

2

1

УДК  
744  
Г 361

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**МОСКОВСКИЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ**  
(технический университет)

**ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ.  
ПАРАМЕТРЫ И РАЗМЕРЫ**

Методические указания



2

1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(Технический университет)

---

Л.Г.Головина, А.О.Горнов, В.Р.Пивоваров, Л.К.Радионова, Е.В.Янина

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ  
ПАРАМЕТРЫ И РАЗМЕРЫ

Методическое пособие  
по курсу  
«Инженерная графика»

Под редакцией А.О.Горнова

УДК

744

Г 361

УДК: 744:69/072/

Утверждено учебным управлением МЭИ

Подготовлено на кафедре инженерной графики

Головина Л.Г., Горнов А.О., Пивоваров В.Р., Радионова Л.К., Янина Е.В.

Геометрические модели. Параметры и размеры: Методические указания по курсу "Инженерная графика" - М.: Изд-во МЭИ, 2001. - 60 с.

В методических указаниях изложены принципы формирования геометрических моделей, определены их структурные составляющие. Рассмотрены некоторые геометрические поверхности, выделены параметры формы и положения. Приведены основные графические правила и способы нанесения размеров на чертежах. Описаны предельные отклонения размеров, определены размеры на чертежах составных изделий.

Методические указания предназначены для студентов младших курсов всех факультетов.

Учебное издание

Люция Газизовна Головина, Александр Олегович Горнов, Виктор Романович Пивоваров, Лидия Кирилловна Радионова, Елена Владимировна Янина

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

ПАРАМЕТРЫ И РАЗМЕРЫ

Методические указания по курсу

«Инженерная графика»

Редактор А.О.Горнов

Редактор издательства Е.Н. Касьянова

ЛР N020528 от.06.97г.

Темплан издания МЭИ 1998(II), метод

Подписано к печати 29.01.99

Формат 60x84/16

Физ.печ.л. 4,0

Тираж 500 Изд. N71

Заказ 344

Издательство МЭИ, 111250, Москва, Красноказарменная, 14

Отпечатано в типографии ЦНИИ "Электроника", 117415, Москва, просп Вернадского, д.39

© Московский энергетический институт, 2001 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Геометрические модели	4
1.1. Общие характеристики	4
1.2. Сплошная геометрическая модель	6
2. Геометрические поверхности и их параметры	7
2.1. Цилиндрическая поверхность	7
2.2. Коническая поверхность	13
2.3. Поверхности вращения	14
2.4. Плоскость	18
2.5. Параметры формы поверхностей	19
3. Поверхностная геометрическая модель и параметры положения	19
4. Каркасные геометрические модели	25
5. Размеры деталей	29
6. Простановка размеров на чертеже	33
6.1. Графические правила нанесения размеров	34
6.2. Условные графические обозначения перед размерными числами	39
6.3. Общие правила нанесения размеров на чертежах	40
6.4. Табличный способ нанесения размеров	44
7. Предельные отклонения размеров	47
8. Простановка размеров на чертежах общего вида и на сборочных чертежах	54
9. Литература	60

## 1. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

### 1.1. Общие характеристики

Фундаментальным методом в науке и технике является моделирование – замена исследуемого или проектируемого объекта – оригинала – моделью, отражающей с некоторой точностью его определенные признаки и свойства.

Оригиналом может быть уже существующий или предполагаемый (проектируемый) объект. Модели могут быть идеальными (мысленными) или материальными, но материальной модели всегда предшествует ее идеальная форма. Материальные модели могут быть разной физической природы, получены разными методами, различным образом отражать исследуемые свойства оригинала.

Распространенными и информативными являются модели, отражающие свойства оригиналов с помощью совокупности геометрических объектов разной размерности: нулевой – с помощью точек, одномерных – с помощью линий, двумерных – с помощью плоских фигур, трехмерных – с помощью объемных форм – геометрических тел и трехмерных поверхностей.

Геометрические модели широко применяются для представляемых качественных и количественных характеристик объектов в экономике, биологии, химии, других сферах и, конечно, технике.

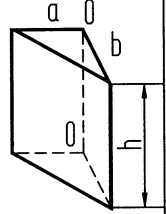
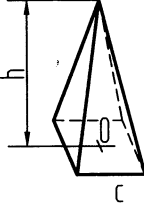
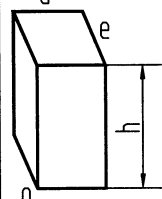
Инженерная графика – дисциплина, которая изучает и использует графические традиционные и компьютерные модели для отображения свойств технических объектов. Одна из главных характеристик технического объекта – его конструкция – связана именно с геометрическими свойствами, которые отображаются наиболее естественно и точно геометрическими и графическими моделями.

Как и оригиналы – технические объекты, так и их геометрические модели, как правило, являются сложными объектами, допускающими деление на составные части (элементы). Совокупность этих элементов с указанием видов связей между ними определяет структуру модели.

Вид геометрической и графической модели зависит от ее назначения и сложности, что отражается в выборе типа и количества структурных составляющих.

Однородными по составляющим геометрические модели могут быть:

– сплошными, – состоящими из сплошных элементарных однородных геометрических тел, ограниченных совокупностью поверхностей;

Базовые элементы формы			
Наименование	ПРИЗМА	ПИРАМИДА	БРУС
Параметры	$a, b, h$	$c, h$	$d, e, h$

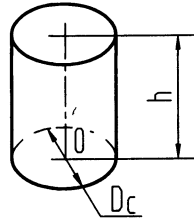
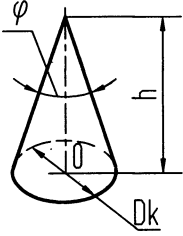
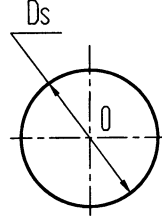
		
ЦИЛИНДР	КОНУС	СФЕРА
$D_c, h$	$D_k, h(\varphi)$	$D_s$

Рис.1.1

- поверхностными, - состоящие из элементарных геометрических поверхностей или когда отдельные поверхности, ограничивающие тела, являются структурными составляющими модели;

- каркасными - представляющими геометрические свойства объекта - оригинала множеством упорядоченных линий или точек или когда отдельные линии и точки на поверхности являются структурными составляющими.

Вне зависимости от геометрических свойств оригинала, вида структурных составляющих и цели формирования геометрической модели, она и ее графическая модель должны удовлетворять типовым требованиям:

- отображать форму оригинала с заданной точностью;
- допускать декомпозицию на элементарные составляющие;
- допускать параметризацию, т.е. указание определенной совокупности параметров и их численных мер, фиксирующих протяженность объекта в пространстве;
- сохранять свою форму вне зависимости от положения в пространстве;
- обеспечивать возможность формирования моделей высшего порядка из моделей низшего порядка.

Основными укрупненными структурными составляющими геометрических моделей 3 - мерных технических объектов вне зависимости от их вида (сплошные, поверхностные, каркасные) являются так называемые базовые элементы формы (БЭФ): призмы, пирамиды, сферы, цилиндры, конусы, торы.

