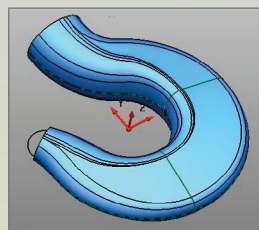


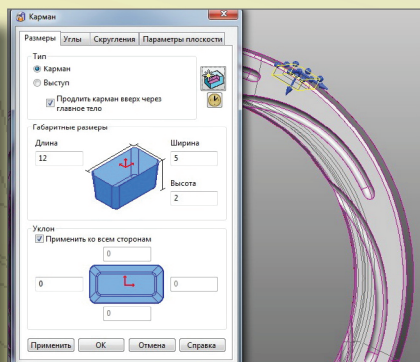
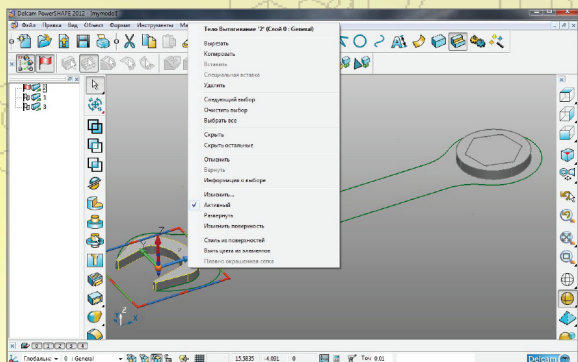
Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт машиностроения  
Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»



А.В. Зотов, Д.Е. Салабаев

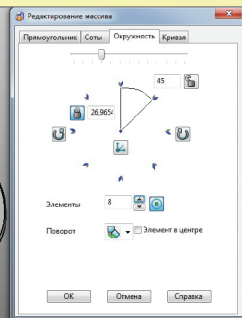
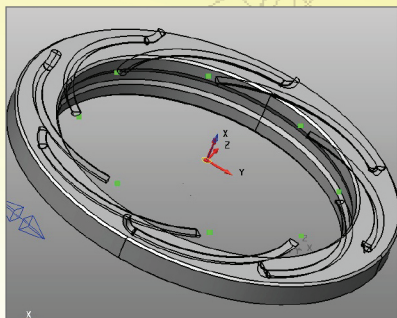
# ОСНОВЫ CAD

Лабораторный практикум

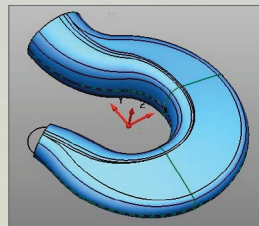


© ФГБОУ ВО  
«Тольяттинский  
государственный  
университет», 2018

ISBN 978-5-8259-1259-2



УДК 621.91  
ББК 30.2.-5-05



Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, первый проректор Российского государственного социального университета *А.А. Солдатов*;  
канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Тольяттинского государственного университета  
*В.А. Ивлиев*.

Зотов, А.В. Основы САД : лабораторный практикум / А.В. Зотов, Д.Е. Салабаев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. – 1 оптический диск.

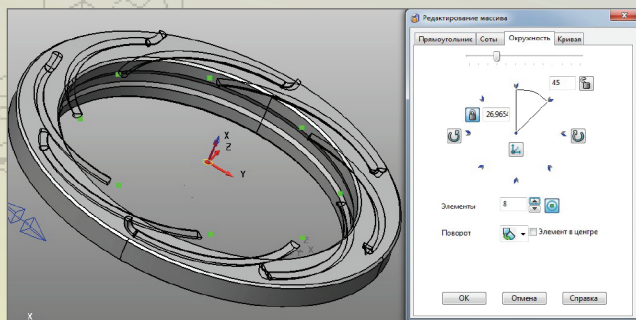
В лабораторном практикуме рассмотрены вопросы САД-моделирования на примере систем «Компас-3D» и PowerShape.

Предназначен для студентов направления подготовки бакалавров 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» и направления подготовки специалистов 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» всех форм обучения при изучении дисциплин «Основы САД», «Основы поверхностного и твердотельного моделирования».

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПИП 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.



Редактор *Т.Д. Савенкова*  
Технический редактор *Н.П. Крюкова*  
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*  
Художественное оформление,  
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

Дата подписания к использованию 28.03.2018.

Объем издания 11,5 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск,  
первичная упаковка.

Заказ № 1-48-17.

Издательство Тольяттинского государственного университета  
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14  
тел. 8(8482) 53-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	5
I. CAD-МОДЕЛИРОВАНИЕ: ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ .....	6
II. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ .....	13
Лабораторная работа 1. Методика кинематического анализа плоских механизмов в CAD-системе .....	13
Лабораторная работа 2. Методика создания CAD-модели на базе операции вытягивания .....	22
Лабораторная работа 3. Методика создания CAD-модели на базе операций вращения и протягивания по сечениям .....	44
Лабораторная работа 4. Методика создания параметрических 3D-моделей на примере подшипников качения .....	57
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	76
Приложение 1 .....	77
Приложение 2 .....	81
Приложение 3 .....	84
Приложение 4 .....	87



## ВВЕДЕНИЕ

Развитие и повышение эффективности промышленного производства напрямую связывается с внедрением новых информационных технологий, которое сдерживается прежде всего отсутствием квалифицированных специалистов.

Автоматизированное конструирование существенно сокращает производственный цикл изготовления продукции.

Целью данного практикума является обучение студентов принципам САD-моделирования с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования при решении практических задач профессиональной деятельности.

В практикуме представлены варианты работ: в программном пакете «Компас-3D» – по геометрическому и функциональному математическому моделированию механизмов при помощи средств автоматизации проектирования, а также параметрическому моделированию сборочных узлов; в программном пакете PowerShape, который позволяет в единой среде комбинировать разные техники САD-моделирования, – каркасное, твердотельное, поверхностное. Все эти комбинации нашли отражение в лабораторных работах.

Приведены варианты заданий для самостоятельной работы студентов.

## I. CAD-МОДЕЛИРОВАНИЕ: ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

*Моделирование* какого-либо объекта (системы, явления) – это воспроизведение и исследование другого объекта в форме, удобной для исследований, и перенос полученных сведений и результатов на моделируемый объект. Одним из видов моделирования является *математическое моделирование*, при котором исходный объект описывается в виде совокупности переменных, констант, функций, зависимостей, алгоритмов и других математических объектов [1].

### *Геометрическое моделирование*

Это один из видов математического моделирования, при помощи которого описываются пространственные соотношения, формы проектируемого объекта и его составных частей. Геометрическая модель повторяет лишь некоторые отдельные пространственные свойства реального объекта. Она, как правило, не учитывает наличие микрогеометрии (шероховатость поверхностей), а также отклонения формы и взаимное расположение поверхностей и характерных линий (непрямолинейность, неплоскостность, нецилиндричность, несоосность и т. д.). Существуют двух- и трёхмерные геометрические модели.

К *двухмерным моделям* можно отнести чертежи или плоские эскизы моделируемого объекта. Здесь микрогеометрия и отклонения формы поверхностей могут указываться при помощи специальных знаков.

*Трёхмерная модель* представляет собой объёмное изображение объекта, построенное при помощи специальных программных средств (CAD) и дающее исчерпывающее представление о форме объекта.

*Функциональные модели* описывают поведение (функционирование) объекта в некоторых постоянных или изменяющихся внешних условиях. Эти модели могут строиться как на базе геометрических моделей, так и без них. Примером могут служить конечно-элементные модели с распределёнными параметрами для прочностных и других исследований, многокомпонентные сосредоточенные модели (MBS – multi-body simulation) для решения динамических задач и т. д. [1].

### *Каркасное моделирование [2]*

Это хронологически первая технология представления объемной геометрии. Она естественным образом развилась из систем 2D-черчения. Это самый простой способ представления трехмерных моделей – так называемые проволочные каркасы, или просто каркасы, которые дают неоспоримые преимущества по сравнению с моделированием на плоскости. Они помогают более ясно представлять модель и надежно контролировать взаимное расположение составляющих ее элементов. Кроме того, каркасы можно использовать и для создания проекционных видов. Достаточно простые структуры данных и алгоритмы работы с каркасами позволили реализовать их на маломощном оборудовании конца 70-х годов XX века.

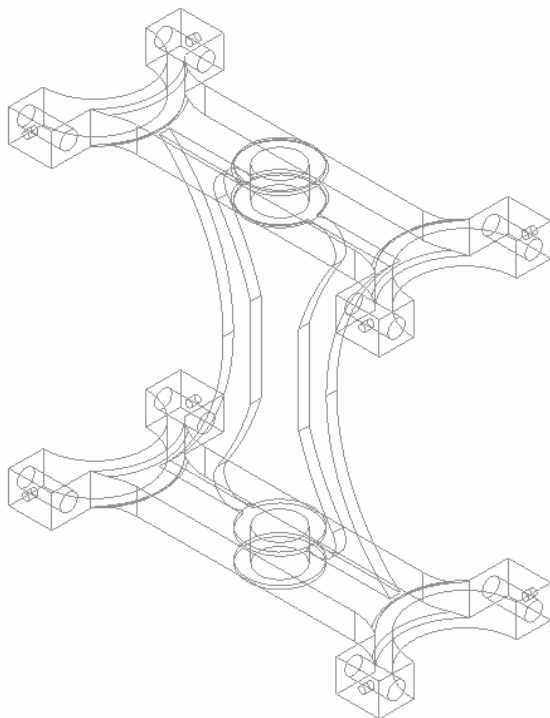


Рис. А. Каркасная модель кронштейна

Недостаток каркасного представления моделей состоит в том, что программы не могут отобразить всех особенностей поверхностей, определяемых каркасами (рис. А), и это делает невозможным построение, например, точных сечений. Визуальное представление достаточно аскетичное и в ряде случаев не дает возможности однозначно интерпретировать увиденное.

Тем не менее даже такая, имеющая множество ограничений технология позволила существенно расширить функциональные возможности САПР по сравнению с 2D-системами. В настоящее время построение каркасов также используется в геометрическом моделировании САПР, но лишь как вспомогательная система промежуточных построений.

### *Поверхностное моделирование [2]*

В отличие от каркасного представления, моделирование при помощи поверхностей имеет значительно меньше ограничений, так как позволяет определить своеобразную «оболочку» трехмерного объекта.

Геометрические модели на основе поверхностного представления обеспечивают качественную визуализацию, более простой переход к построению расчетных сеток для численного моделирования, обеспечивают ряд полезных функций, таких как построение пространственных сопряжений, сечений, определение линии пересечения оболочек, генерация чертежных проекций.

Поверхностные модели различаются по способу аппроксимации поверхности. Более простой в части структуры данных и используемых для работы с ними алгоритмов является *полигональная* аппроксимация, когда поверхность представляется набором взаимосвязанных плоских граней (рис. Б), на практике для сложных поверхностей чаще всего треугольных.

Такая аппроксимация легко строится, для нее разработаны эффективные алгоритмы реалистичной визуализации, она не требует значительных вычислительных ресурсов, хотя может быть и затратной по памяти. Главным ограничением подобной аппроксимации является то, что она имеет фиксированную точность, то есть отклонение положения модельной поверхности от «идеальной» моделируемой.

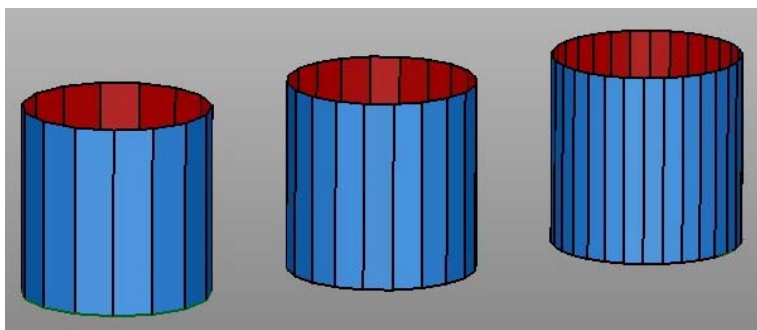


Рис. Б. Последовательное разбиение для улучшения качества полигональной аппроксимации цилиндрической поверхности

Для достижения высокой точности требуется создание сеток с малым шагом, что ведет к росту требований к вычислительным возможностям системы. Поэтому использование полигональной аппроксимации в САПР на текущий момент ограничено подсистемами визуализации и простейшего 3D-эскизирования.

Этих недостатков лишена технология NURBS (*Non-Uniform Rational B-Spline, неоднородный B-сплайн*), сегодня наиболее часто используемая в практике САПР (рис. В).

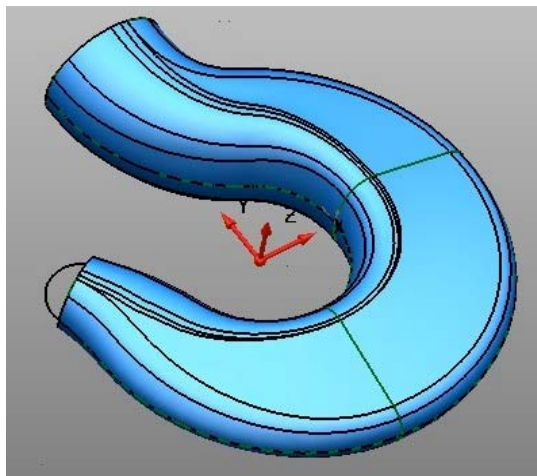


Рис. В. Поверхность NURBS



Такое описание поверхности обеспечивает определение координат любой ее точки, радиуса кривизны в ней, направления нормали к поверхности с высокой, в общем случае (без учета вычислительных затрат) с любой наперед заданной точностью. Определенным недостатком такого подхода является сложность алгоритмов работы с NURBS, однако это обстоятельство исторически преодолено исследователями и разработчиками.

В определенной степени NURBS-представление является развитием полигонального, но в отличие от него позволяет описывать не только плоские, но и криволинейные грани и ребра (кромки). Совокупность таких граней с общими ребрами по традиции называют сеткой.

Технология NURBS обеспечивает реализацию ряда функциональных возможностей, недоступных или существенно ограниченных при использовании каркасного либо полигонального представления: вычисление радиуса кривизны поверхностей, их гладкое сопряжение, построение траекторий на поверхности, что важно для подготовки программ для станков с ЧПУ, получение точных изображений, спроецированных на плоскость, например для получения чертежных видов и т. д.

Традиционно в САПР используются несколько типовых контекстов создания поверхностей:

- *плоская поверхность* — получается заполнением плоского контура (2D-эскиз или набор замкнутых кромок, лежащих в одной плоскости);
- *поверхность вытяжки* — образуется в результате плоскопараллельного вытягивания замкнутого или разомкнутого 2D/3D-эскиза в направлении, перпендикулярном плоскости эскиза, или под произвольным углом;
- *поверхность вращения* — получается вращением произвольного профиля (2D-эскиз) относительно оси;
- *поверхность по траектории* — создается движением 2D/3D-эскиза вдоль криволинейной образующей и произвольного числа направляющих кривых, деформирующих исходный контур;
- *поверхность по сечениям* — аналог поверхности по траектории; отличается тем, что строится не по одному, а по нескольким поперечным сечениям с направляющими кривыми;

- *граничная поверхность* — аналог поверхности по сечениям; отличается тем, что строится по нескольким произвольно сориентированным в пространстве 3D-кромкам других поверхностей с сохранением касательности к ним и с соблюдением непрерывности по второй производной (гладкая стыковка); при построении могут использоваться направляющие кривые;
- *поверхность свободной формы* — строится разбиением сетки с управляющими точками на поверхности грани 3D-модели; изменение формы поверхности достигается перетаскиванием контрольных точек;
- *эквидистантная поверхность* — получается смещением на определенное расстояние от существующих граней или поверхностей;
- *поверхность разъема* — используется при проектировании литейных форм в качестве вспомогательной геометрии для разделения матрицы и пуансона;
- *срединная поверхность* — создается на середине (или заданном проценте) толщины тонкостенной детали;
- *линейчатая поверхность* — строится под углом к выбранной кромке и предназначена для построения граней с уклоном.

Если установлена программная связь между вспомогательным каркасом и результирующей поверхностью, моделирование становится *ассоциативным*, при этом изменение каркасных элементов ведет к автоматическому изменению геометрии поверхностей, построенных с использованием этого контекста.

### ***Твердотельное моделирование [2]***

Несмотря на достаточно широкие возможности, которые предоставляет поверхностное моделирование, оно имеет ряд существенных ограничений с точки зрения использования в САПР, в частности невозможность вычисления объемов, масс и моментов инерции объектов, ограниченность применения к ним булевых операций (вычитания, объединения, пересечения). Эти ограничения снимаются при использовании твердотельного моделирования (рис. Г), ставшего на сегодня стандартом де-факто в 3D CAD/CAM/CAE-системах.

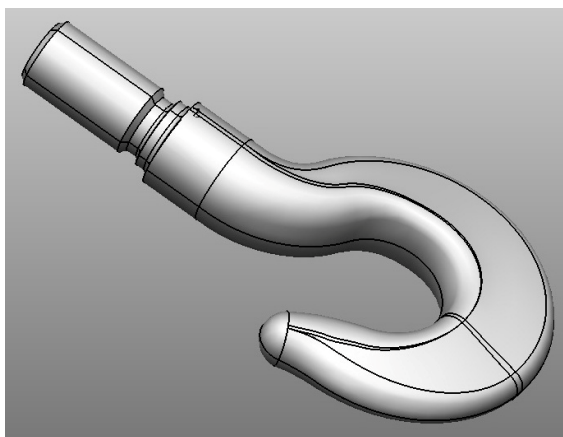


Рис. Г. Твёрдотельная модель крюка

Существуют различные алгоритмические методы представления твердотельных моделей — воксельное, использование октальных и бинарных деревьев, однако в практике САПР наиболее широкое применение имеет технология, базирующаяся на граничном представлении элементарных односвязных тел (*BREP, Boundary Representation*) в совокупности с конструктивной геометрией (*CSG, constructive solid geometry*), описывающей операции над телами.

Граничное представление определяет сплошное тело неявно путем описания ограничивающей его поверхности. Суть BREP-представления заключается в том, что твердое тело описывает замкнутая пространственная область, ограниченная набором элементарных тонких поверхностей (граней) с общими образующими контурами (ребрами) на границе поверхностей и признаком внешней или внутренней стороны поверхности, а также обеспечивающим ряд операций, определенных над телами.

Для описания сложных тел, моделирующих объекты реального мира, получаемые обработкой материала или неразъемной сборкой, используется иерархическая структура, описывающая тела как последовательность применения булевых операций над набором элементарных твердых тел, так называемое CSG-дерево (*Constructive Solid Geometry tree*).

## II. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

### Лабораторная работа 1 Методика кинематического анализа плоских механизмов в САД-системе

В работе рассматривается решение задач прикладной механики при помощи средств автоматизации проектирования, а именно геометрическое и функциональное математическое моделирование механизмов (звеньев, кинематических пар), траекторий движения, перемещений.

Цель работы – приобретение навыков и практического опыта геометрического и функционального моделирования простейших плоских механизмов при помощи средств автоматизации проектирования.

#### Краткие теоретические сведения

Для построения геометрической и функциональной модели механизма необходимо соответствующим образом моделировать отдельные *звенья* и *кинематические пары*.

*Звеньями* называются твердые тела, подвижная совокупность которых образует механизм. Звеном может быть как одно твёрдое тело, так и совокупность твёрдых тел при условии их жёсткого соединения между собой. Звенья механизма имеют названия и условные обозначения на схемах. Основные из них: стойка, ползун, кривошип, шатун, коромысло, кулиса, камень [3].

