | $L2$ | $L3$ | $L4$ | l | $l1$ | $l2$ | $l3$ | D | a | $d1$ | $d2$ | b (угол) уклон внутри |
|-------------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|----------------------------------|
| 1, 11 | 130 | 65 | 40 | 125 | 70 | 15 | 50 | 14 | 53 | 30 | 10 | 11 | 8° |
| 2, 12 | 123 | 60 | 35 | 110 | 66 | 13 | 48 | 12 | 48 | 33 | 8 | 10 | 10° |
| 3, 13 | 135 | 72 | 41 | 120 | 73 | 16 | 55 | 15 | 50 | 41 | 9 | 14 | 5° |
| 4, 14 | 120 | 58 | 43 | 107 | 59 | 15 | 44 | 17 | 52 | 39 | 8 | 13 | 6° |
| 5, 15 | 125 | 63 | 42 | 110 | 68 | 17 | 51 | 20 | 51 | 35 | 11 | 11 | 4° |
| 6, 16 | 132 | 70 | 38 | 119 | 70 | 14 | 52 | 18 | 49 | 42 | 10 | 13 | 2° |
| 7, 17 | 126 | 65 | 36 | 113 | 69 | 12 | 51 | 25 | 47 | 31 | 10 | 12 | 7° |
| 8, 18 | 137 | 75 | 42 | 124 | 75 | 16 | 58 | 23 | 53 | 43 | 12 | 13 | 5° |
| 9, 19 | 128 | 69 | 41 | 115 | 72 | 13 | 55 | 15 | 52 | 33 | 8 | 12 | 8° |
| 10,20 | 132 | 71 | 37 | 119 | 71 | 15 | 53 | 10 | 48 | 42 | 9 | 10 | 9° |

Задание 2: Построить объемную модель детали «Валик» (рис. 4.2) по варианту, приведенному в табл. 4.2.

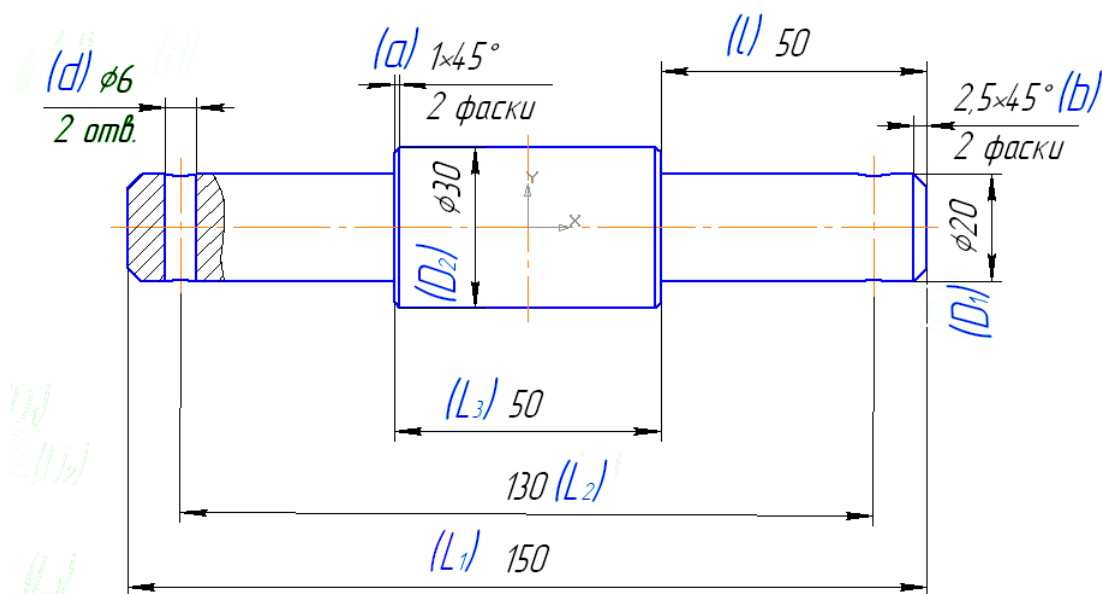


Рис. 4.2. Чертеж детали «Валик»