Сравнивая виды геометрических моделей, необходимо отметить, что наиболее универсальный характер имеет сплошная геометрическая модель, так как может быть представлена другими видами моделей.

## 1.2. Сплошная геометрическая модель

Итак, при описании неэлементарной сплошной однородной геометрической модели в качестве структурных составляющих принимаются геометрические тела фиксированной формы, которые называются базовыми элементами формы. Простейшими базовыми элементами являются известные элементарные геометрические тела, но список разнообразных по форме базовых элементов может быть расширен. Идентифицирующие форму (геометрические свойства) имена и метрические характеристики (параметры) некоторых простейших базовых элементов представлены на рис. 1.1.

На рис. 1.1 параметры указаны символическими именами - обозначенными буквами. На самом деле геометрические параметры - это всегда численные меры, выделяющие единственный объект из подобных ему по форме. Поэтому, если

параметрически выделяется какой-либо базовый элемент формы из рис. 1, то каждый параметр должен иметь численную меру, например сфера  $D_s = 100$  мм.

Описание геометрической модели оригинала включает:

- список идентифицированных уникальными именами базовых элементов формы, входящих в состав геометрической модели (например: сфера, цилиндр, конус);
- определение множества параметров формы для каждого базового элемента;
- список параметров положения и описание геометрических условий для каждого базового элемента;
- список связей (взаимных отношений) между базовыми элементами формы, которые реализуются, например, операциями теории множества с указанием последовательности выполнения этих операций.

Структурные составляющие поверхностной и каркасной геометрических моделей описаны в разделах 3 - 4.

## 2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ ПАРАМЕТРЫ

Поверхность определяется как непрерывное множество точек, координаты которых могут быть заданы каким-либо способом, в частности - алгебраическими или трансцендентными уравнениями. При этом точкам поверхности предписывается определенный закон расположения в пространстве, и такая поверхность приобретает определенные геометрические свойства. Эти свойства должны быть постоянными и не зависеть от ориентации и перемещения поверхности в пространстве. Уравнение геометрической поверхности - это аналитическое описание ее геометрических свойств.

Геометрическим поверхностям, образование которых можно описать некоторым алгоритмом, и которые благодаря своим свойствам наиболее широко используются при моделировании функциональных поверхностей различных объектов естественной природы и техники, присвоены идентифицирующие их имена.

### 2.1. Цилиндрическая поверхность

Цилиндрическая поверхность может выступать как основная составляющая модели какой-либо простой детали или как одна из структурных составляющих модели сложной детали.

## 1. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

### 1.1. Общие характеристики

Фундаментальным методом в науке и технике является моделирование – замена исследуемого или проектируемого объекта – оригинала – моделью, отражающей с некоторой точностью его определенные признаки и свойства.

Оригиналом может быть уже существующий или предполагаемый (проектируемый) объект. Модели могут быть идеальными (мысленными) или материальными, но материальной модели всегда предшествует ее идеальная форма. Материальные модели могут быть разной физической природы, получены разными методами, различным образом отражать исследуемые свойства оригинала.

Распространенными и информативными являются модели, отражающие свойства оригиналов с помощью совокупности геометрических объектов разной размерности: нулевой – с помощью точек, одномерных – с помощью линий, двумерных – с помощью плоских фигур, трехмерных – с помощью объемных форм – геометрических тел и трехмерных поверхностей.

Геометрические модели широко применяются для представляемых качественных и количественных характеристик объектов в экономике, биологии, химии, других сферах и, конечно, технике.

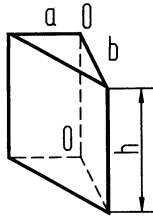
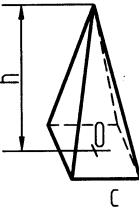
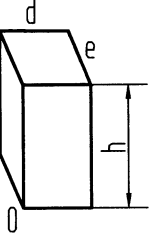
Инженерная графика – дисциплина, которая изучает и использует графические традиционные и компьютерные модели для отображения свойств технических объектов. Одна из главных характеристик технического объекта – его конструкция – связана именно с геометрическими свойствами, которые отображаются наиболее естественно и точно геометрическими и графическими моделями.

Как и оригиналы – технические объекты, так и их геометрические модели, как правило, являются сложными объектами, допускающими деление на составные части (элементы). Совокупность этих элементов с указанием видов связей между ними определяет структуру модели.

Вид геометрической и графической модели зависит от ее назначения и сложности, что отражается в выборе типа и количества структурных составляющих.

Однородными по составляющим геометрические модели могут быть:

– сплошными, – состоящими из сплошных элементарных однородных геометрических тел, ограниченных совокупностью поверхностей;

Базовые элементы формы			
Наименование	ПРИЗМА	ПИРАМИДА	БРУС
Параметры	$a, b, h$	$c, h$	$d, e, h$

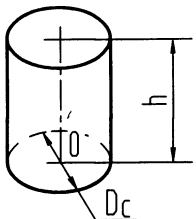
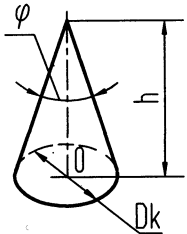
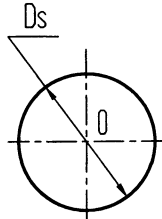
		
ЦИЛИНДР	КОНУС	СФЕРА
$D_c, h$	$D_k, h (\varphi)$	$D_s$

Рис.1.1

- поверхностными, - состоящие из элементарных геометрических поверхностей или когда отдельные поверхности, ограничивающие тела, являются структурными составляющими модели;

- каркасными - представляющими геометрические свойства объекта - оригинала множеством упорядоченных линий или точек или когда отдельные линии и точки на поверхности являются структурными составляющими.

Вне зависимости от геометрических свойств оригинала, вида структурных составляющих и цели формирования геометрической модели, она и ее графическая модель должны удовлетворять типовым требованиям:

- отображать форму оригинала с заданной точностью;
- допускать декомпозицию на элементарные составляющие;
- допускать параметризацию, т.е. указание определенной совокупности параметров и их численных мер, фиксирующих протяженность объекта в пространстве;
- сохранять свою форму вне зависимости от положения в пространстве;
- обеспечивать возможность формирования моделей высшего порядка из моделей низшего порядка.

Основными укрупненными структурными составляющими геометрических моделей 3 - мерных технических объектов вне зависимости от их вида (сплошные, поверхностные, каркасные) являются так называемые базовые элементы формы (БЭФ): призмы, пирамиды, сферы, цилиндры, конусы, торы.

Сравнивая виды геометрических моделей, необходимо отметить, что наиболее универсальный характер имеет сплошная геометрическая модель, так как может быть представлена другими видами моделей.

### 1.2. Сплошная геометрическая модель

Итак, при описании неэлементарной сплошной однородной геометрической модели в качестве структурных составляющих принимаются геометрические тела фиксированной формы, которые называются базовыми элементами формы. Простейшими базовыми элементами являются известные элементарные геометрические тела, но список разнообразных по форме базовых элементов может быть расширен. Идентифицирующие форму (геометрические свойства) имена и метрические характеристики (параметры) некоторых простейших базовых элементов представлены на рис. 1.1.