*Стойкой* называется неподвижное звено механизма. Относительно стойки рассматривается абсолютное движение всех подвижных звеньев механизма. Стойка моделируется при помощи фиксированной точки или фиксированной линии. Первое справедливо для построения неподвижной оси вращения кривошипа, коромысла, кулисы; второе – неподвижной направляющей ползуна.

*Ползуном* называется звено механизма, совершающее возвратно-поступательное движение в направляющих стойки. Моделируется точкой или привязкой, соответствующей поступательной кинематической паре.

*Кривошипом* называется звено механизма, совершающее полное вращение с неизменной осью на стойке.

*Коромыслом* называется звено механизма, совершающее неполное вращение с неизменной осью на стойке.

*Шатуном* называется звено механизма, совершающее сложное-плоское движение относительно стойки.

*Кулисой* называется подвижное звено, имеющее направляющие. Эти звенья моделируются прямолинейными отрезками фиксированной длины с соответствующими кинематическим парам привязками на концах.

*Камнем* называется звено механизма, совершающее сложное-плоское движение в направляющих кулисы. Камень всегда располагается на кулисе, не имеет размерности длины и моделируется аналогично ползуну.

*Кинематической парой* называется подвижное соединение двух звеньев. В плоских механизмах наиболее распространены *поступательные* и *вращательные* кинематические пары.

В *поступательных* кинематических парах соединяемые звенья имеют возможность поступательного относительного движения (стойка – ползун и кулиса – камень). Условием наличия поступательной пары в схеме механизма является принадлежность точки, моделирующей камень или ползун, линии, которая представляет собой модель направляющих стойки или кулисы.

Звенья, входящие во *вращательную* кинематическую пару (стойка – кривошип, стойка – коромысло, стойка – кулиса, кривошип – шатун и т. д.), имеют одну общую точку и возможность относительного вращения [3].

Для моделирования кинематических пар в программе «Компас» используются функции привязок и параметризации [4].

### **Порядок выполнения работы**

Создадим модель плоского механизма, кинематическая схема которого представлена на рис. 1.1.

*Исходные данные:*  $l_1 = 15$  мм,  $l_2 = 55$  мм,  $l_3 = 80$  мм,  $L = 75$  мм. В точках *A*, *B*, *D* звенья имеют шарнирные соединения. Кривошип *I* вращается вокруг точки *A* с угловой скоростью  $\omega$ . Кулиса *3* и ку-



лисный камень  $C$  образуют поступательную кинематическую пару. Звено 2 жестко соединено с кулисным камнем  $C$  под прямым углом, т. е. перпендикулярно кулисе. Стойки 4 и 5 неподжны.

Требуется:

- 1) определить траекторию абсолютного движения кулисного камня (точки  $C$ );
- 2) определить амплитуду относительного перемещения кулисного камня относительно кулисы;
- 3) определить амплитуду угловых перемещений кулисы;
- 4) построить график зависимости относительного перемещения кулисного камня относительно кулисы от угла поворота кривошипа;
- 5) построить график зависимости линейной скорости кулисного камня от времени при условии, что частота вращения кривошипа  $n = 100$  об/мин; определить максимальное значение линейной скорости.

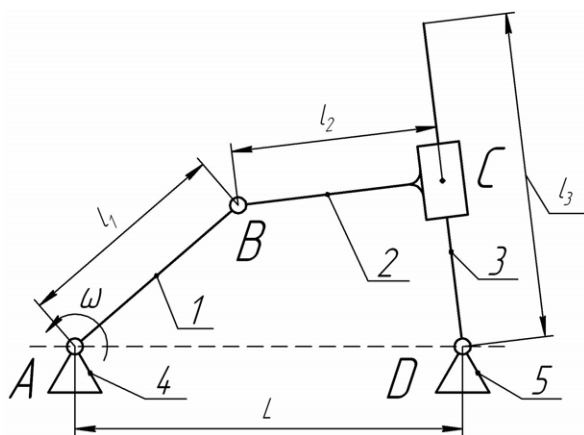


Рис. 1.1. Схема плоского кривошипно-кулисного механизма

При выполнении работы необходимо оперировать привязками геометрических объектов [4]. В зависимости от выполняемых операций нужно включать и выключать привязки «ближайшая точка», «середина», «точка на кривой» и др.

Поскольку при построении модели используется большое количество объектов (основные геометрические объекты, размеры,

вспомогательные построения и др.), следует пользоваться разнесением их по слоям [4]. Например, в одном слое располагать контуры механизма, во втором – размеры звеньев, в третьем – вспомогательные построения и т. д.

### 1. Построим параметрическую геометрическую модель механизма.

При выполнении этого этапа работы для задания связей между моделями звеньев механизма необходимо при создании нового фрагмента включить опции ассоциативности и параметризации объектов, а также фиксацию размеров [4].

1.1. В системном слое (установлен по умолчанию) построим на плоскости отрезки в соответствии с рис. 1.2. Привязки, используемые при построении, приведены в табл. 1. Для выбора одного из нескольких доступных вариантов привязки при построении отрезка 2 нужно в ходе выполнения команды нажать правую кнопку мыши и из контекстного меню выбрать «Привязка» → «требуемый вид привязки».

Таблица 1

Привязки

Точка	Кинематическая пара	Соединение отрезков	Используемая привязка
В	Шарнир	Начало отрезка 2 в конце отрезка 1	«Ближайшая точка»
С	Поступательная пара	Конец отрезка 2 на отрезке 3	«Точка на кривой»

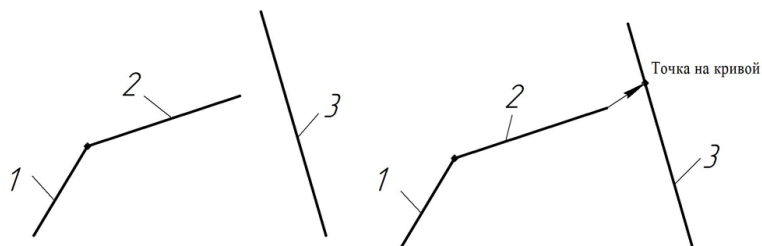



Рис. 1.2. Начальные этапы построения

1.2. Создадим новый слой «Размеры», сделаем его текущим и проставим размеры звеньев в соответствии с заданием. Размеры должны быть зафиксированными (значения размеров в рамке). *Примечание: для отображения ограничений, наложенных на объекты,*

используется команда «Отобразить ограничения»  панели инструментов «Параметризация». Каждому размеру необходимо поставить соответствующее имя переменной (рис. 1.1) –  $l_1, l_2, l_3, L$ . После простановки всех размеров слой рекомендуется погасить, сделав текущим системный слой.

1.3. Наложим ограничения на объекты:

- перпендикулярность линий 2 и 3;
- фиксированная точка  $A$ ;
- выравнивание по горизонтали точек  $A$  и  $D$  (стойки).

*Примечание: не следует накладывать ограничение «фиксированная точка» на ось качания кулисы (точка  $D$ ), поскольку её положение однозначно задаётся размером расстояния  $AD$  и ограничением «выравнивание по горизонтали точек  $A$  и  $D$ ».*

1.4. Проверим работоспособность построенной модели. Для этого необходимо выделить отрезок 1 (кривошип) и попробовать переместить незафиксированный конец кривошипа. Вся модель должна двигаться, повторяя движения кулисного механизма.

1.5. Выполним вспомогательные построения:

- соединим тонкой линией стойки  $A$  и  $D$ ;
- поставим размер между этой линией и кривошипом (угол поворота кривошипа);
- зададим для размера переменную « $f_i$ » и установим значение выражения в 90 градусов (рис. 1.3). После ввода уравнения кривошип должен встать в верхнее вертикальное положение;
- активируем команду «Переменные», откроется соответствующая панель, где напротив имени переменной необходимо вводить выражения требуемого угла положения кривошипа. Пошагово доведите значение переменной до  $f_i = 0,001$ .

*Примечание: не рекомендуется одновременно изменять значение переменной более чем в 2–5 раз в сторону увеличения или уменьшения, при необходимости такое изменение делается пошагово. Нулевое значение переменной не используется, поскольку при этом значении теряется геометрический смысл размера, обозначенного переменной.*

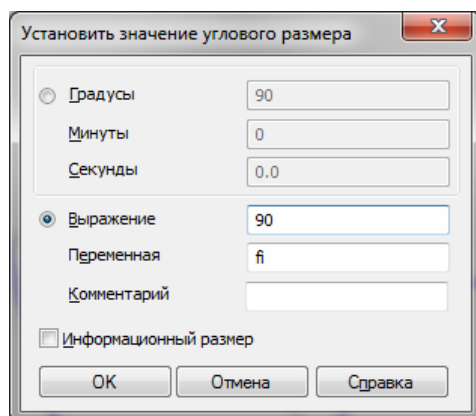


Рис. 1.3. Окно «Установить значение углового размера»

## 2. Проведем исследование геометрической модели механизма.

При выполнении этого этапа работы необходимо отключить опции «ассоциировать при вводе» и «параметризовать», которые были включены перед выполнением предыдущего этапа.

2.1. Создадим точку на пересечении звеньев 2 и 3 (кулисный камень С).

2.2. Изменим выражение для переменной  $fi$  в большую сторону на 10 градусов (0,001; 10; 20 и т. д.).

Повторяем п. 2.1 и 2.2 до тех пор, пока кривошип не пройдет один полный оборот.

*Примечание: не рекомендуется делать приращение угла поворота кривошипа больше  $10-15^\circ$ , поскольку это, во-первых, влияет на точность построения, во-вторых, большее изменение значения переменной может завершиться ошибкой программы «система не имеет решений». В данном случае следует использовать значения переменной, входящие в область  $0,001 \leq fi \leq 350$ .*

2.3. Построим замкнутую кривую Безье, проходящую через все полученные точки, – траекторию движения кулисного камня С (рис. 1.4).

*Примечание: при завершении построения кривой Безье необходимо воспользоваться командой «Замкнутый объект» панели свойств.*

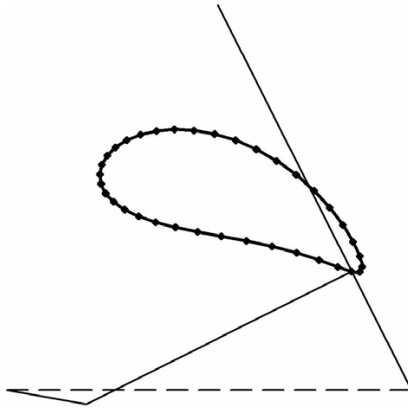


Рис. 1.4. Траектория движения кулисного камня

2.4. Построим две окружности с центром в точке  $D$ , касательные к траектории. Разность радиусов построенных окружностей будет равна относительному расстоянию между крайними положениями кулисного камня (амплитуда относительного перемещения камня по кулисе).

2.5. Построим два отрезка из точки  $D$ , касательных к траектории, олицетворяющих крайние положения кулисы. Угол между ними будет равен амплитуде угла поворота кулисы (рис. 1.5).

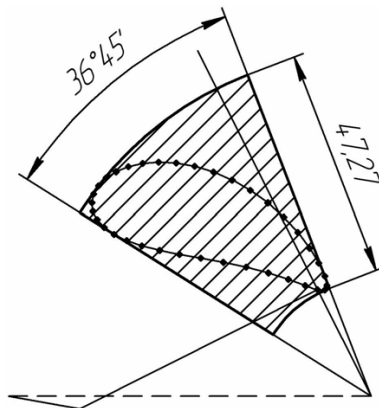


Рис. 1.5. Определение максимальных угла и перемещения звеньев механизма



2.6. Построим зависимость относительного перемещения камня по кулисе от угла поворота кривошипа. Порядок построения кривой проиллюстрирован на рис. 1.6. Каждому значению  $f\dot{i}$  сопоставляется длина радиус-вектора соответствующей точки траектории относительно точки  $D$ . За нулевое положение камня принимается его крайнее положение, максимально приближенное к точке  $D$  (в данном случае при нулевом положении кривошипа).

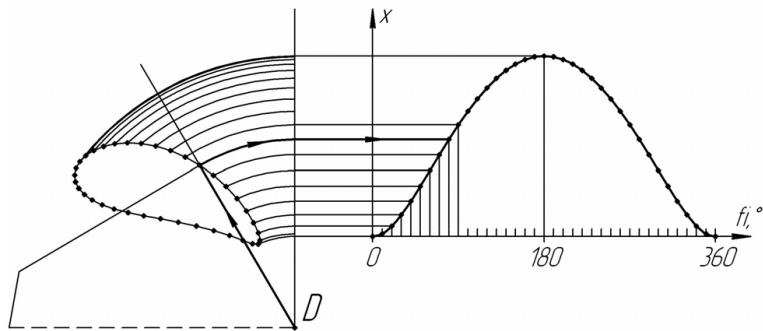


Рис. 1.6. Зависимость положения камня от угла поворота кривошипа

2.7. Построим зависимость скорости от времени. Скорость определяется как первая производная перемещения по времени. Таким образом, задача построения графика изменения скорости от времени сводится к графическому дифференцированию зависимости перемещения от времени (которая при постоянной скорости вращения кривошипа аналогична полученной в п. 2.6).

В каждой  $i$ -й точке исходного графика  $x(f\dot{i})$  (начиная со второй) строится вертикальный отрезок длиной  $|x_{i+1} - x_{i-1}|$ , который переносится на ось абсцисс. По точкам концов отрезков строится кривая Безье, представляющая собой график зависимости скорости от времени (рис. 1.7). Шкала оси абсцисс переводится по соотношению:

$$\tau = \frac{f\dot{i}}{360 \cdot n},$$

где  $f\dot{i}$  – шкала угла поворота кривошипа, град;  $n$  – частота вращения кривошипа, об/мин.

Скорость в мм/мин определяется по формуле

$$v_i = \frac{dx}{d\tau} \Big|_i = \frac{\Delta x_i}{\Delta \tau_{const}},$$

где  $\Delta x_i = (x_{i+1} - x_{i-1})$  – приращение перемещения в окрестности точки  $\tau = \tau_i$ ;  $\Delta \tau_{const}$  – ширина окрестности точки  $\tau = \tau_i$ , постоянная для всех точек, равная времени поворота кривошипа на два угловых шага, определенных в п. 2.2 (в нашем случае –  $20^\circ$ , или 1/18 часть оборота).

Алгоритм построения зависимости проиллюстрирован на рис. 1.7.

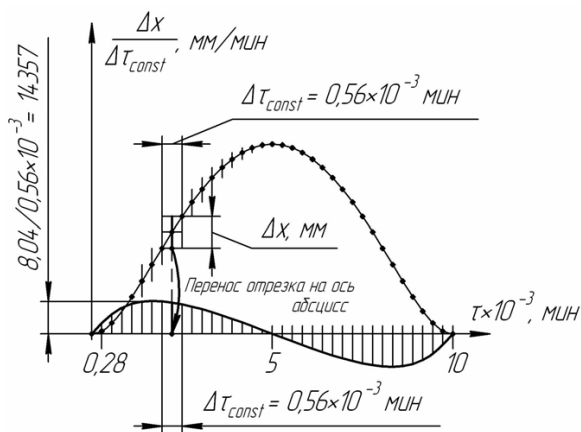


Рис. 1.7. Построение зависимости скорости от времени

**Варианты заданий для самостоятельной работы представлены в прил. 1 (номер своего варианта получить у преподавателя).**

### Требования к отчету

Отчёт должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- схему механизма;
- исходные данные и описание механизма;
- поясняющие рисунки к определению заданных величин, построению траекторий, графиков. *Примечание: рисунки создаются при*

*помощи программы «Компас» путем экспорта файла в формат \*.jpg (Файл → Сохранить как... → JPEG) и затем вставляются в документ Word (Вставка → Рисунок → Из файла...);*

– выводы по результатам работы.

При защите работы кроме отчёта преподавателю предъявляется файл «Компас»-фрагмента (\*.frw) с готовой моделью механизма и всеми вспомогательными построениями.

### **Контрольные вопросы**

1. Что вы понимаете под определением «звено механизма»?
2. Охарактеризуйте основные звенья плоских механизмов.
3. Что называется кинематической парой?
4. Для чего производится разнесение объектов по слоям?
5. Какие привязки вы использовали при построении плоского механизма?
6. Как можно наложить ограничения на объекты?
7. Для чего необходимо отключать опции ассоциации при вводе и параметризации при построении траектории перемещения кулисного камня?
8. Как построить график зависимости скорости от времени? Перечислите основные этапы.

## **Лабораторная работа 2**

### **Методика создания CAD-модели на базе операции вытягивания**

В работе рассматривается решение задач, возникающих при 3D-моделировании твердотельной модели, построение которой ведется с использованием инструментов поверхностного и твердотельного моделирования в системе PowerShape.

Цель работы – приобретение навыков и практического опыта CAD-моделирования в системе PowerShape.

## Краткие теоретические сведения

PowerShape – мощный гибридный моделировщик, сочетающий в себе широкий набор инструментов каркасного, твердотельного и поверхностного моделирования, работу с триангулированными моделями и текстурами.

Характеристики основных объектов PowerShape:



- *каркасные объекты* включают линии, дуги, кривые, точки и т. д. Они могут быть двухмерными и пространственными, используются для создания чертежей и большинства типов поверхностей и тел;
- *поверхности* создаются из каркасных объектов или путем преобразования из твердых тел. Поверхность можно представить как оболочку нулевой толщины, натянутую на сеть кривых. Пространственная поверхностная модель представляет собой полый объект. Поверхности создаются набором поперечных (латерал) и продольных (лонгитуд) образующих. Также у поверхности может быть направляющая (спин);
- *тела* также создаются из каркасной геометрии, примитивов стандартных форм или путем преобразования из набора поверхностей. Пространственная твердотельная модель представляет собой цельный кусок материала.

## Порядок выполнения работы

Создадим модель гаечного ключа (рис. 2.1).



После запуска PowerShape автоматически открывается окно новой модели. Создание 3D-модели начнем с выполнения рабочего эскиза гаечного ключа в средней плоскости.

Активируем команду «Создать одиночную линию», нажав на соответствующую клавишу  контекстно-зависимого меню опции «Линия»  главной панели создания модели (далее главной панели). Введем в поле ввода координат параметры первой точки   и начертим горизонтальную линию с предварительной длиной 19 мм (рис. 2.2), пользуясь интеллектуальным курсором:





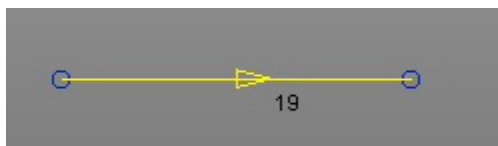




Рис. 2.2. Отображение линии

Точность отображения элементов по умолчанию установлена на величину 0,01 мм. В любой момент моделирования точность можно изменить в соответствии с требованиями к качеству проектируемой модели.

Вторую линию начертим аналогично из точки с координатами (-5 -9.5 0).

Как можно уже было заметить, для черчения геометрии каркаса гаечного ключа его эскиз мысленно был развернут на  $15^\circ$  относительно точки пересечения осей рукоятки и зева в середине дуги радиуса  $R14$ .

Для построения задней стенки зева активируем команду «Дуга по центру, радиусу и сектору»  контекстно-зависимого меню опции «Дуга»  главной панели. Выполним построение дуги из точки центра координат произвольным радиусом, примерно как показано на рис. 2.3.

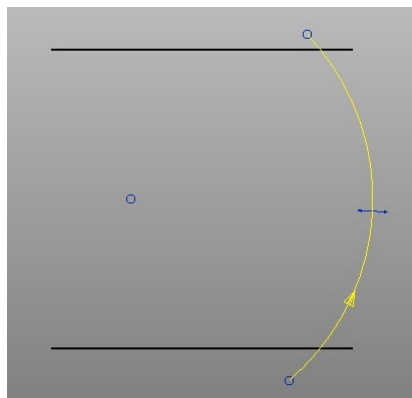


Рис. 2.3. Процесс создания дуги

Затем двукратным щелчком по левой кнопке мыши вызываем окно редактирования параметров (рис. 2.4) и в поле «радиус» вводим значение 14 мм.