Т а б л и ц а 4.2

Варианты и значения для построения модели детали «Валик»

| Номер варианта | d | a | l | b | D_1 | D_2 | L_1 | L_2 | L_3 |
|-------------------|-----|-----------------------|-----|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1, 11 | 5 | $1,5 \times 45^\circ$ | 65 | $2,5 \times 45^\circ$ | 30 | 40 | 165 | 145 | 65 |
| 2, 12 | 6 | $1 \times 45^\circ$ | 60 | $2,5 \times 45^\circ$ | 30 | 45 | 160 | 140 | 60 |
| 3, 13 | 7 | $2,0 \times 45^\circ$ | 50 | $1,5 \times 45^\circ$ | 25 | 35 | 150 | 130 | 50 |
| 4, 14 | 4 | $2,5 \times 45^\circ$ | 55 | $1,5 \times 45^\circ$ | 20 | 35 | 155 | 135 | 55 |
| 5, 15 | 5 | $1,5 \times 45^\circ$ | 70 | $2,0 \times 45^\circ$ | 35 | 50 | 170 | 150 | 70 |
| 6, 16 | 5 | $1 \times 45^\circ$ | 60 | $2,5 \times 45^\circ$ | 40 | 50 | 160 | 140 | 60 |
| 7, 17 | 6 | $1,5 \times 45^\circ$ | 50 | $2,5 \times 45^\circ$ | 30 | 35 | 150 | 130 | 50 |
| 8, 18 | 7 | $2,5 \times 45^\circ$ | 55 | $1,5 \times 45^\circ$ | 20 | 30 | 155 | 135 | 55 |
| 9, 19 | 4 | $1,5 \times 45^\circ$ | 70 | $2,0 \times 45^\circ$ | 40 | 55 | 170 | 150 | 70 |
| 10, 20 | 6 | $1 \times 45^\circ$ | 60 | $2,5 \times 45^\circ$ | 30 | 45 | 160 | 140 | 60 |

Задание 3: Построить объемную модель детали «Пружина» по варианту, приведенному в табл. 4.3.

Т а б л и ц а 4.3

Варианты и значения
для построения модели детали «Пружина», мм

| Номер варианта | Число витков | Шаг | Диаметр контрольной гильзы | Радиус витка |
|----------------|--------------|-----|----------------------------|--------------|
| 1, 11 | 8,5 | 12 | 35,5 | 1,25 |
| 2, 12 | 9,5 | 14 | 40 | 1,5 |
| 3, 13 | 10,5 | 17 | 38,5 | 1,5 |
| 4, 14 | 7,5 | 11 | 34,5 | 1,2 |
| 5, 15 | 11,5 | 11 | 42 | 1,3 |
| 6, 16 | 12,5 | 14 | 37 | 1,3 |
| 7, 17 | 13,5 | 16 | 45 | 1,5 |
| 8, 18 | 9,5 | 12 | 39,5 | 1,3 |
| 9, 19 | 8,5 | 13 | 37,5 | 1,25 |
| 10,20 | 10,5 | 16 | 35,5 | 1,4 |

Задание 4: Построить объемную модель и чертеж детали «Зубчатое колесо» по варианту, приведенному в табл. 4.4.

Т а б л и ц а 4.4

Варианты и значения
для построения модели детали «Зубчатое колесо»

| Номер варианта | Число зубьев колеса | Модуль зацепления, мм | Число зубьев шестерни | Ширина зубчатого венца ведущего колеса, мм | Ширина зубчатого венца ведомого колеса, мм |
|----------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|--|--|
| 1, 11 | 32 | 3 | 22 | 24 | 20 |
| 2, 12 | 50 | 4 | 25 | 32 | 28 |
| 3, 13 | 45 | 4 | 27 | 30 | 26 |
| 4, 14 | 28 | 5 | 14 | 34 | 30 |
| 5, 15 | 30 | 3 | 15 | 22 | 18 |
| 6, 16 | 50 | 4 | 20 | 32 | 26 |
| 7, 17 | 45 | 4 | 25 | 30 | 26 |
| 8, 18 | 40 | 6 | 20 | 34 | 28 |
| 9, 19 | 45 | 6 | 25 | 32 | 30 |
| 10,20 | 30 | 4 | 18 | 26 | 20 |

Библиографический список

1. С и м а к Н. Ю. Методические указания для выполнения самостоятельной работы студентов по инженерной графике с использованием системы автоматизированного проектирования «Компас-график LT» / Н. Ю. С и м а к / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2011. Ч. 1. 35 с.
2. С и м а к Н. Ю. Методические указания к самостоятельной работе студентов по инженерной графике с использованием системы автоматизированного проектирования «Компас-3D LT» / Н. Ю. С и м а к / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2011. Ч. 2. 30 с.
3. Л а г е р ь А. И. Инженерная графика / А. И. Л а г е р ь. М.: Высшая школа, 2003. 270 с.
4. А в е р и н В. Н. Компьютерная инженерная графика / В. Н. А в е р и н. М.: Феникс, 2009. 218 с.
5. Г е р а с и м о в А. А. Компас 3D-V10/ А. А. Г е р а с и м о в. СПб: БХВ-Петербург, 2009. 976 с.
6. Д е г т я р е в В. М. Инженерная и компьютерная графика / В. М. Д е г т я р е в, В. П. З а т ы л ь н и к о в а. М.: Академия, 2010. 240 с.
7. С и д е н к о Л. А. Компьютерная графика и геометрическое моделирование / Л. А. С и д е н к о. СПб: Питер, 2009. 224 с.