На рис. 1.1 параметры указаны символическими именами - обозначенными буквами. На самом деле геометрические параметры - это всегда численные меры, выделяющие единственный объект из подобных ему по форме. Поэтому, если

параметрически выделяется какой-либо базовый элемент формы из рис. 1, то каждый параметр должен иметь численную меру, например сфера  $D_s = 100$  мм.

Описание геометрической модели оригинала включает:

- список идентифицированных уникальными именами базовых элементов формы, входящих в состав геометрической модели (например: сфера, цилиндр, конус);
- определение множества параметров формы для каждого базового элемента;
- список параметров положения и описание геометрических условий для каждого базового элемента;
- список связей (взаимных отношений) между базовыми элементами формы, которые реализуются, например, операциями теории множества с указанием последовательности выполнения этих операций.

Структурные составляющие поверхностной и каркасной геометрических моделей описаны в разделах 3 - 4.

## 2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ ПАРАМЕТРЫ

Поверхность определяется как непрерывное множество точек, координаты которых могут быть заданы каким-либо способом, в частности - алгебраическими или трансцендентными уравнениями. При этом точкам поверхности предписывается определенный закон расположения в пространстве, и такая поверхность приобретает определенные геометрические свойства. Эти свойства должны быть постоянными и не зависеть от ориентации и перемещения поверхности в пространстве. Уравнение геометрической поверхности - это аналитическое описание ее геометрических свойств.

Геометрическим поверхностям, образование которых можно описать некоторым алгоритмом, и которые благодаря своим свойствам наиболее широко используются при моделировании функциональных поверхностей различных объектов естественной природы и техники, присвоены идентифицирующие их имена.

### 2.1. Цилиндрическая поверхность

Цилиндрическая поверхность может выступать как основная составляющая модели какой-либо простой детали или как одна из структурных составляющих модели сложной детали.

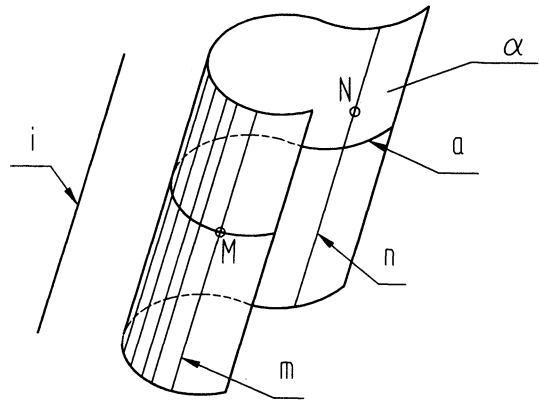


Рис.2.1

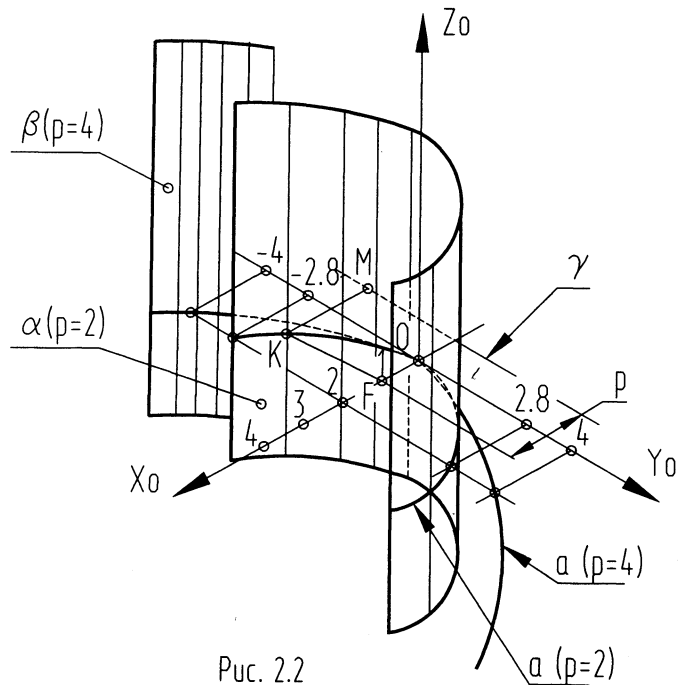


Рис. 2.2

В общем случае цилиндрической называется поверхность, любая точка которой принадлежит прямой, параллельной другой заданной прямой. На рис. 2.1 произвольные точки  $M$  и  $N$  поверхности  $\alpha$  принадлежат прямым  $m$  и  $n$ , параллельным прямой  $i$ . Очевидно возможно и другое определение цилиндрической поверхности – как непрерывное множество взаимно параллельных линий. Эти прямые называются образующими цилиндрической поверхности. Всякая линия, которую пересекают все образующие, может рассматриваться как их направляющая. На рис. 2.1 направляющей, например, может быть линия  $a$ , как и любая другая, пересекающая все образующие. Взаимное положение образующих и направляющей задается графически, аналитической зависимостью или другим условием. Цилиндрическая поверхность бесконечна. Часть геометрической поверхности, ограниченная какими-либо линиями, ей принадлежащими, обладающая всеми ее свойствами, называется отрезком этой поверхности, т.е. на рис. 2.1 представлен отсек цилиндрической поверхности.

Дополнение геометрических условий к общему определению позволяет использовать в моделях различные модификации цилиндрической поверхности. Чаще всего такое условие задается формой направляющей и положением по отношению к ней образующих. На рис. 2.2 изображен отсек цилиндрической поверхности  $\alpha$ , для которой направляющей является парабола  $a$ . Взаимное расположение образующих и направляющей определено условием, что образующие ортогональны к плоскости параболы. Такая поверхность называется прямой параболической поверхностью. На рис. 2.2  $F$  – фокус параболы,  $\gamma$  – директриса,  $p$  – расстояние от фокуса до директрисы,  $O$  – вершина параболы.

Основное свойство направляющей параболы заключается в том, что расстояния от любой ее точки до фокуса и директрисы одинаковы, например на рис. 2.2

$$FK = KM.$$

Если с плоскостью параболы совместить координатную плоскость, как показано на рис. 2.2, то ее точки удовлетворяют уравнению

$$y_0^2 = 2px_0$$

Для параболической поверхности, изображенной на рис. 2.2, каждой паре значений  $x_0$  и  $y_0$  соответствует определенное значение  $z_0$  в пределах