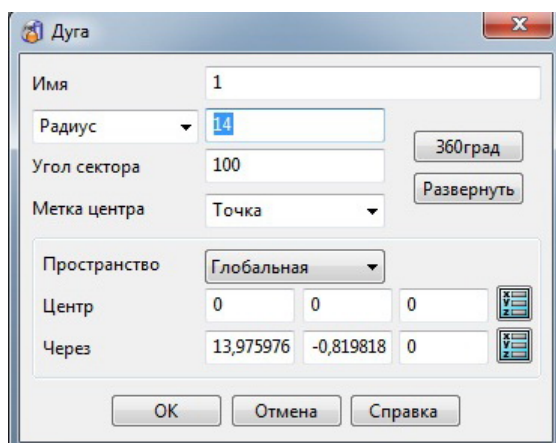



Рис. 2.4. Окно «Дуга»

Для построения скругления между прямыми и дугой активируем команду «Скругление»  и установим необходимый нам радиус 4 мм, посредством указания в поле ввода координат Точ 0,01 . Затем, выбирая последовательно элементы, создадим соответствующие скругления между дугой и прямыми (рис. 2.5).

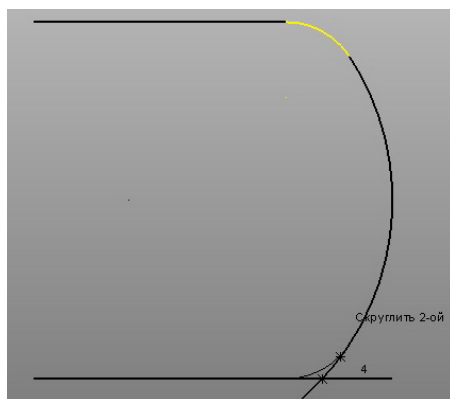


Рис. 2.5. Создание скругления

Теперь начертим внешний контур головки ключа. На высоте 21 мм начертим вспомогательную линию (рис. 2.6).

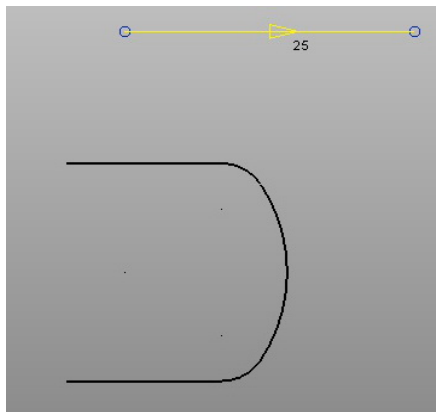


Рис. 2.6. Вспомогательная линия

Согласно эскизу (рис. 2.1) создадим дугу радиусом 28 мм с центром в начале координат, пользуясь интеллектуальным курсором и координатой первой точки дуги  , а вторую точку создадим, продлив до пересечения с горизонтальной линией (рис. 2.7).

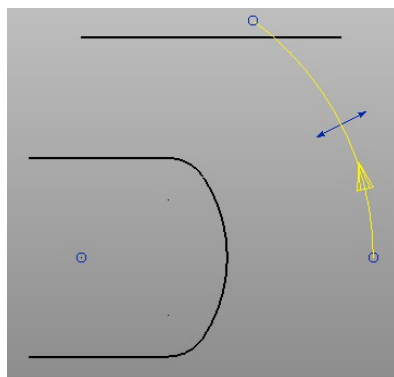



Рис. 2.7. Дуга от оси X

Скругление создадим по касательным посредством команды «Дуга по трем точкам» . При наведении курсора мыши на линию появляется подсказка «Касание» (рис. 2.8) – в этот момент необходимо кликнуть по линии и провести аналогичные действия с дугой.

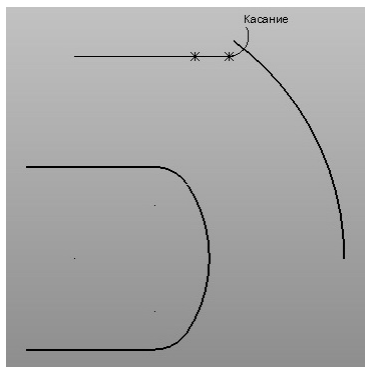


Рис. 2.8. Процесс создания дуги по касательным

Так будут задействованы две точки из трех. Для построения третьей точки необходимо вывести дугу на примерный радиус, кликнуть по ней, и в этот момент появится окно «Радиус», в поле ввода которого указываем значение 12 мм (рис. 2.9).

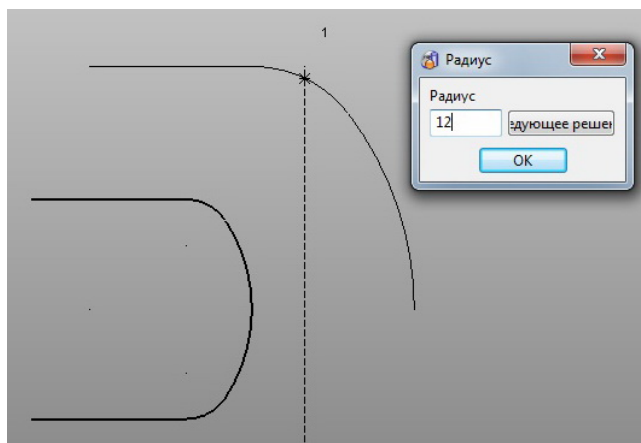


Рис. 2.9. Окно «Радиус»

Продлим дугу на больший центральный угол (рис. 2.10).

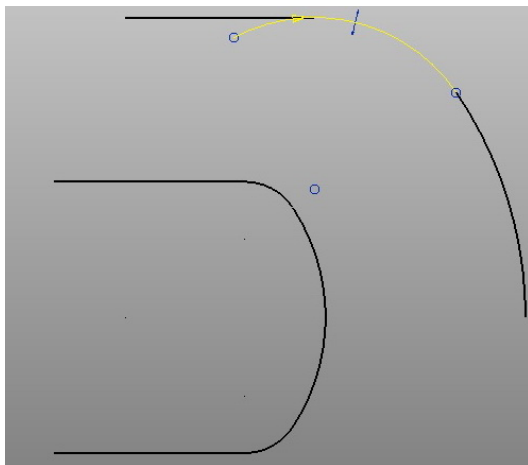


Рис. 2.10. Продление дуги

Следующим шагом будет построение дуги по трем точкам с координатой первой точки  $(-6 \ 9.5 \ 0)$  касательно к построенной ранее дуге и радиусом 32 мм (рис. 2.11).

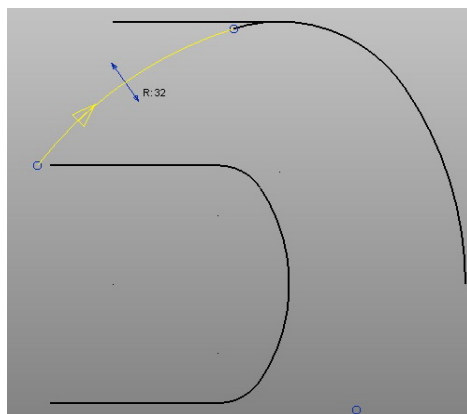




Рис. 2.11. Дуга по трем точкам

Удалим ставшую ненужной вспомогательную линию и построим прямую из точки  $(-5 \ 9.5 \ 0)$  вертикально до пересечения с последней созданной дугой, которую обрежем посредством команды «Ограничить до пересечения»  (необходимо кликнуть по обрезаемой части элемента каркасной геометрии) из выпадающего меню «Параметры общего редактирования»  (рис. 2.12).

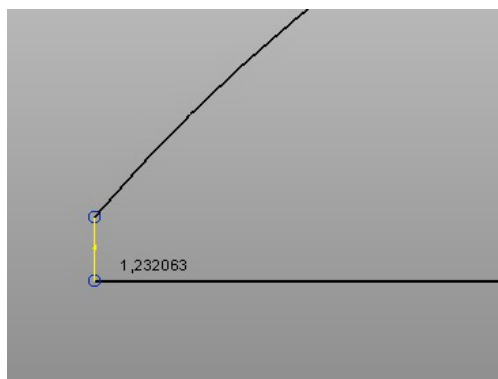




Рис. 2.12. Ограничивающая линия

Построим элементы геометрии усиленной части головки гаечного ключа.

В первую очередь начертим линию на высоте, равной половине ширины усиленного выступа (см. рис. 2.1).

Дугу радиусом 20 мм построим посредством команды «Полная дуга (окружность)»  контекстно-зависимого меню опции «Дуга»  главной панели. Центрируясь в начале координат, построим окружность произвольного радиуса и, активируя её двойным щелчком мыши, установим значения радиуса и угла сектора в окне «Дуга», как показано на рис. 2.13.

Как видно по рис. 2.13, угол сектора отсчитывается от положительного направления оси X против часовой стрелки. Достроим данный элемент геометрии, используя ранее разобранные команды.

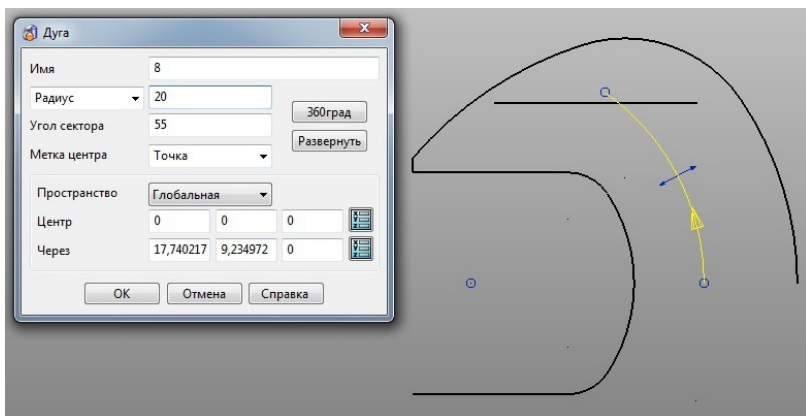






Рис. 2.13. Процесс создания дуги

Для наглядности следующего шага создадим локальную систему координат командой «Создать одиночную систему координат»  контекстно-зависимого меню опции «Локальная система координат»  главной панели, совпадающую с глобальной. И выполним симметрию требуемых элементов (выделяем их посредством левой кнопки мыши с зажатым клавишей «Ctrl»), используя команду «Отобразить зеркально объекты»  выпадающего меню «Параметры общего редактирования»  (рис. 2.14).

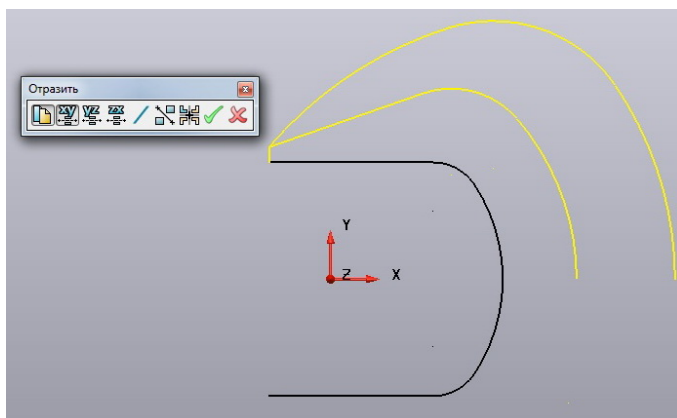


Рис. 2.14 Окно «Отразить»

Активная первая иконка панели «Отразить» (рис. 2.14) позволяет скопировать выделенные элементы (если она неактивна, то элементы будут только перенесены), в данном случае относительно плоскости ZX (рис. 2.15). Для фиксации выполненного действия нажимаем зеленую галочку «Отразить выбранные элементы» (рис. 2.15).

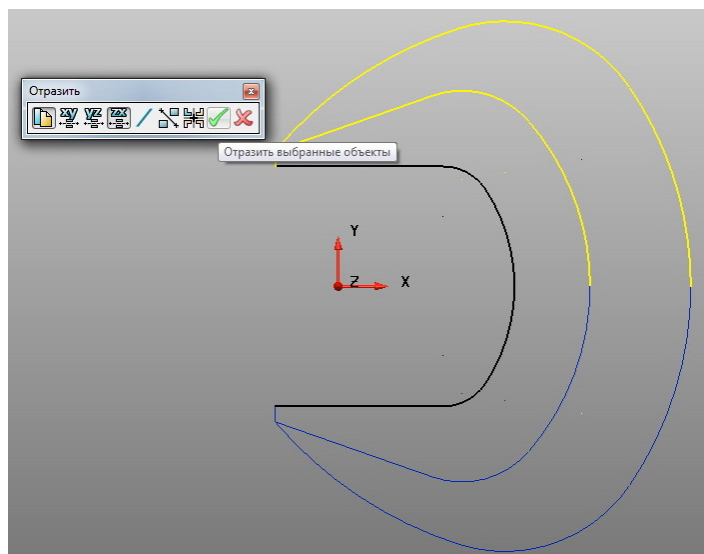




Рис. 2.15. Результат симметрии

Для дальнейшего построения развернем эскиз на  $15^\circ$  относительно оси X в активной плоскости, используя команду «Повернуть объекты»  выпадающего меню «Параметры общего редактирования» . Обратите внимание, что в окне «Поворот» (рис. 2.16) иконка «Скопировать выбранные объекты» неактивна.

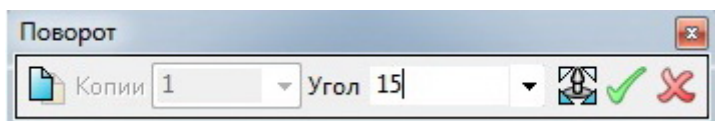


Рис. 2.16. Окно «Поворот»



Зафиксируем выполненное действие, нажав на иконку «Повернуть выбранные объекты» в окне «Поворот» (зеленая галочка).

Следующий шаг: начертим вспомогательную осевую линию, одним концом привязавшись к середине дуги (следуем за интеллектуальным курсором) в положительном направлении оси X на длину 140 мм. Проведя горизонтальную линию любой длины, активируем её двойным щелчком мыши и в окне «Линия» (рис. 2.17) задаем необходимую длину.

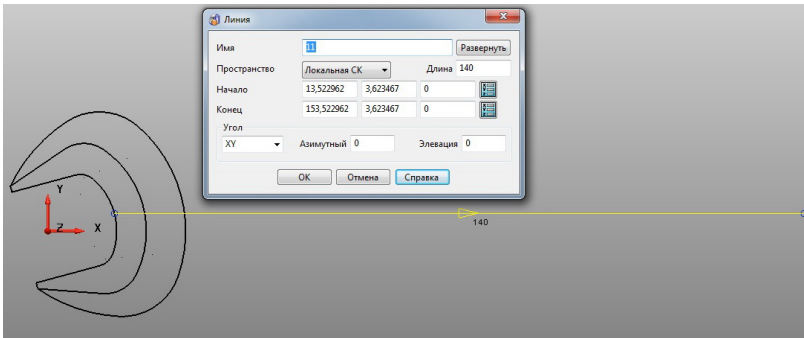



Рис. 2.17. Окно «Линия»

В окне «Линия» можно наблюдать, что активной на данный момент является локальная система координат; рабочая плоскость XY; азимутный угол (угол в плоскости XY) равен 0; угол элевации (угол в пространстве относительно плоскости XY) также равен 0.

Для того чтобы отличать вспомогательную геометрию, изменим цвет линии – иконка «Цвет объекта»  на главной панели.

Теперь согласно эскизу (см. рис. 2.1) создадим шестигранник под углом  $15^\circ$  к оси изделия. Используем команду «Многоугольник»



контекстно-зависимого меню опции «Линия»  главной панели.

Выбираем параметры шестигранника, как на рис. 2.18, и при построении осуществляем поворот на нужный угол, контролируя параметры интеллектуальным курсором.

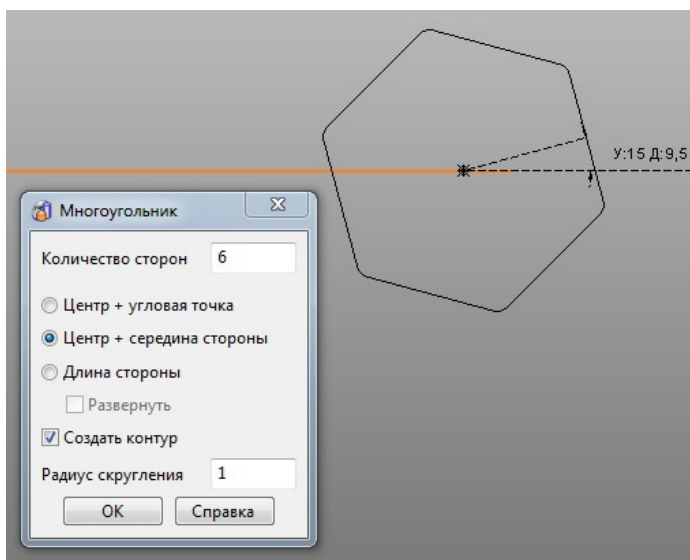


Рис. 2.18. Построение шестигранника

Из центра многоугольника построим две окружности радиусами 14 мм и 18 мм.

Передвинем систему координат на ось изделия — для этого активируем её и левой кнопкой мыши, ухватившись за центр, перемещаем в требуемое положение (рис. 2.19).

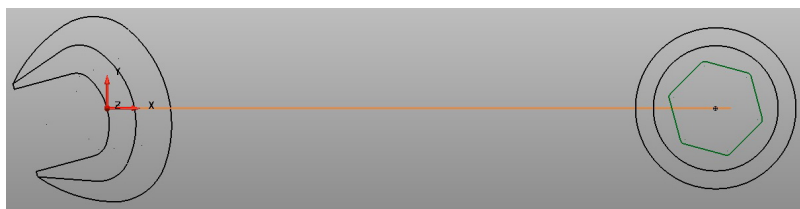


Рис. 2.19. Новое положение системы координат

Построение рукоятки начнем с горизонтальной линии, координату первой точки которой возьмем (15 9 0), и продлим её на расстояние 102–104 мм (рис. 2.20), а затем выполним копирование симметрично плоскости ZX.

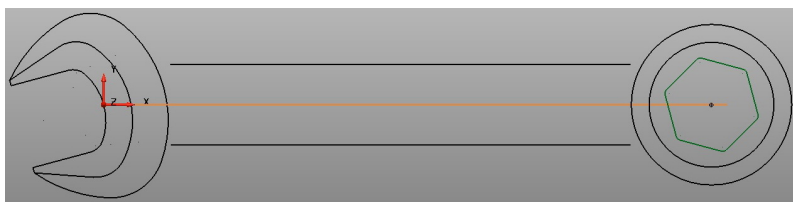


Рис. 2.20. Линии будущего каркаса рукоятки




Используя команду «Дуга по трем точкам» , выполним сопряжения по касательным прямым линий с дугами соответствующими радиусами (см. рис. 2.1). Удалим вспомогательные элементы геометрии. Результат показан на рис. 2.21.



Рис. 2.21. Эскиз ключа в средней плоскости

Для завершения работы с каркасной геометрией необходимо создать композитные кривые (контуры) вдоль линий, дуг, кривых, то есть объединить несколько элементов в один – необходимо для работы с поверхностями и телами. Один такой контур уже был создан нами автоматически при создании многогранника (рис. 2.19). Как видно, контуры отображаются темно-зеленым цветом.

Активируем команду «Создать контур пошаговым следованием»  контекстно-зависимого меню опции «Кривая»  главной панели. Для создания непосредственно контура необходимо левой кнопкой мыши кликнуть по одному из элементов геометрии, вдоль которых будет создаваться композитная кривая, и далее, пользуясь маркерами (рис. 2.22), протянуть контур нужной конфигурации.

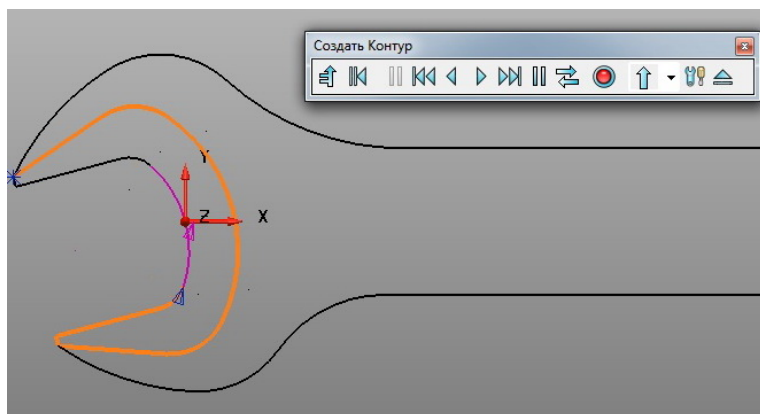





Рис. 2.22. Процесс создания контура

На рис. 2.22 показан процесс создания контура усиленной части головки ключа. По завершении процесса созданный контур нужно сохранить  и приступить к созданию следующего замкнутого контура вдоль внешней траектории ключа.

Теперь перейдем к инструментарию создания твердых тел и поверхностей. Выберем с зажатой клавишей «Ctrl» три контура (так как одна высота вытягивания) и активируем команду «Создайте одно или более тела вытягивания»  контекстно-зависимого меню опции «Тело»  главной панели. В открывшемся окне «Размеры» (рис. 2.23) задаем длину вытягивания по первому направлению — 3,75 мм.

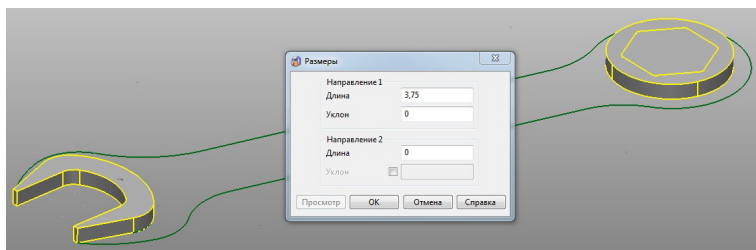






Рис. 2.23. Окно «Размеры»

Так были созданы три тела вытягивания. Как видно по рис. 2.23, в районе шестигранника результат несколько отличается от того, что

требовалось получить. В PowerShape в отличие от других программ (например, «Компас-3D») тела автоматически не вычитаются.

Для создания операции вычитания воспользуемся командой «Вычесть выбранное тело, поверхность или символ из активного тела»  контекстно-зависимого меню опции «Элемент»  главной панели. Как следует из наименования команды, необходимо назначить активным тело вытягивания цилиндра. Сделать это можно несколькими методами:

- активировать команду «Показать окно дерева построения»  панели инструментов «Редактирование тела» (появляется при выборе тела в графическом окне) и выставить красный флажок, символизирующий активное тело напротив требуемого;
- выбрать любое тело в графическом окне и посредством активации команды «Тело активно/неактивно»  на самой панели инструментов «Редактирование тела» сделать его активным либо нет;
- щелчком правой кнопки мыши по выбранному телу вызвать выпадающее меню и, если тело необходимо сделать активным, проставить галочку напротив соответствующей строки «Активный» (рис. 2.24).

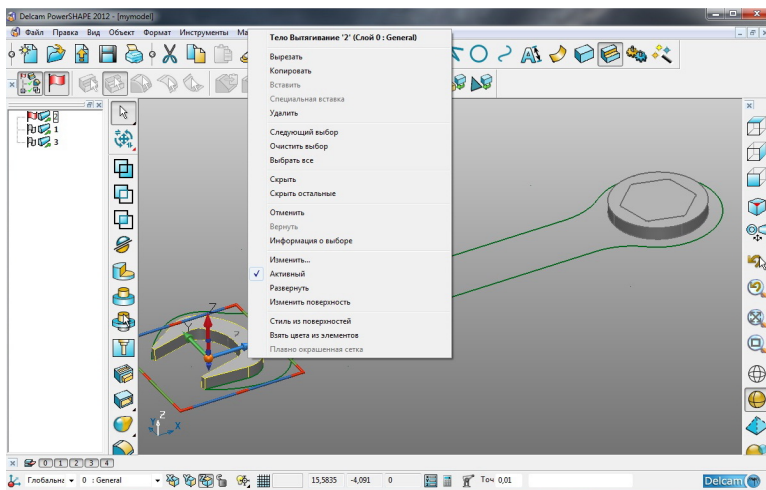





Рис. 2.24. Выпадающее меню тела вытягивания

Создадим еще одно тело вытягивания (по первому направлению на 2,5 мм) по последнему незадействованному контуру. Сделаем его активным и посредством активации команды «Добавить выбранное тело, поверхность или символ к активному телу»  контекстно-зависимого меню опции «Элемент»  главной панели объединим с ним тела вытягивания зева и цилиндра, а командой  вычтем из него тело вытягивания шестигранника (рис. 2.25).

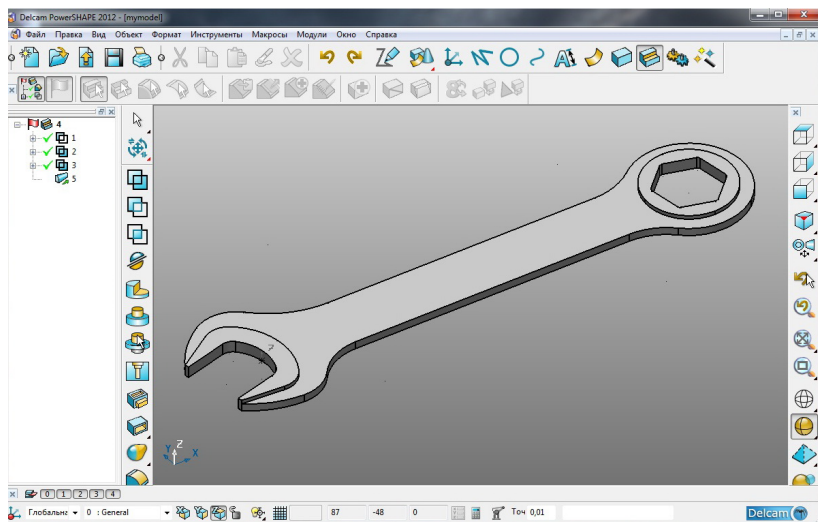



Рис. 2.25. Результат вычитания

Для построения переменного переходного радиуса конвертируем созданное тело в набор поверхностей – команда «Конвертировать выбранные тела в поверхности»  на панели «Редактирование тела». При этом нормали всех поверхностей должны быть направлены в одну сторону. Контроль данного требования можно осуществить, просмотрев цвет окраски поверхностей (по умолчанию цвета синий/красный оповещают о соответствующих направлениях нормали) (рис. 2.26).

Кроме того, при выборе любой поверхности появляются маркеры направления данной поверхности (продольное/поперечное) – крупная стрелка и направления нормали – мелкая стрелка

(рис. 2.26). Щелчок мыши по данным маркерам меняет значение на противоположное.

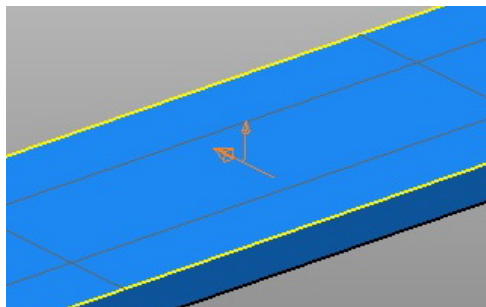




Рис. 2.26. Маркер направления и нормали

Проконтролировав нормали на интересующих нас поверхностях, активируем команду «Скругление»  контекстно-зависимого меню «Поверхность»  главной панели. Установим базовое значение радиуса – 1 мм, тип скругления – выпуклое, в качестве основных поверхностей – боковая окантовка ключа, в качестве вспомогательной – верхняя грань. Установив требуемые характеристики, нажимаем клавишу «Просмотр» в окне «Скругление поверхностей» (рис. 2.27), и если нет ошибок, то появится образующая кривая радиуса.

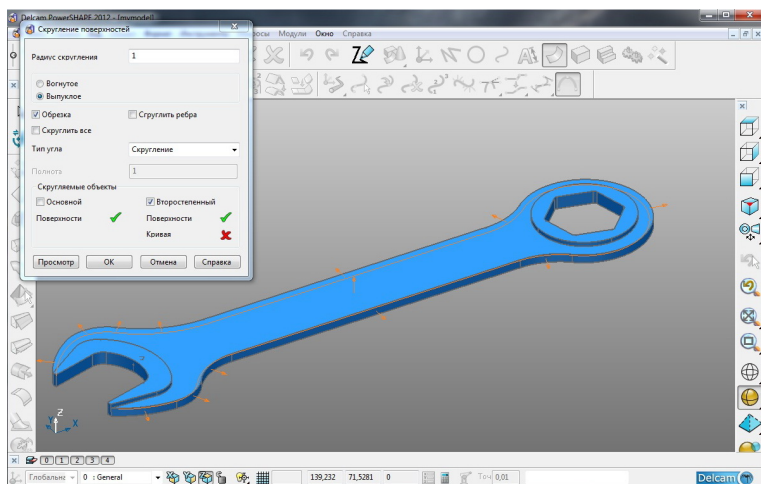


Рис. 2.27. Окно «Скругление поверхностей»

Нажатие клавиши «ОК» открывает следующее окно – «Выбрать путь скругления». Выбираем образующую будущего скругления, и в этот момент появляются ключевые точки, позволяющие визуализировать выполняемые действия. При клике на кривую появляется радиус, текущее значение которого отображается в окне (рис. 2.28). Эти значения необходимо изменить в соответствии с требованиями моделирования: так, на головке зева радиус равен 1 мм, на головке шестигранника – 1,5 мм и на ручке 2,4 мм.

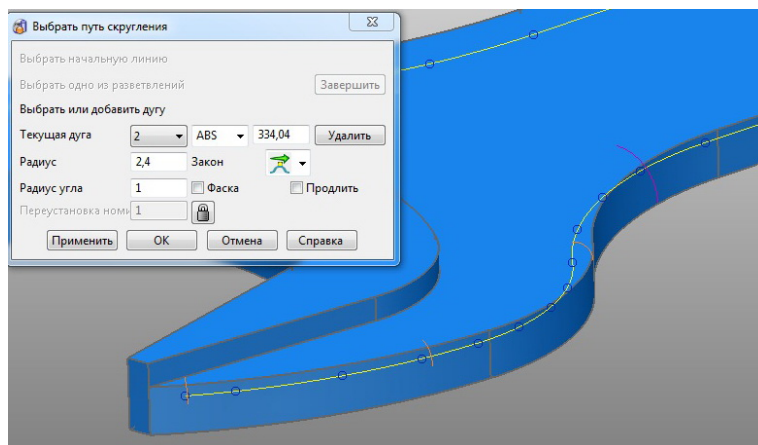


Рис. 2.28. Окно «Выбор пути скругления»

Закон для углов кривой оставим по умолчанию – плавное сопряжение с обеих сторон. Нажимаем «ОК» и формируем переменный радиус вдоль созданной направляющей, но, как видно на рис. 2.29, в поверхности появились разрывы из-за невозможности выполнения команды на данных участках.

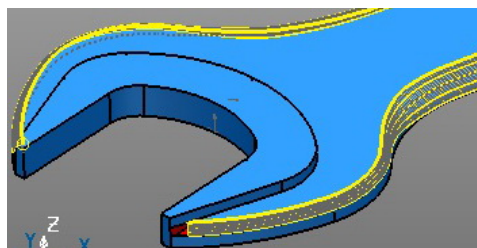



Рис. 2.29. Разрывы поверхностей



Замкнем брешь поверхностью по сети кривых. Для этого сначала создаем контур  по периметру отверстия (рис. 2.30).

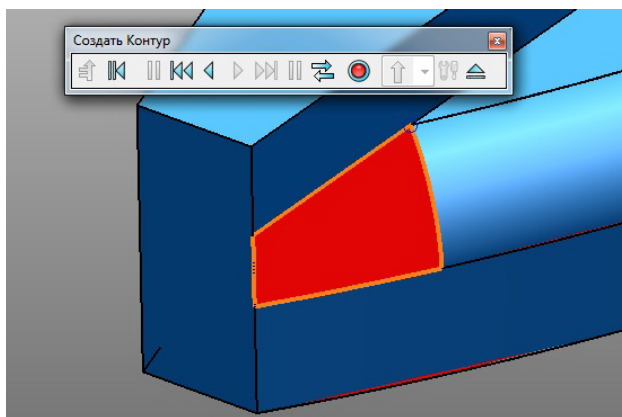




Рис. 2.30. Контур

Далее формируем непосредственно саму поверхность по активированному контуру посредством команды «Умный моделировщик поверхностей»  контекстно-зависимого меню опции «Поверхность»  главной панели (рис. 2.31).

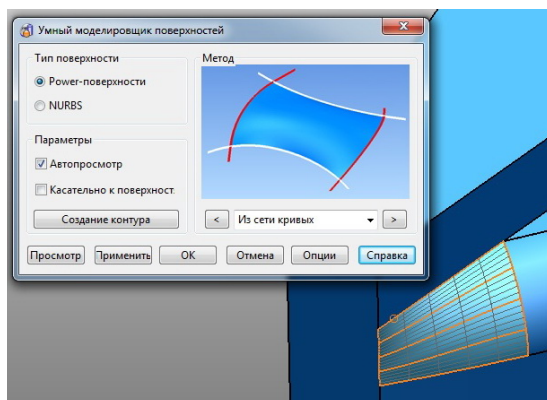








Рис. 2.31. Окно «Умный моделировщик поверхностей»

Следим за тем, чтобы опция «касательно к поверхности» была неактивна.

Сам контур предварительно создавать не обязательно — эта опция есть также в окне «Умный моделировщик поверхностей» (рис. 2.31).

Перед созданием тела из набора поверхностей воспользуемся командой «Быстрый выбор всех кривых»  выпадающего меню «Выбор»  и удалим выбранные контуры (композиционные кривые).

Далее выберем все поверхности и активируем команду «Создать тело из выбранных поверхностей или сеток»  контекстно-зависимого меню опции «Тело»  главной панели.

Скругления ребер, образующихся при пересечении выступающих над поверхностью рукоятки участков тела радиусом 0,75 мм, выполним командой «Создать скругление»  контекстно-зависимого меню опции «Элемент»  главной панели (рис. 2.32).

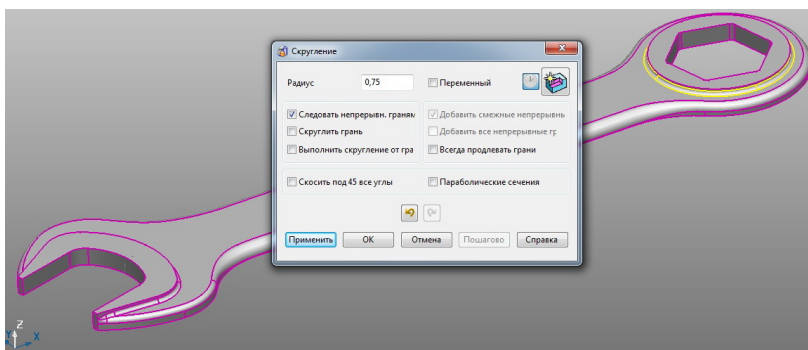


Рис. 2.32. Скругление твердого тела

Для получения полноценной модели гаечного ключа необходимо создать симметричное тело относительно плоскости XY и добавить его к уже существующему активному. Окончательный результат моделирования представлен на рис. 2.33.

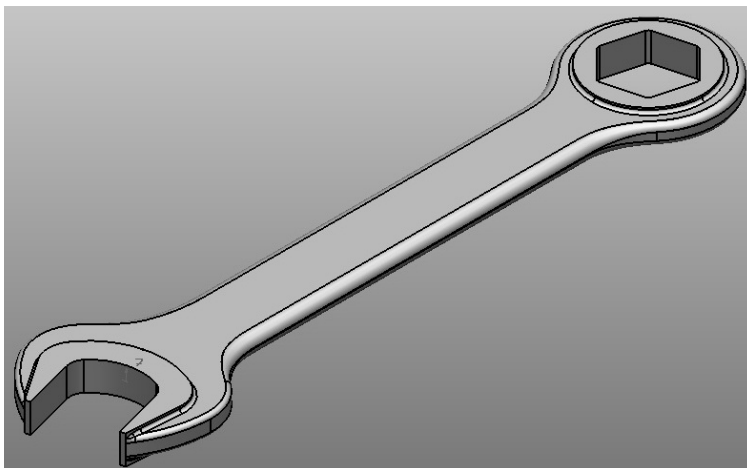


Рис. 2.33. Модель гаечного ключа

*Варианты заданий для самостоятельной работы представлены в прил. 2 (номер своего варианта получить у преподавателя).*

### **Требования к отчету**


Отчёт должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- исходные данные для моделирования согласно индивидуальному заданию;
- описание порядка выполнения с поясняющими рисунками;
- выводы по результатам работы.

При защите работы кроме отчёта преподавателю предъявляется файл модели Delcam (\*.psmodel) с выполненным вариантом индивидуального задания.

### **Контрольные вопросы**

1. Охарактеризуйте возможности системы PowerShape.
2. Какие основные объекты PowerShape вы знаете?
3. Как создаются поверхности?
4. В чем принципиальное отличие тела от поверхности?
5. Как изменить точность отображения элементов при моделировании?

6. Какими способами можно выполнить скругление двух кривых?
7. В чем преимущество построения дуги по трем точкам?
8. Как выполнить симметрию требуемых элементов? Перечислите необходимые шаги.
9. Как и для чего создают композитные кривые?
10. Перечислите возможности опции «Элемент»  главной инструментальной панели.
11. Как сделать тело активным? С какой целью необходим этот шаг при моделировании?
12. Что вы понимаете под термином «конвертация»?
13. Как и для чего необходимо изменять нормаль поверхности?
14. Как сформировать переменный радиус при скруглении поверхностей?
15. Как произвести быстрый выбор всех однотипных кривых?

### **Лабораторная работа 3**

#### **Методика создания CAD-модели на базе операций вращения и протягивания по сечениям**

В работе рассматривается решение задач, возникающих при 3D-моделировании твердотельной модели, построение которой ведется с использованием инструментов преимущественно твердотельного моделирования в системе PowerShape.

Цель работы – приобретение навыков и практического опыта CAD-моделирования в системе PowerShape.

#### **Краткие теоретические сведения**

При моделировании в рамках CSG-представления (Constructive Solid Geometry tree) для описания составных твердых тел на практике определены следующие операции над исходными элементарными телами:

- вычитание;
- объединение;
- пересечение.

Таким образом, любое составное тело может быть описано в виде традиционного уравнения из булевых функций, в котором

аргументами являются либо элементарные тела, либо другие составные тела. Это представление называют *деревом построений*. Такое представление кроме удобства модификации геометрии результирующего тела позволяет существенно снизить требования к вычислительным ресурсам за счет применения оптимизирующих процедур к дереву построений.