$$-\infty < z_0 < \infty.$$



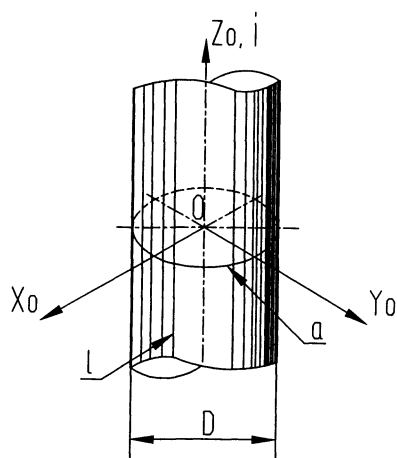


Рис.2.3

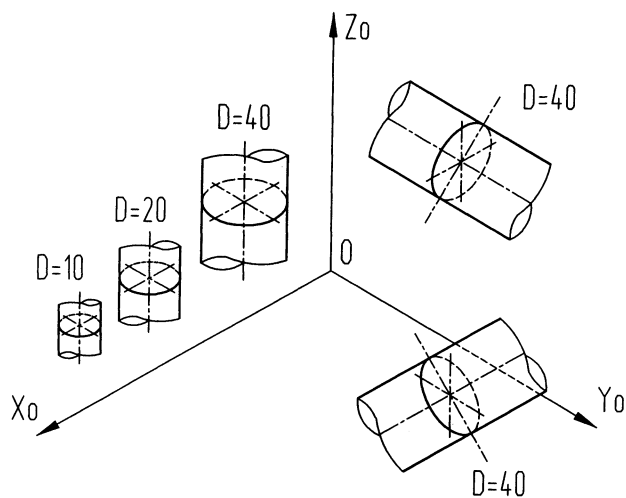


Рис. 2.4

В отличие от переменных  $x_0, y_0, z_0$  величина  $p$  для данной параболической поверхности постоянна и является ее параметром. Действительно, если параболическая поверхность  $\alpha$  сформирована при  $p=2$ , то для ее точки с координатами  $x_0=2, z_0=0$  координата  $y_0$  равняется  $\pm 2,8$ . Для поверхности  $\beta$ , построенной при  $p=4$ , аналогичная точка будет иметь координату  $y_0 = \pm 4$  (рис.2.2). С увеличением параметра  $p$  параболическая поверхность как бы расширяется, но сохраняет свои геометрические свойства - любая точка на ее поверхности по-прежнему располагается на одинаковом расстоянии от двух прямых, расположенных на расстоянии  $p$  друг от друга, причем одна из них проходит через фокус параболы.

Функциональной и технологической спецификой определяется наибольшее распространение прямой круговой цилиндрической поверхности, сформированной при условии, что ее направляющей  $a$  является окружность диаметром  $D$ , а образующие  $l$  ортогональны к плоскости окружности (рис. 2.3). Таким образом, круговая цилиндрическая поверхность обладает еще одним геометрическим свойством - любая ее точка находится на одинаковом расстоянии  $D/2$  от заданной прямой  $i$ . Можно представить, что прямая круговая цилиндрическая поверхность может быть сформирована вращением образующей  $l$  вокруг прямой  $i$ , поэтому прямую  $i$  называют осью вращения.

Множеству значений  $D$  соответствует множество цилиндрических поверхностей с одинаковыми геометрическими свойствами. Образование цилиндрической поверхности, в частности, круговой, может рассматриваться как поступательное движение окружности, плоскость которой перпендикулярна оси, проходящей через ее центр. На рис. 2.4 показаны отсеки цилиндрических поверхностей при  $D=10, 20$  и  $40$  мм. Численные значения диаметра  $D$  отличают круговые цилиндрические поверхности друг от друга.

Уравнение прямой круговой цилиндрической поверхности, расположенной в координатном пространстве  $X_0Y_0Z_0$  так, как показано на рис. 2.3

$$x_0^2 + y_0^2 = D^2/4,$$

для всех  $-\infty \leq z_0 \leq \infty$ .

Как и в предыдущем случае, отсутствие координаты  $z_0$  в основном уравнении означает, что образующие поверхности параллельны оси  $Z_0$  и бесконечны в пространстве.

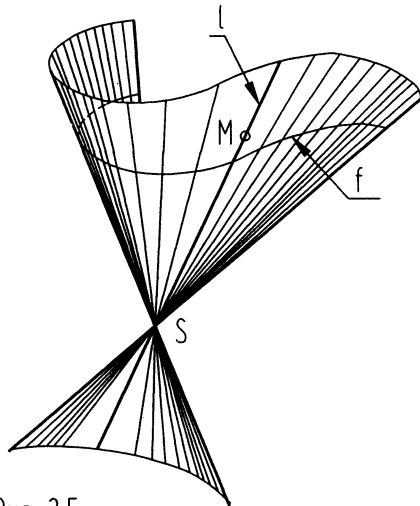


Рис. 2.5

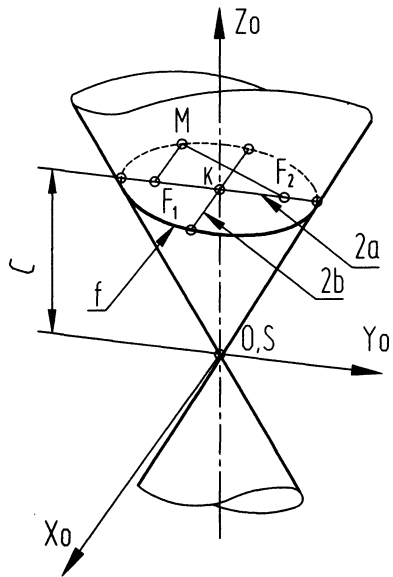


Рис. 2.6

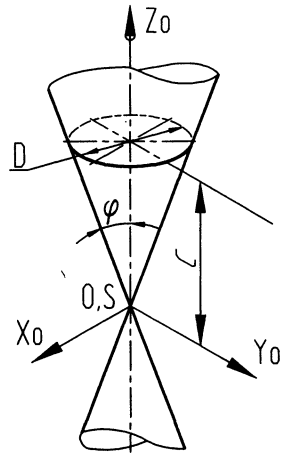


Рис. 2.7

## 2.2. Коническая поверхность

Множество монолитных деталей и оболочек имеют главную составляющую в виде конической поверхности.

В общем случае коническая поверхность формируется согласно геометрическому условию, при котором каждая ее точка ( $M$ ) должна лежать на прямой ( $l$ ), проходящий через заданную в пространстве неподвижную точку  $S$  (рис.2.5). Точка  $S$  называется вершиной, прямая  $l$  - образующей. Множество образующих составляет коническую поверхность, расположенную симметрично относительно вершины  $S$ .

Всякая, не проходящая через вершину  $S$  линия, которая пересекает все образующие, называется направляющей. Положение образующих определяется условием их касания этой линии. На рис. 2.5 это может быть линия  $f$ .

Модификации конической поверхности определяются формой и ориентацией направляющей относительно ее вершины. На рис. 2.6 изображена коническая поверхность, за направляющую  $f$  которой принят эллипс с осями  $2a$  и  $2b$ .  $F_1$  и  $F_2$  - фокусы эллипса. Плоскость эллипса ортогональна к прямой, проходящей через вершину  $S$  и центр эллипса  $K$  и расположена на расстоянии  $c$  от вершины. Такая коническая поверхность называется эллиптической.