Представление твердых тел в виде дерева построений удобно также с точки зрения организации пользовательского интерфейса, обеспечивающего наглядный и быстрый доступ к любому элементу, входящему в описание геометрии тела, его модификацию и получение отчетной информации [2].

### Порядок выполнения работы

Создадим модель кольца подшипника по эскизу (рис. 3.1).

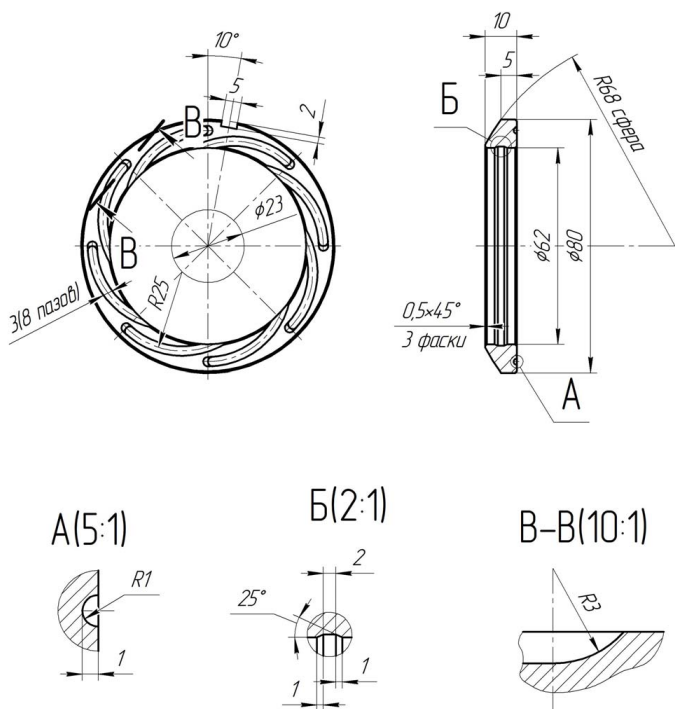











Рис. 3.1. Эскиз кольца подшипника

В первую очередь выполним эскиз основного контура поперечного сечения.

Для наглядности создадим локальную систему координат, совпадающую с глобальной: «Локальная СК»  – «Создать одиночную ЛСК»  в координатах (0 0 0).

Создание эскиза начнем с прямоугольника – «Линия»  – «Создать многоугольник» , первая угловая точка которого лежит в координатах (0 31 0), шириной 10 мм и высотой 9 мм. Затем, согласно рис. 3.1, выполним 3 фаски – «Линия»  – «Создать фаску» , размерами 0,5×45° мм. И наконец, создадим дугу – «Дуга»  – «Дуга по центру, радиусу и сектору» . Для того чтобы задать точные координаты центра дуги, воспользуемся командой «Открыть панель точка»  строки состояния (рис. 3.2) и в открывшемся окне напротив координаты по X (в поле ввода) щелкнем правой кнопкой мыши – откроется окно «Калькулятор», где во вкладке инженерных расчетов введем выражение для определения координаты центра дуги вдоль оси X (рис. 3.3).

Подтверждаем расчеты и фиксируем X (рис. 3.4).

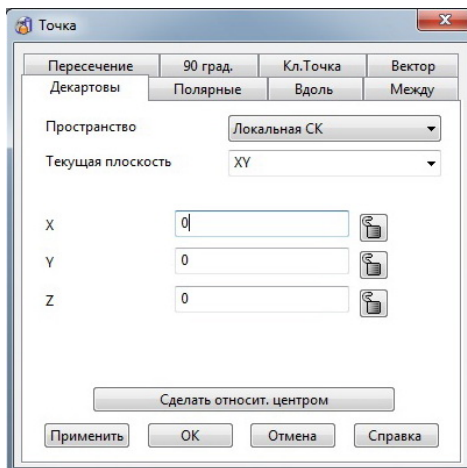


Рис. 3.2. Окно «Точка»

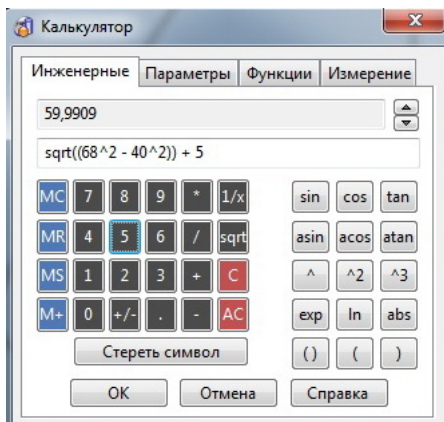


Рис. 3.3. Окно «Калькулятор»

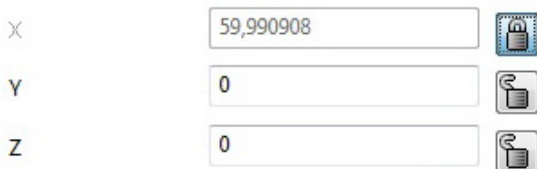


Рис. 3.4. Заблокированный результат вычислений

С помощью интеллектуального курсора выставляем радиус дуги 68 мм и проводим её в соответствии с рис. 3.5.

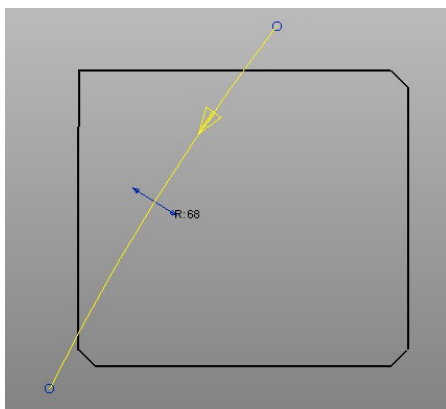





Рис. 3.5. Образующая сферической поверхности

Далее вычертим образующую выточки – «Линия»  – «Создать одиночную линию»  – в поле ввода координат вносим значения первой точки линии (3 31 0). Для ввода координат второй точки – «Открыть панель точка»  строки состояния и переходим во вкладку «Полярные», где в строке «Угол» вносим значение 25° и сразу его фиксируем. На следующей строке из выпадающего перечня выбираем ось X и вносим значение длины вдоль этой оси – 1 мм (рис. 3.6).

Обратите внимание на этот момент. Если вы введете в данное поле значение расстояния, то получите длину линии, что в проекции даст ошибочный результат.

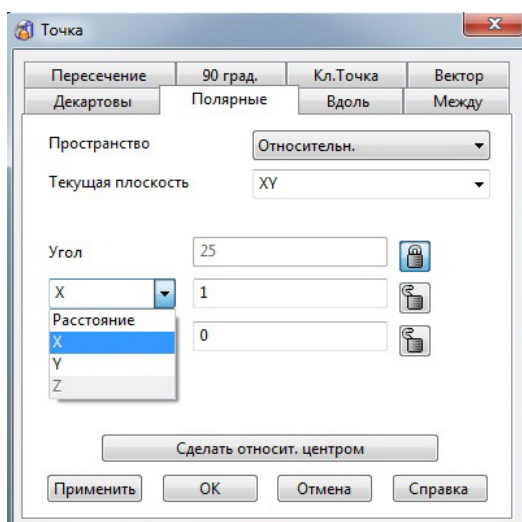


Рис. 3.6. Окно «Точка»

При этом контролируем параметры окна: пространство – относительное, текущая плоскость – XY, элевация – 0°. Для завершения процесса нажимаем – «Применить» – «ОК» (рис. 3.7).

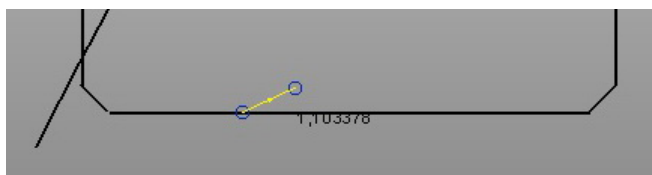






Рис. 3.7. Вид линии



Значение, отображаемое на экране (рис. 3.7), является длиной линии.

Достроим образующую выточки до конца и удалим всё лишнее до получения замкнутого набора кривых – «Показать параметры общего редактирования»  – «Ограничить до пересечения» , которые преобразуем в контур – «Кривая»  – «Создать контур пошаговым следованием»  (рис. 3.8).

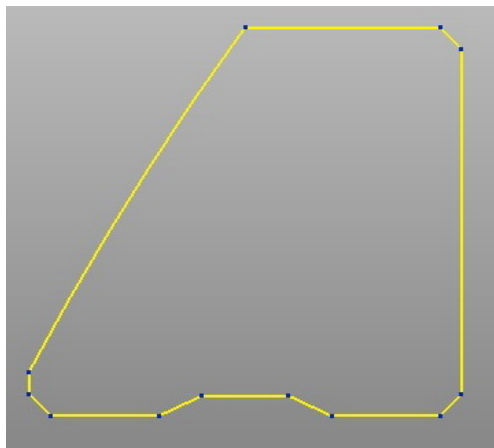





Рис. 3.8. Контур поперечного сечения кольца

Теперь создадим тело. Выберем контур и активируем команду «Создать тело вращения»  контекстно-зависимого меню опции «Тело»  главной панели (рис. 3.9). Но перед этим необходимо изменить ось в строке состояния – выберем ось X  (при вращении вокруг именно этой оси должно быть создано тело).

Для построения направляющей тела пересечения радиального выреза переместим локальную систему координат вдоль оси X на 9 мм. Двойным щелчком по системе координат активируем её и заполняем окно «ЛСК» в соответствии с рис. 3.10.

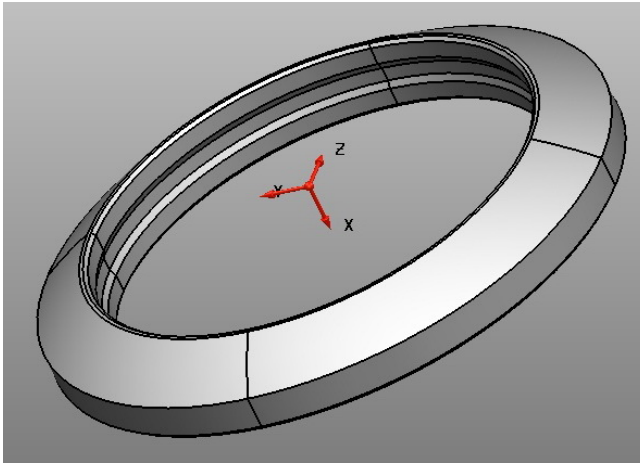


Рис. 3.9. Вид тела вращения

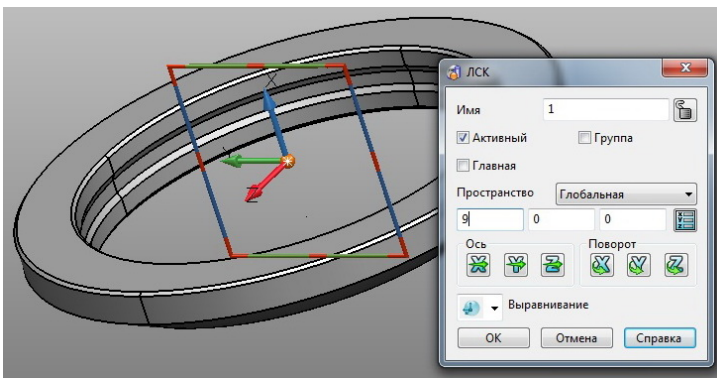


Рис. 3.10. Окно «ЛСК»

Далее делаем активной плоскость YZ и сразу блокируем её. Если не выполнить блокировку, то при создании каркасной геометрии её элементы могут привязываться к точкам на уже построенном теле и угол элевации относительно плоскости YZ уже не будет равен нулю (построения будут происходить в пространстве). На панели видов выбираем вид справа Вид справа (+X).

Согласно эскизу (см. рис. 3.1) построим дугу, используя команду «Дуга по центру, радиусу и сектору» . Координаты центра дуги определим посредством интеллектуального курсора – наведем его

на систему координат и будем перемещать вдоль оси  $Z$  по штриховой линии, пока индикация не станет равной 11,5 мм (рис. 3.11).

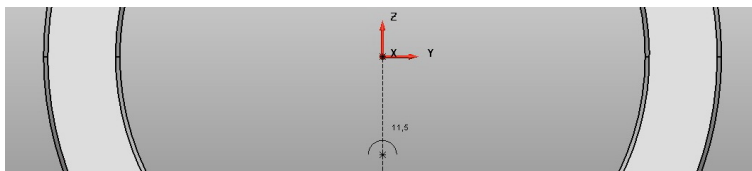



Рис. 3.11. Индикация координаты центра дуги

Фиксируем центр в этой точке и строим дугу радиусом 25 мм, как показано на рис. 3.12. В момент построения дуги для удобства сделаем отображение тела каркасным – «Каркасный вид»  панели видов.

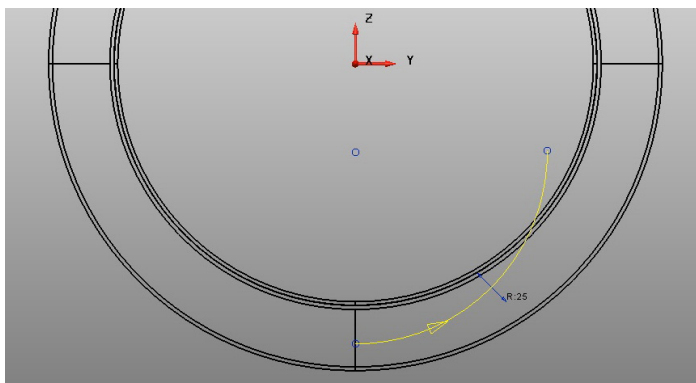



Рис. 3.12. Процесс построения первого участка направляющей

Для завершения построения направляющей изменим активную плоскость на  $XU$  и построим дугу  с координатами центра (3 0 -36,5), привязкой одного конца к краю построенной дуги радиусом 25 мм и углом сектора –  $90^\circ$  посредством интеллектуального курсора (рис. 3.13) либо указанием соответствующих значений в поле ввода координат.

Создадим контур  из двух построенных дуг.

Для построения сечения вытягиваемого тела создадим одиночную, ориентированную по геометрии локальную систему координат

 (рис. 3.14).

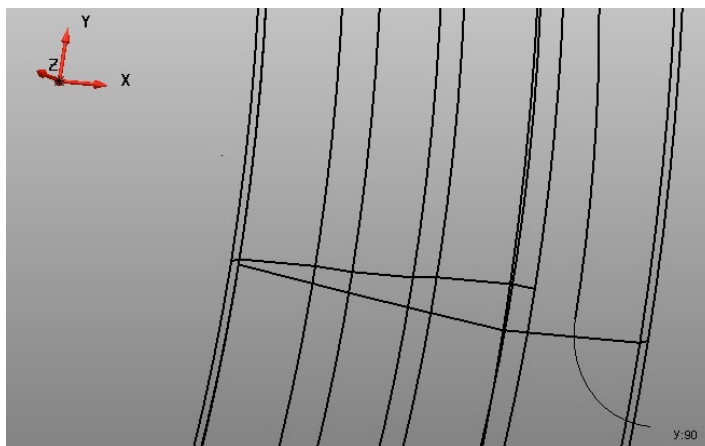


Рис. 3.13. Процесс построения второго участка направляющей

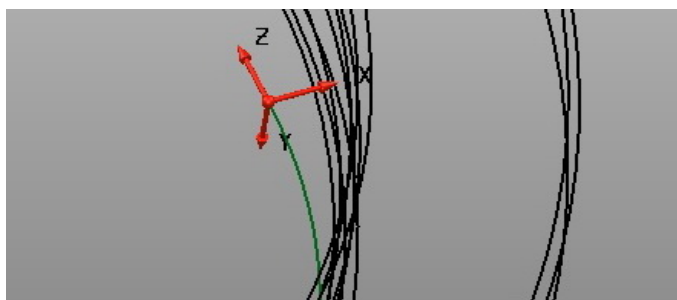


Рис. 3.14. ЛСК, ориентированная по объекту

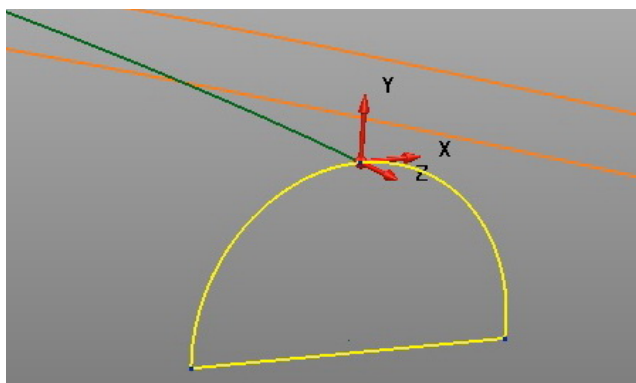


Рис. 3.15. Контур сечения канавки

Зabloкируем рабочую плоскость и создадим контур сечения в соответствии с эскизом (см. рис. 3.1). Сектор дуги сечения сделаем немного больше  $180^\circ$  и замкнем дугу линией (рис. 3.15).

Теперь всё готово для построения непосредственно тела. Активируем команду «Создать тело по сечениям вдоль ведущей кривой»



контекстно-зависимого меню опции «Тело»



главной панели. В открывшемся окне «Направляющая кривая» выберем сечение и, переставляя маркер, направляющую (рис. 3.16).

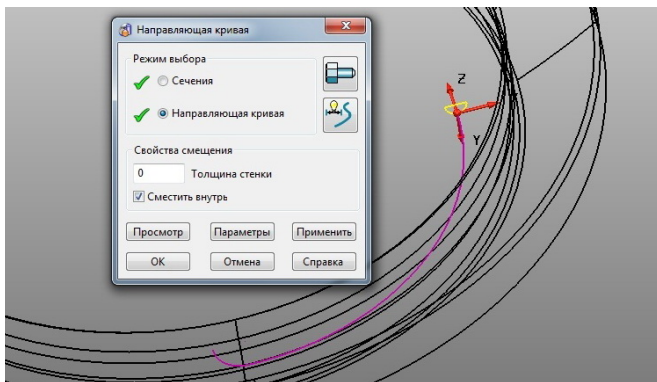


Рис. 3.16. Окно «Направляющая кривая»

Для предварительного просмотра нажмем соответствующую клавишу в активном окне. Результат после закраски каркаса представлен на рис. 3.17.

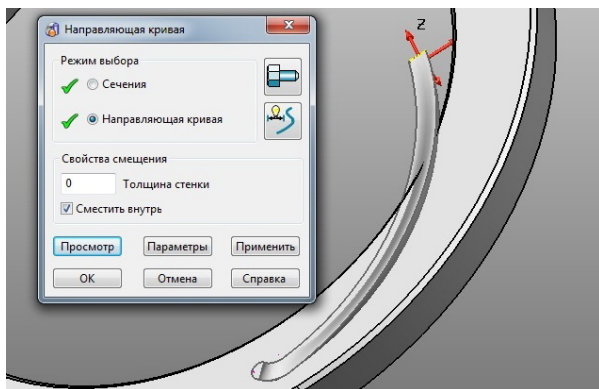


Рис. 3.17. Предварительный просмотр создаваемого тела

Нетрудно увидеть, что подобный результат нас не может устроить. Для редактирования входим в окно управления «Параметры создания направляющей кривой» (клавиша «Параметры») (рис. 3.18).