Согласно фокальному свойству, эллиптическая коническая поверхность является геометрическим местом точек, сумма расстояний которых до фокусов эллипса, проходящего через рассматриваемую точку, есть величина постоянная и равняется большой оси эллипса. Например, для точки  $M$ :

$$MF_1 + MF_2 = 2a.$$

Изменяя в совокупности или по отдельности численные значения величин  $a$ ,  $b$ , и  $c$ , можно построить множество конических поверхностей с одинаковыми свойствами, но различными значениями параметров. Таким образом, эллиптическая коническая поверхность определяется тремя геометрическими характеристиками:  $a$  - большая ось эллипса,  $b$  - малая ось,  $c$  - расстояние от плоскости эллипса до вершины  $S$ .

Если вершина  $S$  совпадает с началом координат  $O$ , а отрезок  $c$  направлен по оси  $Z_0$ , то уравнение эллиптической конической поверхности запишется следующим образом:

$$\frac{x_0^2}{a^2} + \frac{y_0^2}{b^2} - \frac{z_0^2}{c^2} = 0.$$

При  $a = b = D/2$  направляющая из эллипса обращается в окружность, а эллиптическая коническая поверхность превращается в круговую коническую поверхность (рис. 2.7), которая описывается уравнением

$$\frac{x_0^2}{(D/2)^2} + \frac{y_0^2}{(D/2)^2} - \frac{z_0^2}{c^2} = 0.$$

Число параметров сокращается до двух - диаметр окружности  $D$  и расстояние  $c$ .

В ряде моделей конической поверхности удобно от параметров  $D$  и  $c$  перейти к единой метрической характеристике - углу полураствора конической поверхности  $\varphi$  (рис. 2.7):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{D}{2c}.$$

Тогда

$$x_0^2 + y_0^2 = z_0^2 \operatorname{tg}^2 \varphi,$$

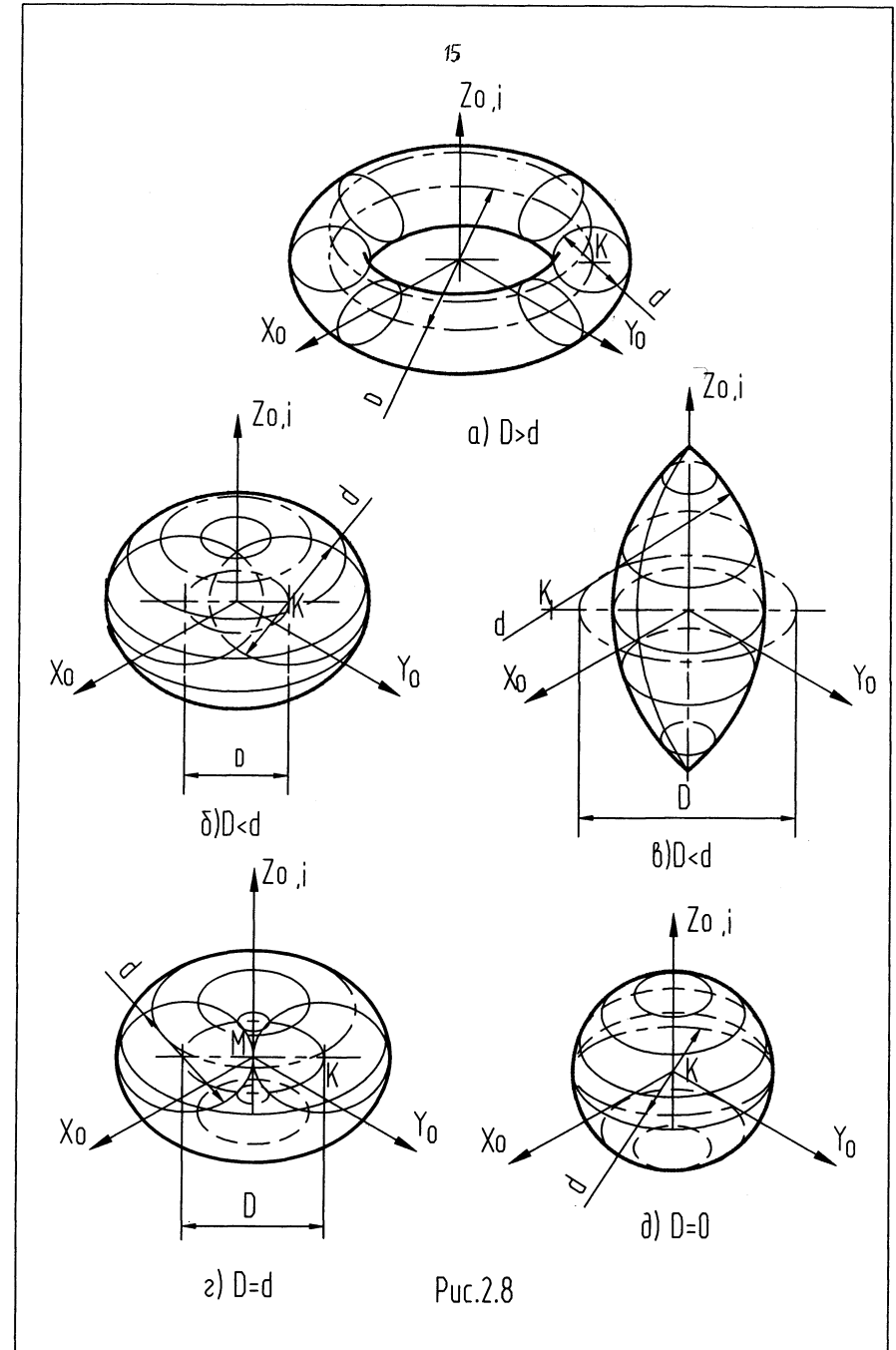
и коническая поверхность может быть сформирована вращением образующей  $l$  вокруг оси  $i$  при постоянном значении параметра - угла  $\varphi$ .

### 2.3. Поверхности вращения

Выделим и отдельно рассмотрим поверхности, образующие форму большого числа деталей, совершающих в процессе работы вращательные движения или при изготовлении которых предполагается их вращение.

Поверхности, сформированные вращением образующей постоянной формы вокруг неподвижной в пространстве оси, называются поверхностями вращения. Основное геометрическое свойство поверхности вращения - любая ее точка лежит на окружности, плоскость которой ортогональна к оси вращения. Рассмотренные ранее частные случаи цилиндрической и конической поверхностей, - круговая цилиндрическая и круговая коническая поверхности, - также являются поверхностями вращения.

Форма поверхности вращения зависит от формы образующей и положения ее относительно оси вращения. Поверхности вращения могут быть бесконечными



(круговые цилиндрическая или коническая поверхности) или замкнутыми, ограничивающими некоторый объем пространства.

К таким поверхностям вращения относятся торовые поверхности, сформированные вращением окружности вокруг неподвижной в пространстве оси, расположенной параллельно плоскости окружности.