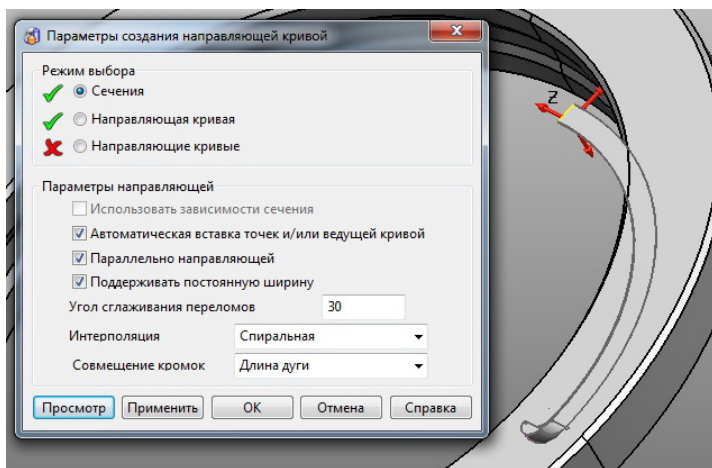




Рис. 3.18. Окно «Параметры создания направляющей кривой»

Здесь из выпадающего меню выбираем спиральную интерполяцию, а также выбираем функции – «Параллельно направляющей» и «Поддерживать постоянную ширину». Активируем «Просмотр» (рис. 3.18) и сохраняем полученный результат.

Теперь сделаем 8 копий по окружности, но перед этим необходимо перейти к первой локальной системе координат. Сделать это можно, выбрав её из выпадающего списка в строке состояния.

Перейдем в рабочую плоскость YZ, выберем построенное тело по сечениям и активируем команду «Создать массив»  в параметрах общего редактирования . В окне «Редактирование массива» перейдем во вкладку «Окружность» и зададим количество элементов – 8 штук (рис. 3.19). Угол будет высчитан автоматически, и на экране будут отражены фантомы создаваемых тел. Сохраним полученный результат.

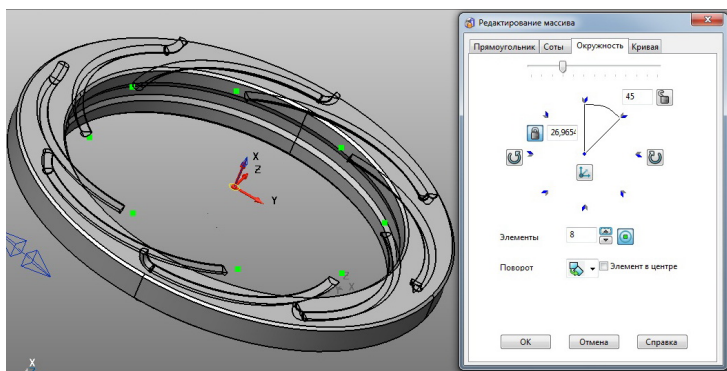



Рис. 3.19. Окно «Редактирование массива»

Так как активным телом является поверхность вращения, то все созданные по сечениям тела вычитаем из активного тела  (рис. 3.20).

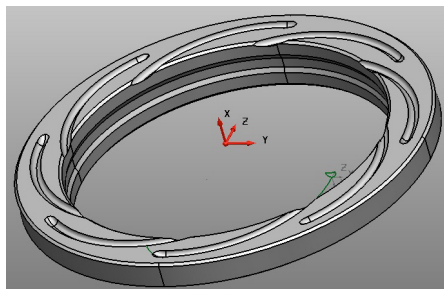






Рис. 3.20. Результат вычитания

Удалим ненужные контуры – «Выбор»  – «Быстрый выбор всех кривых»  – «Удалить» .

Шпоночный паз создадим посредством команды «Создать элемент, карман или выступ»  контекстно-зависимого меню опции «Элемент»  главной панели.

Вводим соответствующие параметры в окне «Карман» и создаем элемент (рис. 3.21).

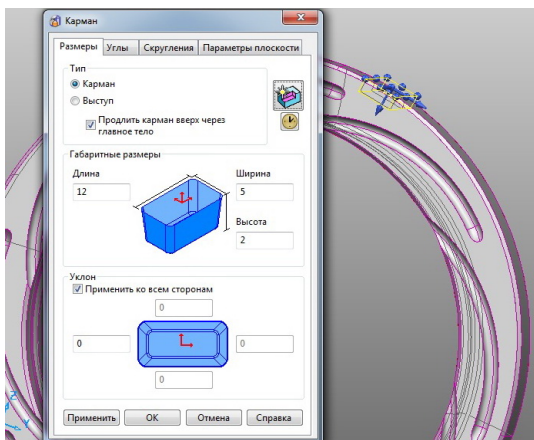


Рис. 3.21. Окно «Карман»

Окончательный вид модели кольца подшипника представлен на рис. 3.22.

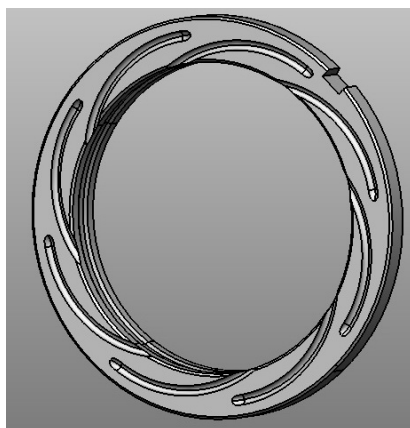


Рис. 3.22. Модель кольца подшипника

*Варианты заданий для самостоятельной работы представлены в прил. 3 (номер своего варианта получить у преподавателя).*

### Требования к отчету

Отчёт должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;



- исходные данные для моделирования согласно индивидуальному заданию;
- описание порядка выполнения с поясняющими рисунками;
- выводы по результатам работы.

При защите работы кроме отчёта преподавателю предъявляется файл модели Delcam (\*.psmodel) с выполненным вариантом индивидуального задания.

### **Контрольные вопросы**

1. Что скрывается за аббревиатурой CSG?
2. Какие основные булевы операции вы знаете?
3. Какие преимущества у представления твердых тел в виде дерева построений?
4. В каких случаях необходимо создавать локальную систему координат?
5. Как воспользоваться встроенным в PowerShape калькулятором?
6. Как сменить декартову систему координат на полярную и в каких случаях это необходимо?
7. Что дает блокировка выбранной активной плоскости?
8. Какие основные приемы создания тел вы использовали при выполнении этой работы?
9. Что выполняет команда «спиральная интерполяция»?
10. Как можно создать шпоночный паз при твердотельном моделировании в PowerShape?

## **Лабораторная работа 4**

### **Методика создания параметрических 3D-моделей на примере подшипников качения**

Работа содержит подход к автоматизированному конструированию однотипных деталей машин, имеющих принципиально (а в некоторых случаях и количественно) одинаковый набор конструктивных элементов, но разные размеры этих элементов. Преимуществом подхода является значительное сокращение времени на геометрическое трехмерное моделирование и последующее оформление конструкторской документации при конструировании объектов с

одинаковой топологией при условии предварительного создания *параметрической* трехмерной модели. Метод имеет преимущество и в том случае, когда требуется быстро изменить один или несколько конструктивных параметров модели при сохранении большинства остальных геометрических характеристик.

Рассматриваются возможности программы «КОМПАС-3D» по построению параметрических моделей деталей и сборочных единиц.

### **Краткие теоретические сведения**

Под *параметрической моделью* здесь и далее понимается геометрическая модель, количественные характеристики которой являются *переменными*. Переменной присваиваются имя и выражение для расчета её значения.

Переменные могут быть *независимыми* и *зависимыми*. В первом случае им присваивается конкретное числовое значение, во втором – выражение с использованием других переменных, как независимых, так и зависимых.

В зависимости от определяемых ими параметров переменные разделяются на три типа. Уровни переменных, используемых в трехмерных моделях, описаны далее.

### *Переменная эскиза*

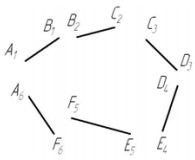

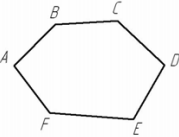

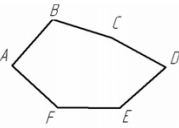

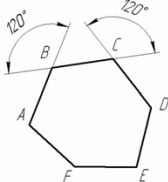

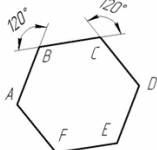

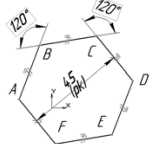
Может ставиться в соответствие значениям линейных, угловых и радиальных размеров, расположенных в эскизе (отрезков, окружностей, расстояний между точками и т. д.). При изменении значения переменной меняется соответствующий размер.

Разберем последовательность шагов при параметризации правильного шестиугольника  $ABCDEF$  с одной независимой переменной  $pk$  «размер под ключ». Его можно задать набором следующих условий:

- 1)  $AB = BC$ , 2)  $BC = CD$ , 3)  $CD = DE$ , 4)  $DE = EF$ , 5)  $EF = FA$ ,
- 6)  $\angle ABC = 120^\circ$ , 7)  $\angle BCD = 120^\circ$ , 8)  $AB // DE$ , 9)  $BC // EF$ , 10)  $CD // FA$ ,
- 11)  $AC = pk$ .

В табл. 2 приведено описание последовательности действий для создания параметризованной фигуры с результатами каждого шага.

Последовательность наложения ограничений

№	Условие	Команда	Результат
0	6 произвольных отрезков	«Отрезок» (могут использоваться «Ломаная» или «Правильный многоугольник»)	
1	$A_1 = A_2, B_1 = B_2,$ $C_1 = C_2, D_1 = D_2,$ $E_1 = E_2, F_1 = F_2$	 «Совпадение точек»	
2	$AB = BC,$ $BC = CD,$ $CD = DE,$ $DE = EF, EF = FA$	 «Равенство длин»	
3	$\angle ABC = 120^\circ,$ $\angle BCD = 120^\circ$	 «Угловой размер»	
4	$AB // DE, BC // EF,$ $CD // FA$	 «Параллельность»	
5	$AC = pk$	 «Линейный размер» («pk» задается в качестве имени переменной)	

### *Внешняя переменная*

Переменная эскиза может быть *внешней* по отношению к эскизу. В этом случае имеется возможность редактировать значение или выражение переменной, не переключаясь в режим редактирования эскиза, т. е. в режиме редактирования *детали*, в которой он находится. В противном случае для редактирования значения переменной необходимо перейти в режим редактирования уже созданного эскиза, в котором находится размер, заданный соответствующей переменной.

Чтобы сделать переменную внешней, нужно при простановке размера в эскизе в поле «Выражение» окна «Установить значение размера» вместо числового значения этого размера вписать имя переменной (рис. 4.1).

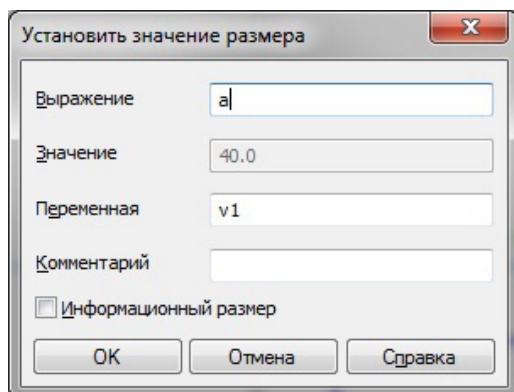


Рис. 4.1. Окно «Установить значение размера»

*Примечание: имя переменной не должно совпадать с именем переменной, устанавливаемой по умолчанию в поле «Переменная».*

В этом случае переменная отображается на первом уровне списка окна переменных, и только теперь её возможно сделать внешней. Для этого требуется правой кнопкой мыши активировать выпадающий список и проставить галочку напротив соответствующей команды (рис. 4.2).

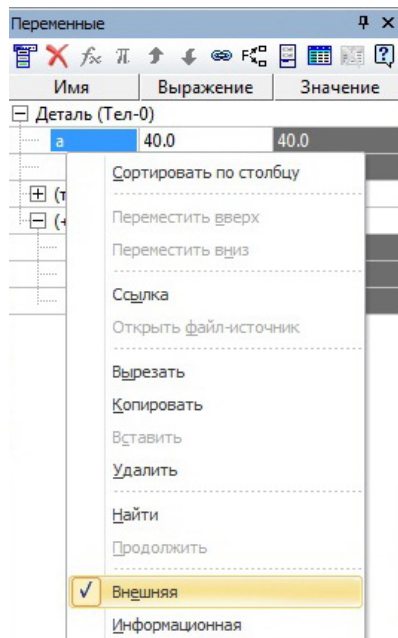


Рис. 4.2. Придание переменной статуса внешней

**Переменная детали** может входить в состав выражения, характеризующего некоторый параметр трехмерной операции (например, длину отверстия, полученного выдавливанием) или внешнюю переменную эскиза. Аналогично переменной эскиза переменная детали может быть зависимой и независимой, внешней по отношению к объекту (детали).

**Переменная сборки** может входить в состав выражения, определяющего внешнюю переменную детали или параметр сопряжения деталей в сборке (расстояния между плоскостями объектов, между элементами массива и др.). Как и ранее рассмотренные переменные разных уровней, может быть зависимой и независимой.

#### **Работа с сопряжениями в «КОМПАС-3D»**

Сопряжение – это параметрическая связь между гранями, ребрами или вершинами разных компонентов сборки. В «КОМПАС-3D» возможно задать сопряжения следующих типов (рис. 4.3):



Рис. 4.3. Сопряжения

Функциональное назначение команд, представленных значками панели сопряжения, слева направо:

- параллельность (параллельность объектов);
- перпендикулярность (перпендикулярность объектов);
- на расстоянии (на заданном расстоянии);
- под углом (под заданным углом);
- касание (касание объектов);
- соосность (соосность объектов);
- совпадение объектов;
- зависимое положение (фиксированное положение зависимого компонента относительно базового);
- симметрия (симметрия объектов относительно плоскости);
- вращение-вращение (сопряжение двух вращающихся компонентов).

Подробные сведения о сопряжениях объектов в сборке даются в справочной системе «КОМПАС-3D» [4].

### **Порядок выполнения работы**

Построим параметрическую модель подшипника качения [5], представленного на рис. 4.4. Подшипник содержит следующие детали: внутреннее и наружное кольца, ролики и сепаратор. Последний может иметь различную форму. В настоящей работе рассмотрим один из возможных вариантов. Внешними переменными модели должны быть наружный диаметр внешнего кольца, внутренний диаметр, ширина подшипника, радиусы галтелей. Работу нужно вести в документе типа «КОМПАС-Сборка» (\*.a3d).

#### ***1. Создадим параметрический эскиз.***

В параметрическом эскизе отображаются в связанном виде все основные детали подшипника, за исключением сепаратора. Эскиз должен быть построен с применением параметризации и иметь набор переменных, часть из которых необходимо сделать внешними.

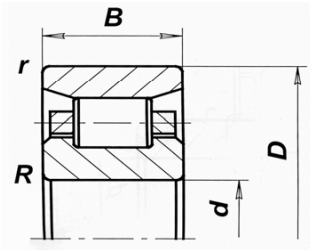


Рис. 4.4. Эскиз подшипника

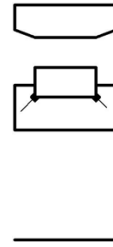


Рис. 4.5. Набросок эскиза

1.1. В одной из координатных плоскостей сборки создадим новый эскиз.

1.2. Построим изображение, аналогичное рис. 4.5.

1.3. Проставим размеры на эскизе и обозначим их соответствующими переменными, как показано на рис. 4.6. Внешними по отношению к эскизу должны быть переменные, отмеченные на рис. 4.7. Остальные параметры следует связать с внешними при помощи *выражений* (рис. 4.7).

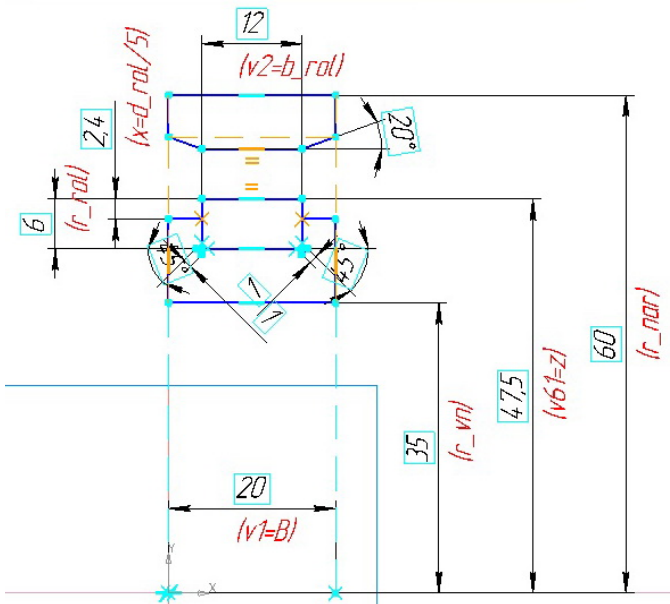


Рис. 4.6. Эскиз с размерами и переменными

Имя	Выражение	Значение
(+ Сборка (Тел-0, Сборочных единиц-0, Детал		
B	20.0	20.0
d_nar	$2*r_{nar}$	120.0
d_vn	$2*r_{vn}$	70.0
b_rol	12.0	12.0
d_rol	$2*r_{rol}$	12.0
z	$(r_{vn}+r_{nar})/2$	47.50
(+ (т)Начало координат		
(+ (+) Ролик		
(+ (+) Кольцо внешнее		
(+ (+) Кольцо внутреннее		
(+ (+) Сепаратор		
(+ Сопряжения		
(!) Эскиз:1		
v8		0.0
r_nar	60.0	60.0
r_rol	6.0	6.0
r_vn	35.0	35.0
v1	B	20.0
v2	b_rol	12.0
v61	z	47.50
x	$d_{rol}/5$	2.40

Рис. 4.7. Переменные эскиза и внешние переменные по отношению к эскизу

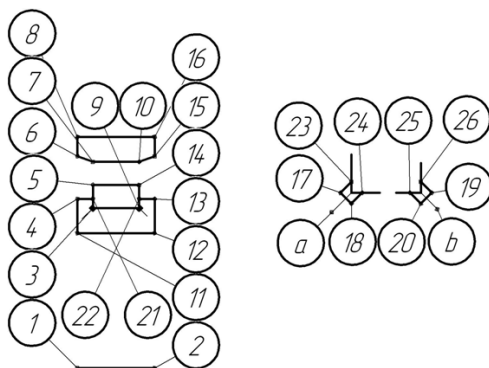









Рис. 4.8. Нумерация элементов эскиза




1.4. Наложим ограничения взаимного расположения на элементы эскиза при помощи панели инструментов «Параметризация». На рис. 4.8 пронумерованы все объекты (отрезки и точки), входящие в эскиз. Точки обозначим номерами, а отрезки – двумя номерами по точкам, через которые отрезок проведен. Набор ограничений, наложенных на объекты, представлен в табл. 3.

Таблица 3

Ограничения, наложенные на объекты эскиза

№ п/п	Ограничения	Объекты
1	 Горизонтальность	8–16, 6–10, 5–14, 4–21, 13–22, 3–9, 11–12
2	 Вертикальность	6–8, 15–16, 4–11, 3–5, 12–13, 9–14
3	 Точка на кривой	21 на 3–5
		22 на 9–14
		23 на 3–5
		26 на 9–14
		24 на 3–9
4	 Выравнивание по вертикали	4 и 6
		13 и 15
		1 и 11
		2 и 12
		5 и 7
5	 Симметрия	17 и 18 относительно $a$
		19 и 20 относительно $b$
6	 Перпендикулярность	17–23 и 17–18
		17–18 и 18–24
		19–20 и 20–25
		19–20 и 19–26
7	 Коллинеарность	4–21 и 13–22

№ п/п	Ограничения	Объекты
8	 Равенство длин	4–21 и 13–22
		6–8 и 15–16
		17–23 и 17–18
		17–18 и 18–24
		20–25 и 19–20
		19–20 и 19–26
		17–18 и 19–20
		3–5 и 7–5 (тонкая)

1.5. Проверим работоспособность параметризованного эскиза путем изменения значений переменных. *Примечание: в случае появления сообщения «Система не имеет решения» необходимо проверить правильность задания ограничений объектов и убедиться, что они не противоречат друг другу.*


1.6. Выйдем из режима редактирования эскиза. Далее необходимо создать переменные сборки, аналогичные соответствующим внешним переменным эскиза; задать равенство переменных эскиза переменным сборки; проверить модель путем изменения значений переменных сборки.