Модификации торовых поверхностей представлены на рис. 2.8. Центр  $K$  образующей окружности диаметром  $d$  вращается по направляющей окружности диаметром  $D$  вокруг оси  $i$ . Множество последовательных положений образующей формирует поверхность. Форма поверхности зависит от отношения параметров  $d$  и  $D$ . Если  $D > d$ , то получается кольцевая торовая поверхность (рис. 2.8 а). Если  $D < d$ , то образующие в области оси  $i$  пересекаются, формируя дополнительно внутреннюю «мнимую» поверхность. При рассмотрении яблоковидной торовой поверхности (рис. 2.8 б) она обычно игнорируется, но может быть представлена как самостоятельная поверхность, которая обычно называется самопересекающейся торовой поверхностью (рис. 2.8 в). При  $D = d$  образующая окружность в любом промежуточном положении имеет точку касания на оси  $i$  (точка  $M$  на рис. 2.8 г). Если  $D = 0$ , то образуется поверхность, для которой любая ее точка отстоит на равном расстоянии  $d/2$  от заданной точки  $K$  (рис. 2.8 д). Благодаря своим свойствам такая частная форма торовой поверхности получила собственное имя – сферическая поверхность.

Диаметр  $d$  образующей и диаметр  $D$  направляющей, по которой перемещается центр  $K$  образующей окружности, являются параметрами торовых поверхностей, численные значения которых различают конкретные торовые поверхности. В отличие от ранее рассмотренных поверхностей, они не влияют на форму торовых поверхностей только в определенных диапазонах взаимного соотношения. Однако все пять рассмотренных модификаций формы тора обладают общими геометрическими свойствами поверхностей вращения.

При положении кольцевой торовой поверхности в координатном пространстве так, как это представлено на рис. 2.8 а, любая точка на ее поверхности удовлетворяет уравнению

$$x_0^2 + y_0^2 = \left( \frac{D}{2} \pm \sqrt{\frac{d^2}{4} - z_0^2} \right)^2,$$

где знак «+» относится к части поверхности, внешней от оси  $i$ , а знак «-» к внутренней.

При  $D = 0$  уравнение описывает сферическую поверхность:

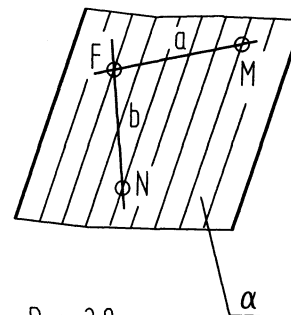


Рис. 2.9

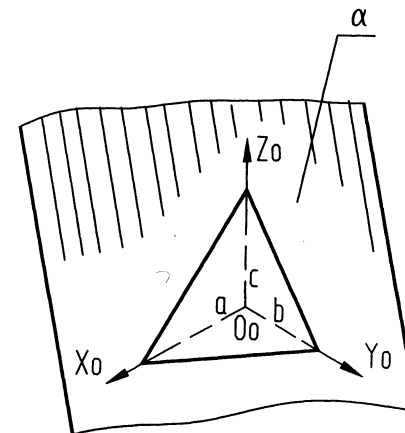


Рис. 2.10

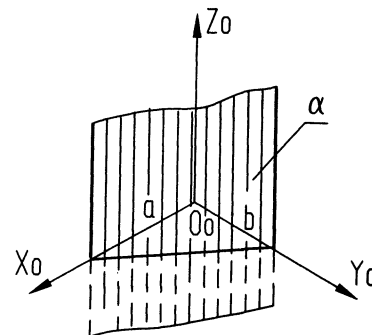


Рис. 2.11

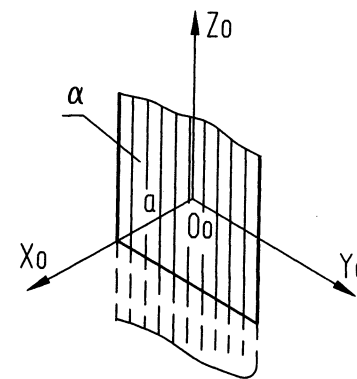


Рис. 2.12

$$x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 = \frac{d^2}{4}.$$

#### 2.4. Плоскость

Геометрическое свойство плоскости заключается в том, что прямая, проходящая через любые две произвольные точки плоскости, "принадлежит" этой плоскости. На рис. 2.9 представлен отсек плоскости  $\alpha$ , ограниченный произвольными линиями. Если прямые  $a$  и  $b$  принадлежат плоскости  $\alpha$ , то точка  $F$  их пересечения также принадлежит плоскости  $\alpha$  и, естественно, обеим пересекающимся прямым. Для уточнения положения прямых  $a$  и  $b$  достаточно задать по одной точке, через которую они проходят, например - точки  $M$  и  $N$ . Таким образом, плоскость определяется тремя точками, не лежащими на одной прямой. При любом перемещении плоскости в пространстве взаимное расположение точек не изменится, через них всегда можно провести прямые, принадлежащие плоскости.

Уравнение плоскости общего положения  $\alpha$ , не проходящей через начало координат (рис. 2.10):

$$\frac{x_0}{a} + \frac{y_0}{b} + \frac{z_0}{c} = 1,$$

где  $a, b, c$  - отрезки, которые плоскость отсекает по осям  $X_0, Y_0$  и  $Z_0$ .  
Если плоскость параллельна одной из осей, например оси  $Z_0$ , то (рис. 2.11):

$$\frac{x_0}{a} + \frac{y_0}{b} = 1,$$

если двум осям, например,  $Y_0, Z_0$  (рис. 2.12):

$$\frac{x_0}{a} = 1.$$

Изменение параметров  $a, b$  и  $c$  приведет к перемещению плоскости в пространстве координат  $X_0, Y_0, Z_0$ .

#### 2.5. Параметры формы поверхностей

Еще раз подчеркнем значение метрических характеристик поверхностей - численных значений их параметров. "Параметр" в переводе с греческого - "отличительный".

Любые рассмотренные поверхности могут быть реализованы только при конкретных значениях своих параметров. Множеству численных значений параметров соответствует множество поверхностей с постоянными геометрическими свойствами. В общем случае независимые переменные величины, выделяющие конкретный объект или его модель из множества подобных, называются параметрами.

Параметры выделяют единственную поверхность из множества поверхностей с аналогичными геометрическими свойствами и являются параметрами формы этих поверхностей. Параметры формы не зависят от положения и перемещения поверхности в пространстве, им может быть присвоено численное значение при любом положении поверхности.

Так, параметрами формы для круговой цилиндрической поверхности является диаметр направляющей окружности  $D$  (рис. 2.3), для круговой конической поверхности - диаметр  $D$  и расстояние от вершины  $c$  или угол полураствора  $\varphi$  (рис.2.7), для торовых поверхностей - диаметр образующей  $d$  и направляющей  $D$  (рис. 2.8).

Параметры формы могут быть определены для всех поверхностей с явно выраженными геометрическими свойствами, они присутствуют и в аналитических описаниях этих поверхностей. Чем сложнее поверхность, тем большее количество параметров формы ее определяют. Однако есть одно исключение - плоскость параметра формы не имеет.

### 3. ПОВЕРХОСТНАЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПАРАМЕТРЫ ПОЛОЖЕНИЯ

Необходимость в поверхностной модели возникает тогда, когда форма не идентифицируется однозначным именем и необходимо рассматривать совокупность поверхностей (отсеков) как ее структурных составляющих. Сложную поверхность можно представить как совокупность отсеков поверхностей с известными геометрическими свойствами. Отсек плоскости называют гранью, отсеки поверхностей второго и более высокого порядков - это отсеки криволинейных поверхностей (криволинейные отсеки).

В образовании формы головки шатуна (рис. 3.1) участвуют коническая ( $\alpha$ ), две цилиндрические ( $\gamma, \delta$ ) поверхности и две параллельные плоскости ( $\epsilon, \xi$ ). Подчеркнем, что "шатуны" - функциональное название (имя) детали и однозначно ее форму не определяет, как это свойственно именам базовых элементов формы и

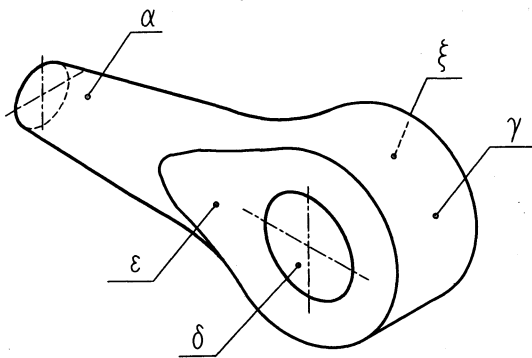


Рис.3.1

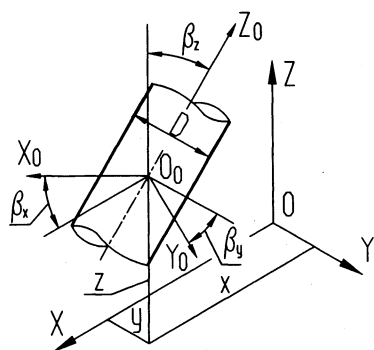


Рис.3.2

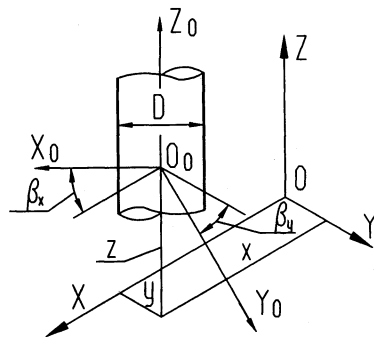


Рис.3.3

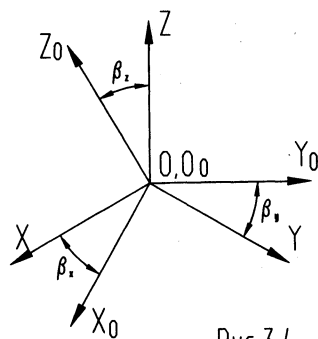


Рис.3.4

рассмотренным ранее поверхностям. Линии пересечения смежных поверхностей определяют граничные линии отрезков указанных поверхностей. Эти отрезки в совокупности формируют поверхность геометрической модели, ее «оболочку» и являются структурными составляющими модели.

Рассмотрим описание положения поверхностей модели в пространстве прямоугольной декартовой системы координат  $XYZ$ . Ранее аналитическое описание поверхностей, отображающее их геометрические свойства, представлялось в координатной системе  $X_0 Y_0 Z_0$ , индивидуальной (объектной) для каждой поверхности. Так как свойства геометрических поверхностей не зависят от их положения в пространстве и не меняются при любых перемещениях, то для определения поверхности в объектной системе координат  $XYZ$  достаточно определить расположение в ней системы  $X_0 Y_0 Z_0$ .

В общем случае, взаимное расположение двух координатных систем определяется шестью независимыми величинами (рис.3.2): тремя координатами  $x, y, z$  вершины  $O_0$  координатной системы  $X_0 Y_0 Z_0$  в системе  $XYZ$  и тремя углами  $\beta_x, \beta_y, \beta_z$  между одноименными координатными осями. Введение геометрических условий расположения уменьшает их количество. Так, например, если ось  $Z_0$  параллельна оси  $Z$  и совпадает с ней по направлению, то достаточно координаты  $x, y, z$  дополнить только значениями угла  $\beta_x$  или  $\beta_y$  (рис. 3.3). Если совпадают вершины систем координат, то необходимо указать только значения углов  $\beta_x, \beta_y, \beta_z$  и  $\beta_z$  (рис. 3.4). На рис. 3.2, 3.3 показана цилиндрическая поверхность. Если данные на рисунках дополнить параметром формы  $D$ , то в пространстве  $XYZ$  параметрами формы и положения будет определена конкретная цилиндрическая поверхность.

При описании геометрической модели должны быть указаны все величины, определяющие положение каждой поверхности, формирующей ее оболочку. На рис. 3.5 представлена модель, поверхность которой образуют отрезки сферической поверхности  $\alpha$ , конической  $\beta$ , цилиндрической  $\gamma$  и плоскостей  $\delta$  и  $\epsilon$ .

Параметры формы: сферической поверхности -  $D$ , цилиндрической -  $d$ , конической -  $2\phi$ . Плоскости, как уже подчеркивалось, параметров формы не имеют. Чтобы определить положение поверхностей относительно друг друга, необходимо закрепить на модели объектную систему координат. При этом целесообразно предусмотреть, чтобы определяющих величин было как можно меньше, а геометрических условий расположения поверхностей - больше. Если за начало осей  $X_0, Y_0, Z_0$  принять центр  $O$  сферической поверхности  $\alpha$ , а координатную плоскость  $X_0 O_0 Y_0$  совместить с плоскостью  $\epsilon$ , то нет необходимости указывать положение этих поверхностей. Коническая и цилиндрическая поверхности имеют общую осевую линию, параллельную оси  $Z_0$ , поэтому достаточно указать величины  $x_0$  и  $y_0$ . Плоскость  $\delta$  расположена на расстоянии  $z_0$  от