## 2. Построим объемные модели.

Построение заключается в создании на базе параметрического эскиза других связанных эскизов, лежащих в основе базовых деталей подшипника.

### 2.1. Ролик

2.1.1. В той же плоскости, что и параметрический эскиз, создадим новую деталь.

2.1.2. В эскизе создадим проекции соответствующих отрезков (5–14, 5–3, 3–9, 9–14 – рис. 4.8) параметрического эскиза при помощи команды «Спроецировать объект»  панели инструментов «Геометрия». Линия 5–14 должна быть осевой. Результат операции показан на рис. 4.9. *Примечание: в случае изменения элементов исходного эскиза будут автоматически перестраиваться и их проекции, что обеспечит соответствующее изменение деталей, построенных на основе этих проекций.*

2.1.3. Построим тело вращения при помощи команды «Операция вращения»  панели инструментов «Редактирование детали». При построении тела вращения без сквозной внутренней полости следует использовать опцию «Сфероид» и проконтролировать, чтобы не было тонкой стенки.

2.1.4. Построим скругления ребер полученного ролика некоторым радиусом. Результат операций вращения и скругления показан на рис. 4.10.

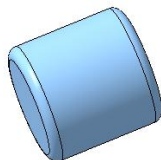


Рис. 4.9. Спроецированный эскиз      Рис. 4.10. Результат создания тела

## 2.2. Кольцо наружное

Действия аналогичны пп. 2.1.1–2.1.4. Результат построений показан на рис. 4.11.

После построения скругления необходимо радиусу присвоить значение переменной сборки  $r$  (см. рис. 4.4). Для этого в окне работы с переменными нужно параметру «радиус» объекта «Скругление» в столбце «Выражение» поставить в соответствие переменную  $r$ . Она должна быть внешней по отношению к детали, с тем чтобы иметь возможность редактирования из сборки, не переходя в режим редактирования детали.

## 2.3. Кольцо внутреннее

Действия аналогичны п. 2.2. Помимо скругления радиусом  $R$  внутреннего диаметра кольца необходимо предусмотреть скругления радиусом 0,2 мм в технологических канавках (поверхности, образованные вращением отрезков 17–18 и 19–20 – рис. 4.8) и фаску на наружном диаметре размером  $1 \times 45^\circ$ . Результат построения представлен на рис. 4.12.

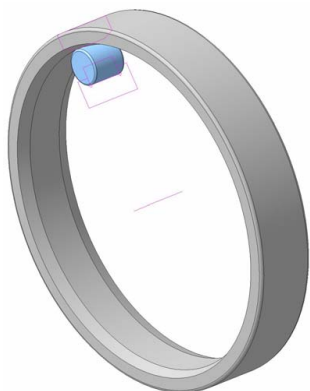


Рис. 4.11. Кольцо наружное

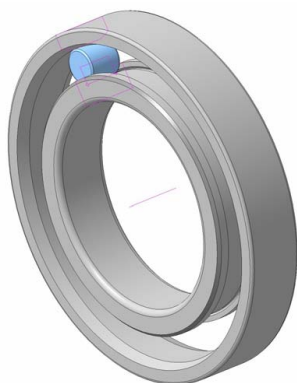


Рис. 4.12. Кольцо внутреннее

## 2.4. Сепаратор

В работе в учебных целях рассмотрим случай, когда сепаратор состоит из двух половин, соединенных между собой заклепками. Построение начинаем с эскиза в средней плоскости подшипника.

2.4.1. «Кольцо» (рис. 4.13). Базовым элементом сепаратора считаем плоское кольцо, имеющее наружный диаметр  $D1$ , внутренний диаметр  $D2$ , толщину  $S$ . Диаметры задаем из условия отсутствия пересечения сепаратора с внутренним и наружным кольцами подшипника. С учетом конструкции колец диаметры  $D1$  и  $D2$  будут определяться по формулам:

$$D1 = \frac{d_{vn} + d_{nar}}{2} + 2 \cdot 0.3 \cdot d_{rol},$$

$$D2 = \frac{d_{vn} + d_{nar}}{2} - 2 \cdot 0.15 \cdot d_{rol},$$

где  $d_{vn}$  – внутренний диаметр подшипника;  $d_{nar}$  – наружный диаметр подшипника;  $d_{rol}$  – диаметр ролика.

*Примечание 1:* для округления до ближайшего целого числа в математическом аппарате программы «КОМПАС-3D» предусмотрена функция  $ROUND(x)$ , где  $x$  – округляемое число. Функция может быть использована в формулах для выражения переменных через другие переменные. Например, в нашем случае выражения для  $D1$  и  $D2$  с учетом округления записываются следующим образом:

$$D1 = \text{ROUND}((d\_vn+d\_nar)/2+.6*d\_rol);$$

$$D2 = \text{ROUND}((d\_vn+d\_nar)/2 -.3*d\_rol).$$

*Примечание 2: D1 и D2 должны быть внешними переменными эскиза, но не детали. Внешними переменными детали должны быть  $d\_vn$ ,  $d\_nar$ ,  $d\_rol$ , видимые на уровне сборки. Напротив, толщина  $S$  присутствует и в детали, и в сборке.*

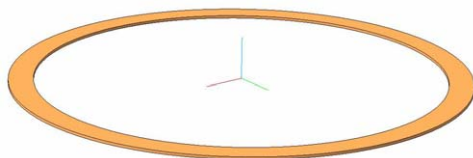


Рис. 4.13. «Кольцо» сепаратора

2.4.2. «Ячейка» (рис. 4.14) – цилиндрический выступ, в который будет помещаться ролик подшипника. Характеризуется высотой, диаметром и расстоянием его центра от центра подшипника.

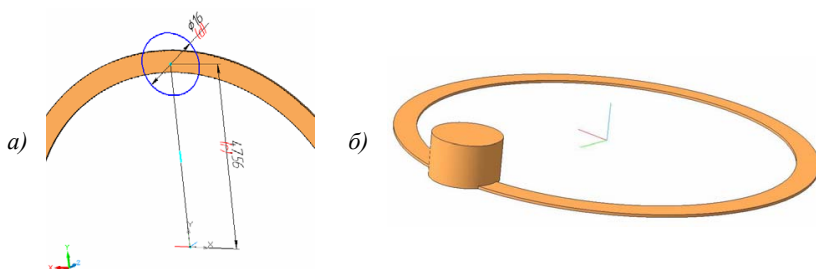


Рис. 4.14. «Ячейка» сепаратора и её эскиз

Высота определяется формулой

$$h = S + b\_rol/2,$$

где  $S$  – толщина листа, из которого изготавливается сепаратор;  
 $b\_rol$  – ширина ролика.

Диаметр «ячейки» зависит от диаметра ролика:

$$d = d\_rol + 2S.$$

Радиус расположения «ячейки» равен параметру  $z$ . *Примечание: при определении размеров ячеек делается допущение о том, что ролик*

находится в ячейке без зазора. В реальных условиях зазор должен обязательно присутствовать и учитываться.

2.4.3. «Гнездо» ролика (рис. 4.15). Представляет собой цилиндрическое углубление в «ячейке», диаметр которого равен диаметру ролика, глубина – половине ширины ролика, и центр которого совпадает с центром «ячейки».

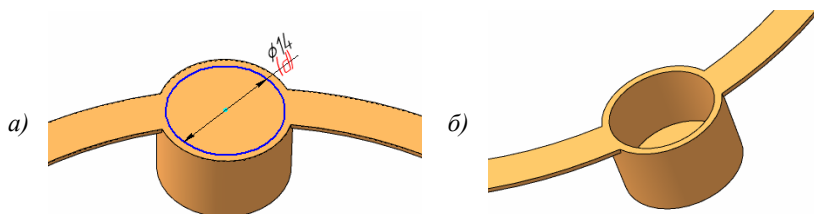


Рис. 4.15. «Гнездо» ролика

2.4.4. Вырезание по внутреннему и наружному диаметру «кольца» сепаратора. Результат операций показан на рис. 4.16.

2.4.5. Скругление ребер. Предполагая, что сепаратор изготавливается методом листовой штамповки, следует избавиться в конструкции от остроугольных кромок, заменив их на скругленные. Радиусы скругления на сепараторе и ролике предполагается взять одинаковыми и равными толщине листа сепаратора  $S$ .

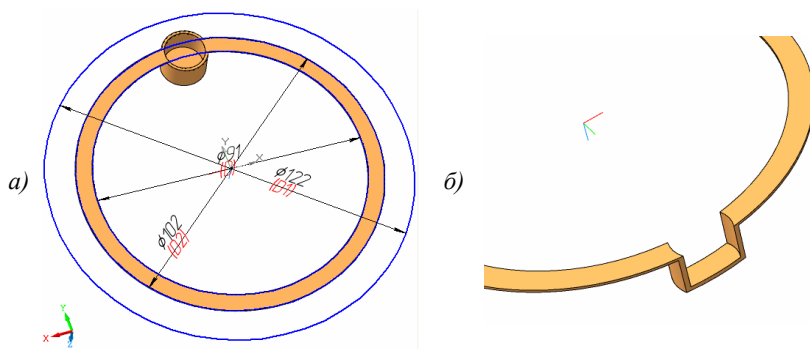


Рис. 4.16. Эскиз и результат операции вырезания

2.4.6. Отверстие под заклепку. Отверстия располагаются на диаметре:

$$D = \frac{D1 + D2}{2}.$$

Угловое расстояние между отверстием и центром ролика относительно центра подшипника определяем, исходя из количества роликов  $N_{rol}$ :

$$a = \frac{360}{2 \cdot N_{rol}}.$$

В данном примере  $N_{rol} = 13$ , отсюда  $\alpha = 13^{\circ}51'$  (рис. 4.17).

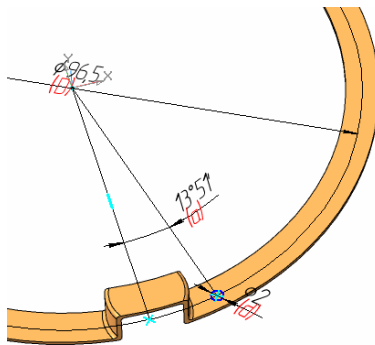


Рис. 4.17. Расположение отверстия

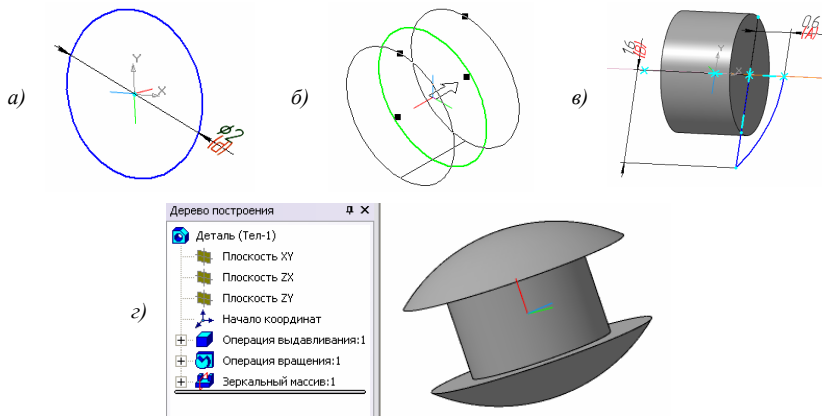
Диаметр заклепки принимаем зависимым от диаметров «кольца» по соотношению

$$d = \frac{D1 - D2}{6}$$

с округлением до ближайшего целого числа.

### 2.5. Заклепка

Построение заклепки начинается в окне сборки созданием новой детали на одной из плоскостей сепаратора. *Примечание: модель может быть построена и в новом файле «КОМПАС-Детали» (\*.t3d), а затем добавлена в сборку (конструирование модели «снизу вверх»).* Изображения, иллюстрирующие процесс моделирования заклепки, приведены на рис. 4.18.



Основные размеры заклепки и формулы их расчета приведены на рис. 4.19. Внешними переменными являются: толщина листа сепаратора  $S$ , внутренний и наружный диаметры подшипника, диаметр ролика.

Имя	1...	Выражение	Зна...	Комментарий
[C] Деталь (Тел-1)				
..... S	[C]	.6	0.60	
..... d	[C]	$\text{ROUND}((\text{ROUND}(D1)-\text{ROUND}(D2))/6)*.8$	1.60	
..... D1	[C]	$(d\_vn+d\_nar)/2+.6*d\_rol$	102.20	
..... D2	[C]	$(d\_vn+d\_nar)/2-.3*d\_rol$	91.40	
..... d_vn	[C]	70	70.0	
..... d_nar	[C]	120	120.0	
..... d_rol	[C]	12	12.0	

Рис. 4.19. Основные размеры заклепки

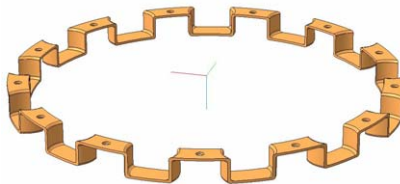



Рис. 4.20. Сепаратор



## 2.6. Доработка сепаратора

Заключается в копировании по окружности элементов, созданных в пп. 2.4.2–2.4.6. Количество копий по окружности параметризовано и соответствует числу роликов  $N_{rol}$ . За базу копирования следует принять ось цилиндрической поверхности сепаратора. Результат операции представлен на рис. 4.20.

## 2.7. Массив роликов и заклепок

Выполняется в сборке при помощи команды «Массив по концентрической сетке»  панели инструментов «Редактирование сборки». Количество копий по окружности также параметризовано и соответствует числу роликов  $N_{rol}$ . За базу копирования в данном случае можно принять цилиндрическую поверхность одного из колец подшипника.

## 2.8. Сопряжения между деталями в сборке

В данном примере используются три вида сопряжений объектов: 1) «на месте»; 2) «совпадение объектов»; 3) «соосность».

Дадим краткую характеристику каждого из этих сопряжений:

1) сопряжение «на месте» создается автоматически при моделировании деталей «сверху вниз», т. е. от сборки к детали. Показывает обуславливающую связь детали с некоторым элементом, присутствующим в сборке до ее появления. В нашем случае при создании деталей на базе плоскости расположения параметрического эскиза формировались сопряжения именно такого характера;

2) «совпадение объектов» ставится вручную при моделировании «снизу вверх», т. е. при составлении сборки из имеющихся деталей. Используется в том случае, когда нужно задать совпадение (контакт) плоских граней объектов между собой или их совпадение с какими-либо координатными плоскостями сборки и другой вспомогательной геометрией. Также может использоваться для характерных точек (вершин) и линий (рёбер), принадлежащих объектам;

3) «соосность» также используется при моделировании «снизу вверх» и ставится в том случае, когда необходимо задать совпадение осей *двух* цилиндрических поверхностей. Для каждой *пары* поверхностей в данном случае необходимо своё сопряжение.

Результат построения модели подшипника представлен на рис. 4.21.

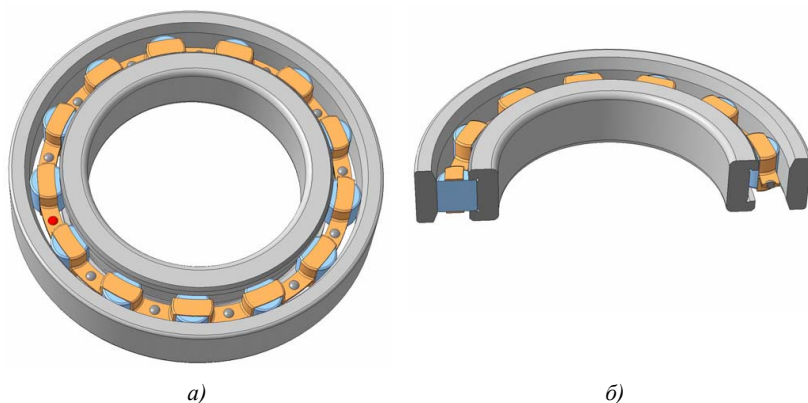


Рис. 4.21. Готовая модель подшипника

*Варианты заданий для самостоятельной работы представлены в прил. 4 (номер своего варианта получить у преподавателя).*

### Требования к отчету

Отчёт должен содержать:

- титульный лист;
- исходные данные (эскиз подшипника с буквенным обозначением размеров – по варианту индивидуального задания);
- изображения твердотельных моделей разнохарактерных деталей;
- изображения твердотельной модели подшипника в сборе;
- комментарии и иллюстрации процесса построения модели.

При защите работы кроме отчёта преподавателю предъявляются файлы «КОМПАС-Деталей» (\*.m3d) и «КОМПАС-Сборки» (\*.a3d) с моделями деталей и подшипника в сборе.

### Контрольные вопросы

1. Что вы понимаете под параметрической моделью?
2. Когда выгодно создавать параметрические модели деталей и сборочных единиц?
3. Охарактеризуйте независимые переменные.
4. Охарактеризуйте зависимые переменные.
5. Переменные эскиза. Назначение.

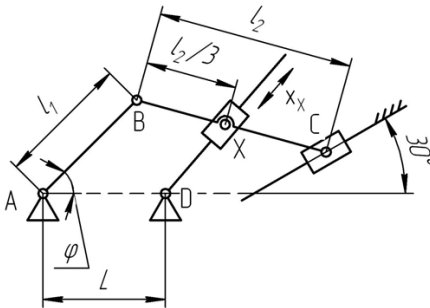
6. Как вы понимаете выражение «внешняя переменная» эскиза?
7. Как сделать переменную эскиза внешней?
8. Как сделать переменную детали внешней?
9. Переменные детали. Назначение.
10. Переменные сборки. Назначение.
11. Что подразумевается под сопряжением в сборке?
12. Какие виды сопряжений вы знаете?
13. Приведите перечень действий, необходимых для моделирования сепаратора.
14. Приведите перечень действий, необходимых для моделирования заклепки сепаратора.
15. Приведите перечень действий, необходимых для моделирования внутреннего кольца.
16. Приведите перечень действий, необходимых для моделирования внешнего кольца.
17. Охарактеризуйте тип сопряжения «на месте».
18. Охарактеризуйте тип сопряжения «совпадение объектов».
19. Охарактеризуйте тип сопряжения «соосность».
20. Какая команда позволяет округлить рассчитанное значение до ближайшего целого числа?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Салабаев, Д.Е. Геометрическое моделирование и автоматизированное конструирование с применением САД-систем : лаб. практикум / Д.Е. Салабаев. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 106 с.
2. Черепашков, А.А. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / А.А. Черепашков, Н.В. Носов. – Волгоград : Ин-Фolio, 2009. – 640 с.
3. Лоцманенко, В.В. Проектирование механизмов и машин : учеб. пособие / В.В. Лоцманенко, Б.Е. Кочегаров. – Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 2002. – 188 с.
4. КОМПАС-3D V16. Руководство пользователя. – ООО «АСКОН – Системы проектирования», 2015.
5. Самарский подшипниковый завод : [Электронный ресурс]. 2016. URL: <http://www.spzgroup.ru>.

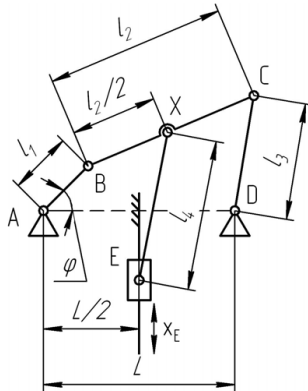
Варианты заданий

Вариант 1



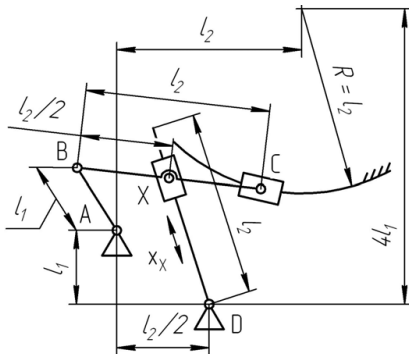
- Дано:  
 $n_{AB} = 60 \text{ об/мин}$   
 $l_1 = 30 \text{ мм}$   
 $l_2 = 100 \text{ мм}$   
 $L = 35 \text{ мм}$
1. Траектория X
  2. max ход X (мм)
  3. max ход C (мм)
  4. График  $x_X(\varphi)$
  5. График  $\frac{dx_X}{dt}(t)$

Вариант 2



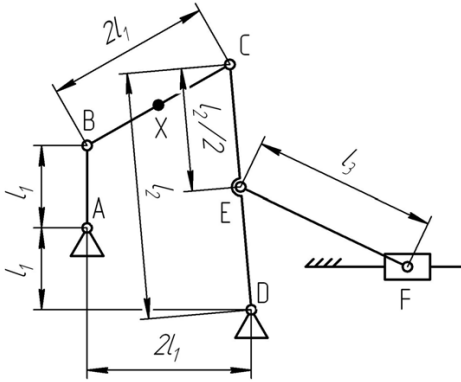
- Дано:  
 $n_{AB} = 50 \text{ об/мин}$   
 $l_1 = 30 \text{ мм}$   
 $l_2 = 100 \text{ мм}$   
 $l_3 = 60 \text{ мм}$   
 $l_4 = 80 \text{ мм}$   
 $L = 100 \text{ мм}$
1. Траектория X
  2. max ход E (мм)
  3. max ход CD (°)
  4. График  $x_E(\varphi)$
  5. График  $\frac{dx_E}{dt}(t)$

Вариант 3



- Дано:  
 $n_{AB} = 200 \text{ об/мин}$   
 $l_1 = 20 \text{ мм}$   
 $l_2 = 50 \text{ мм}$
1. Траектория X
  2. max ход X (мм)
  3. max ход C (°)
  4. График  $x_X(\varphi)$
  5. График  $\frac{dx_X}{dt}(t)$

**Вариант 4**



Дано:

$\omega_{AB} = 300 \text{ об/мин}$

$l_1 = 20 \text{ мм}$

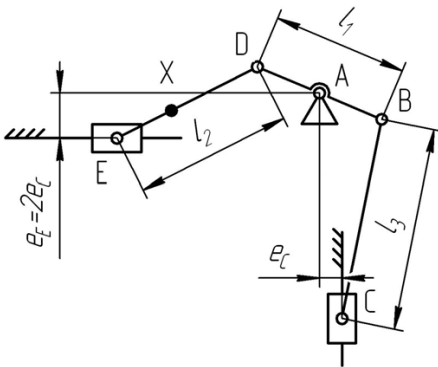
$l_2 = 60 \text{ мм}$

$l_3 = 45 \text{ мм}$

$BX = XC = l_1$

1. Траектория X
2. max ход F (мм)
3. max ход DC (°)
4. График  $x_F(\varphi)$
5. График  $\frac{dx_F}{dt}(t)$

**Вариант 5**



Дано:

$\omega_{BD} = 400 \text{ об/мин}$

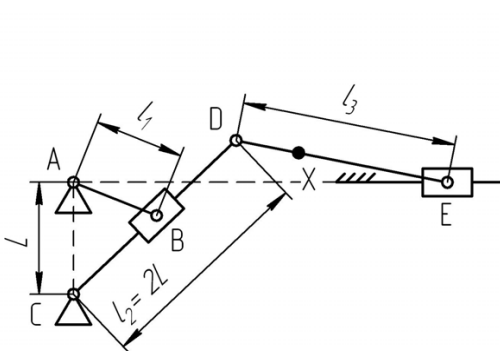
$l_1 = 60 \text{ мм } l_2 = 70 \text{ мм}$

$l_3 = 90 \text{ мм } AD = 30 \text{ мм}$

$e_C = 10 \text{ мм } EX = 25 \text{ мм}$

1. Траектория X
2. max ход E (мм)
3. max ход C (мм)
4. График  $x_E(\varphi)$
5. График  $\frac{dx_E}{dt}(t)$

**Вариант 6**



Дано:

$\omega_{AB} = 250 \text{ об/мин}$

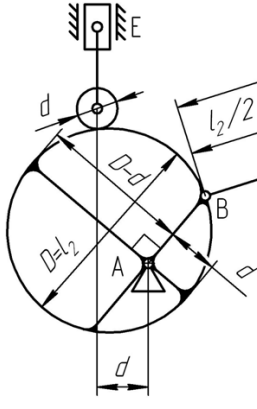
$l_1 = 20 \text{ мм}$

$l_3 = 60 \text{ мм}$

$L = 25 \text{ мм } DX = 20 \text{ мм}$

1. Траектория X
2. max ход E (мм)
3. max ход CD (°)
4. График  $x_E(\varphi)$
5. График  $\frac{dx_E}{dt}(t)$

**Вариант 7**



Дано:

$$\omega_{AB} = 500 \text{ об/мин}$$

$$l_2 = 50 \text{ мм}$$

$$d = 10 \text{ мм}$$

$$l_3 = 60 \text{ мм}$$

$$D = 50 \text{ мм}$$

1. Траектория X

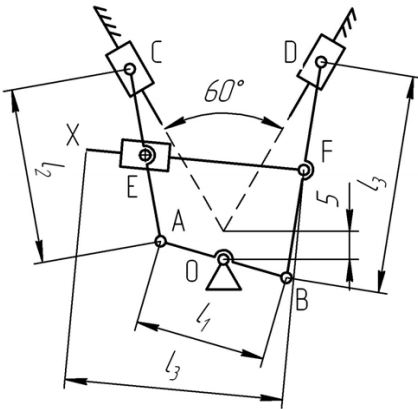
2. max ход E (мм)

3. max ход FC (°)

4. График  $x_E(\varphi)$

5. График  $\frac{dx_E}{dt}(t)$

**Вариант 8**



Дано:

$$\omega_{AB} = 1000 \text{ об/мин}$$

$$l_1 = 30 \text{ мм}$$

$$l_2 = 40 \text{ мм}$$

$$l_3 = 50 \text{ мм}$$

$$AO = OB, AE = EC, BF = FD$$

1. Траектория X

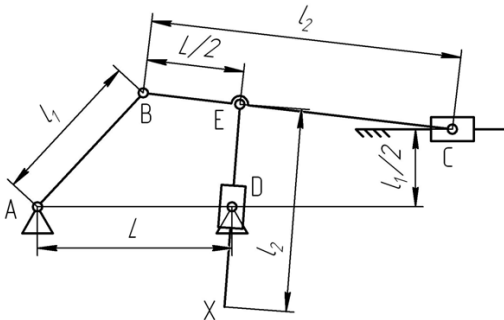
2. max ход C (мм)

3. max ход D (мм)

4. График  $x_D(\varphi)$

5. График  $\frac{dx_D}{dt}(t)$

**Вариант 9**



Дано:

$$\omega_{AB} = 600 \text{ об/мин}$$

$$l_1 = 40 \text{ мм}$$

$$l_2 = 80 \text{ мм}$$

$$L = 50 \text{ мм}$$

1. Траектория X

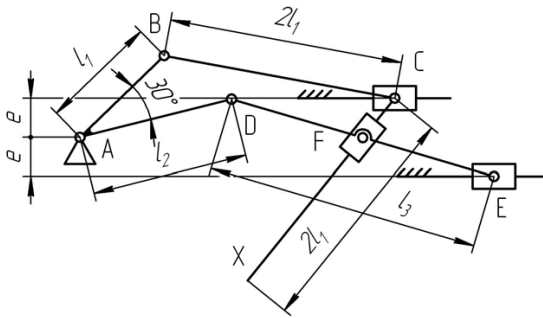
2. max ход EX (°)

3. max ход C (мм)

4. График  $x_C(\varphi)$

5. График  $\frac{dx_C}{dt}(t)$

**Вариант 10**



Дано:

$\omega_{DAB} = 1000 \text{ об/мин}$

$l_1 = 30 \text{ мм}$

$l_2 = 40 \text{ мм}$

$l_3 = 70 \text{ мм}$

$DF = FE, e = 10 \text{ мм}$

1. Траектория X
2. max ход C (мм)
3. max ход E (мм)
4. График  $x_C(\varphi)$
5. График  $\frac{dx_C}{dt}(t)$



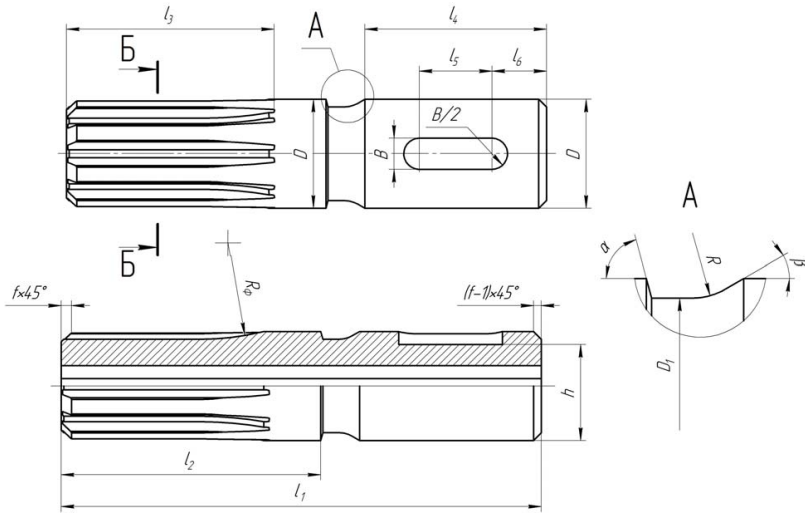


Варианты заданий

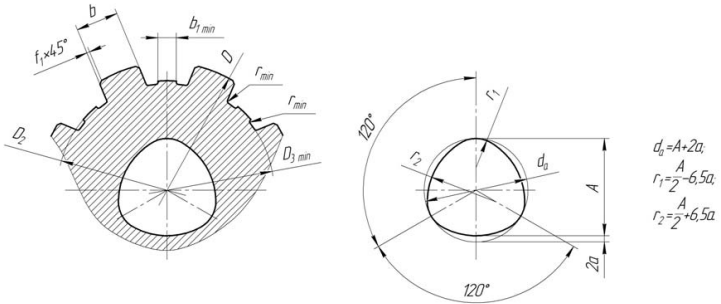
№	l	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	a	a <sub>1</sub>	b	b <sub>1</sub>	c	d	S	R	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>9</sub>	R <sub>10</sub>	R <sub>11</sub>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
1	12					24	19		11	11	9	3,0	17	21	7,0	13		21		1,0			16	20
2	13		140	5,5	3,5	26	20		12	12	10		19	23	8,0	14	6	23	12			17	21	
3	14					28	21		13	13			20	24				24				18	22	
4	15					30	22	14	14	14	11		21	26	9,0	15		26	13			19	23	
5	16			6,0		32	24		15	15	12	4,0	23	27		17		27	14			20	24	
6	16	1,0		6,5	4,0	34	26		16	16	13		24	28	10,0	18	7	28	15			21	25	
7	17					35	27		17	17			25	29				29				22	26	
8	18			7,5	5,0	39	29		18	18	14		27	30	11,0	19		31	16			23	27	
9	20			8,5		45	33	18	21	21	15		28	34	14,0	21	8	34	17			26	29	
10	21		205		6,0	46	34		22	22		5,0	31	35	15,0	22		35	18			27	31	
11	23			9,5		50	38		24	24	16		33	38	16,0	24	9	38	19			29	33	
12	26			10,5		55	41	22	27	27	18		38	41	17,0	26	10	41	20			32	36	
13	28	2,0	260	11,5	8,0	62	46		30	30	19	6,0	42	44	19,0	28	11	44	22			35	39	
14	30			12,5		65	48	28	32	32	20		45	47	21,0	29	12	47	24			37	41	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
15	32		280		9,0	70	51	30	34	34	22		48	50	22,0	31	13	50	25		39	43
16	34			13,5		75	54	32	36	36	23	7,0	50	52		33		52	26		41	45
17	38	2,0	350	15	10,0	85	61	34	41	41	26		55	60	24,0	36	14	60	30	1,0	46	50
18	42					95	68	38	46	46	29		62	65	26,0	40	15	65	32		51	56
19	46		380	17	10,0	102	74	42	50	50	31	8,0	67	72	28,0	43	16	72	36		55	59
20	51	3,0	420	18	12,0	112	81	45	55	55	34	9,0	73	77	32,0	47	18	77	38		60	64

Эскиз вала шлицевого (задание)



Б-Б



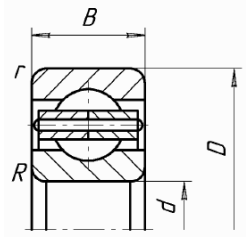
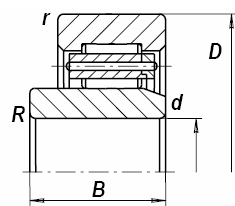
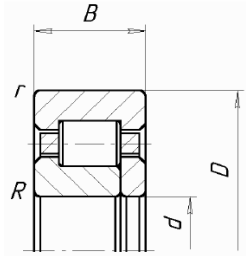
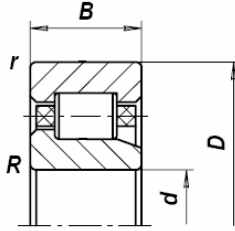
### Варианты заданий

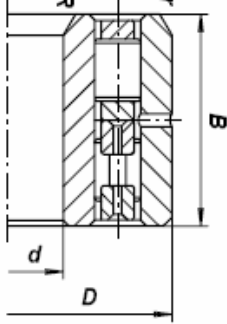
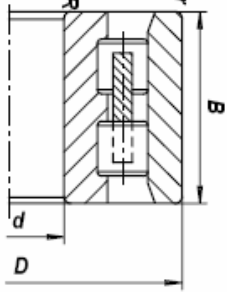
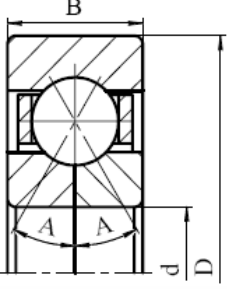
№	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_6$	$D$	$D_1$	$B$	$R$	$\alpha$	$\beta$	$R\phi$	$f$	$h$	$D_2$	$D_3$	$b$	$b_1$	$f_1$	$r_{min}$	$z^*$	$A$	$a$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	80	40	30	30	12	9	14	11	5				85	2	11	11	10	3	–				4	0,15
2	90	45	30	35	20	7,5	16	12	5	10				2	13	13	12	3,5	–				5	0,18
3	100	50	40	35	15	10	20	16	6		60	40		2,5	16,5	16	15	4	–	0,3	0,2		7	0,2
4	115	60	45	40	20	10	22	18	6				90	2,5	18,5	18	17	5	–			6	8	0,22
5	130	65	50	50	30	10	25	20	8	15				2,5	21	21	20	5	2				9	0,25
6	125	65	50	45	20	12	28	24	8				95	3	24	23	22	6	1,5				13	0,4
7	155	75	60	65	25	24	32	27	10					3,5	27	26	24	6	1,7				13	0,4
8	170	85	70	70	28	22	34	28	10	20				3,5	29	28	26	7	1,8				14	0,45
9	180	95	75	70	25	25	38	32	10		75	30	100	4	33	32	30	6	–	0,4	0,3		14	0,45
10	185	100	80	70	28	21	42	36	12					4	37	36	34	7	2				16	0,5
11	195	110	90	70	30	21	48	42	14	25				4	42,5	42	40	8	2,6				20	0,63
12	220	120	100	80	30	25	54	48	16					5	48	46	44	9	–			8	20	0,63
13	265	145	120	100	40	30	60	54	18	30		25		5	53	52	50	10	2,5				22	0,7
14	290	150	125	120	50	30	65	60	18		80		112,5	5,5	58	56	53	10	2,5		0,5		25	0,8
15	280	160	140	100	50	25	72	65	20					6	64,5	62	59	12	2,4				28	0,9

№	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_6$	$D$	$D_1$	$B$	$R$	$\alpha$	$\beta$	$R_\phi$	$f$	$h$	$D_2$	$D_3$	$b$	$b_1$	$f_1$	$r_{min}$	$z^*$	$A$	$a$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
16	310	190	160	100	50	25	82	75	22					6	73	72	69	12	-				32	1,12
17	350	210	180	120	60	30	92	85	25					6	83	82	79	12	3				36	1,25
18	400	225	200	150	70	30	102	95	28	30	80	25	112,5	6	92	92	89	14	4,5	0,5	0,5	10	40	1,4
19	425	250	220	150	70	40	112	105	32					6	101	102	99	16	6,5				45	1,6
20	485	280	250	180	80	45	125	118	32					7,5	114	112	109	18	4,5				50	1,8

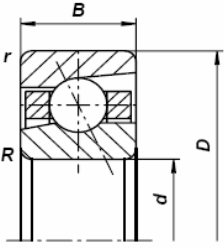
$z$  – количество шлицов

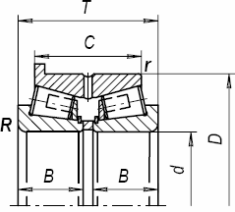
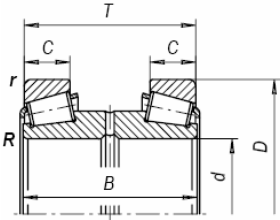
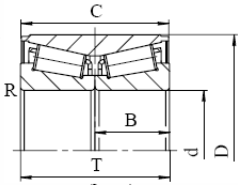
Варианты заданий

№ вар.	Наименование	Эскиз
1	Подшипник шариковый радиальный однорядный	
2	Подшипник роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами без бортов на внутреннем кольце	
3	Подшипник роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами с однобортовым внутренним кольцом и плоским упорным кольцом	
4	Подшипник роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами с однобортовым внутренним кольцом	

№ вар.	Наименование	Эскиз
5	Подшипник роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами двухрядный с безбортовыми наружным и внутренним кольцами с металлическим массивным сепаратором	<p>(повернуто)</p> 
6	Подшипник роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами двухрядный с безбортовым наружным кольцом с металлическим массивным сепаратором	<p>(повернуто)</p> 
7	Подшипник шариковый радиально-упорный однорядный с разъемным внутренним кольцом ( $A = 36^\circ$ )	



№ вар.	Наименование	Эскиз
8	Подшипник роликовый радиально-упорный с коническими роликами однорядный	
9	Подшипник роликовый радиальный сферический двухрядный	
10	Подшипник шариковый радиально-упорный	
11	Подшипник роликовый радиально-упорный с коническими роликами однорядный с упорным бортом на наружном кольце	

№ вар.	Наименование	Эскиз
12	Подшипник роликовый радиально-упорный с коническими роликами двухрядный с упорным бортом на наружном кольце	
13	Подшипник роликовый радиально-упорный с коническими роликами двухрядный с двойным наружным кольцом	
14	Подшипник роликовый радиально-упорный с коническими роликами двухрядный с двойным внутренним кольцом	
15	Подшипник шариковый упорно-радиальный	