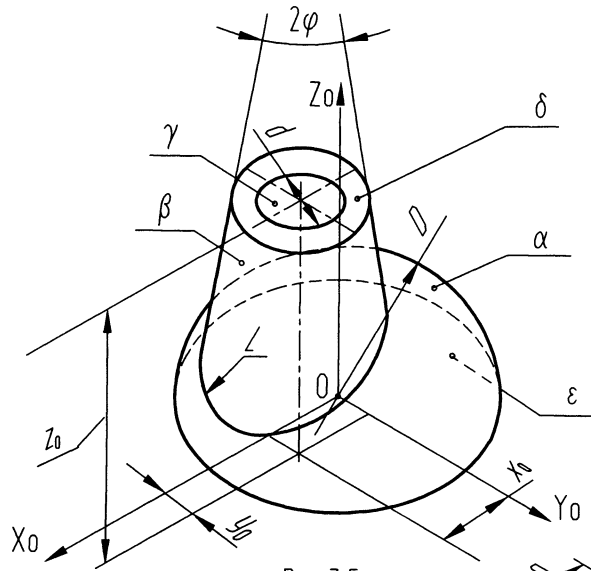


Рис.3.5

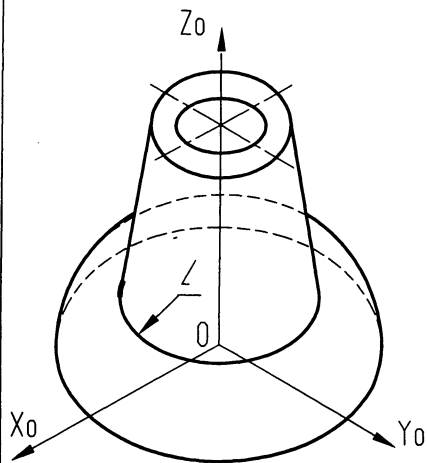


Рис.3.6

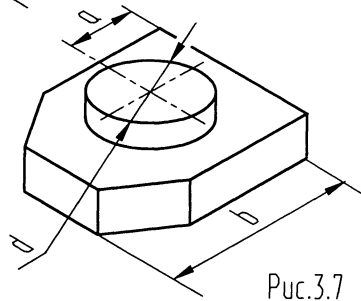


Рис.3.7

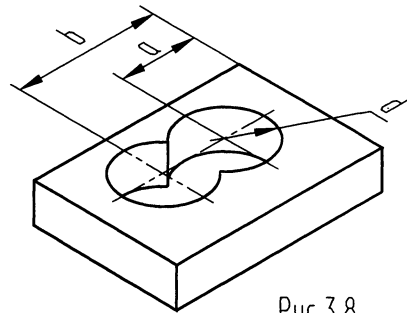


Рис.3.8

координатной плоскости  $X_0O_0Y_0$ . С изменением указанных значений параметров меняется форма геометрической модели в целом, но геометрические свойства отсеков, составляющих поверхность модели, останутся неизменными. Если принять  $x_0 = y_0 = 0$ , то модель примет форму, представленную на рис. 3.6. Параметры формы при этом, естественно, останутся неизменными.

Величины, определяющие положение отдельных геометрических поверхностей, выделяют геометрическую модель определенной формы из множества возможных, т.е. являются параметрами моделей. Чтобы подчеркнуть геометрическое назначение этих параметров, их определяют как параметры положения. Параметры положения не влияют на геометрические свойства поверхностей, но определяют форму линии пересечения смежных поверхностей, т.е. форму граничной линии отсеков. Линией пересечения  $L$  конической и сферической поверхностей на рис. 3.5 является кривая четвертого порядка, на рис. 3.6 – окружность.

Параметры положения и параметры формы – независимые друг от друга величины. При формализованных процедурах формирования моделей, при присвоении численных значений параметрам должны соблюдаться определенные требования. Естественно требование, не допускающее распада модели на составные части. Например, для модели, представленной на рис. 3.7, значение параметра  $a$  должно быть заведомо меньше суммы  $(b + d/2)$  при сохранении базовой плоскости отсчета.

Изменение формы геометрических моделей может быть ограничено геометрическими условиями. Например, если цилиндрические отверстия в плите обязательно должны пересекаться, то разница между численными значениями параметров положения всегда меньше параметра формы (рис. 3.8):

$$b - a < d.$$

Структурированное представление геометрической модели с выделением независимых параметров, определяющих ее метрические данные, называется параметрическим описанием геометрической модели.

Параметрическое описание модели объекта включает:

1. Список идентифицированных уникальными именами геометрических поверхностей, участвующих в образовании поверхности модели в целом.
2. Состав и численные значения параметров формы для каждой поверхности (за исключением плоскостей).
3. Состав и численные значения параметров положения для каждой поверхности с указанием базы для отчета численных значений с

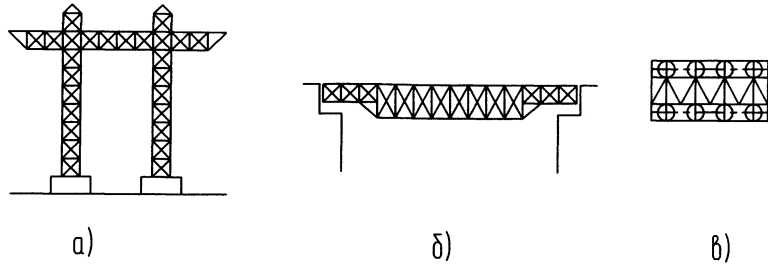


Рис.4.1

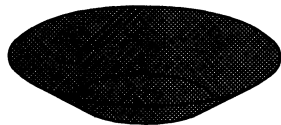


Рис.4.2

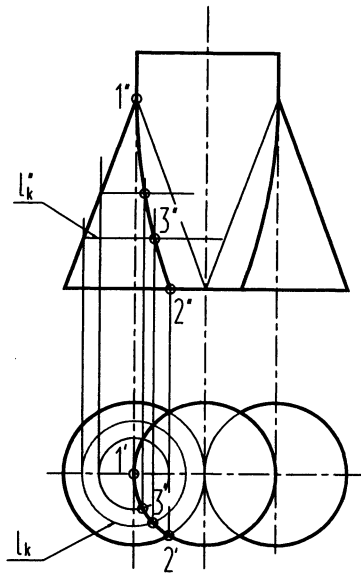


Рис.4.3

4. указанием возможных пределов изменения параметра и перечень геометрических условий положения.

5. Параметрическому описанию соответствует множество геометрических моделей. Конкретная геометрическая модель может быть реализована только при численном представлении независимых переменных параметрического описания.

#### 4. КАРКАСНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Каркасные модели, в первую очередь, целесообразны для представления дискретных в пространстве геометрических объектов. Кроме того, они могут рассматриваться как дискретные модели непрерывных поверхностей, которые уже рассмотрены выше, и, наконец, могут дискретно представлять линиями или точками каркаса непрерывные поверхности, не имеющие алгоритмического описания.

На рис. 4.1. изображены объекты, модели которых естественно описывать в виде дискретной каркасной модели: конструкция опоры линии электропередачи - а, ферма моста - б, декоративная решетка - в.

Точечным каркасом может быть представлена, например, система отверстий на поверхности фильтра (рис. 4.2).

Дополнение поверхностных моделей дискретным каркасом или трактовка их как совокупности каркасных линий позволяет доопределить на изображениях точки поверхностей, лежащие внутри их отсеков или очертков. Такое дополнительное описание, например, пересекающихся поверхностей, позволяет упростить определение точек, принадлежащих линии пересечения (рис. 4.3).

Большое число функциональных поверхностей и каркасов в технике не описываются аналитически и задаются графически, как правило, периодическими линиями каркаса. Такие сложные поверхности характерны для эргономически совершенных органов управления (рукояток), профилей лопаток турбин, гребных и воздушных винтов, профилей крыльев самолетов, кузовов автомобилей и т.п.

Каркасные модели поверхностей можно представлять как множество последовательных положений образующей переменной формы при движении по неподвижному в пространстве направляющим. Образующие и направляющие могут быть дополнены геометрическими условиями движения и взаимного расположения.

Поверхность, представленная на рис. 4.4, сформирована образующей  $a_1, a_2, a_3 \dots$  при движении по направляющим  $b_1, b_2, b_3 \dots$ . Геометрическое условие движения - плоскости образующих при перемещении остаются параллельными.



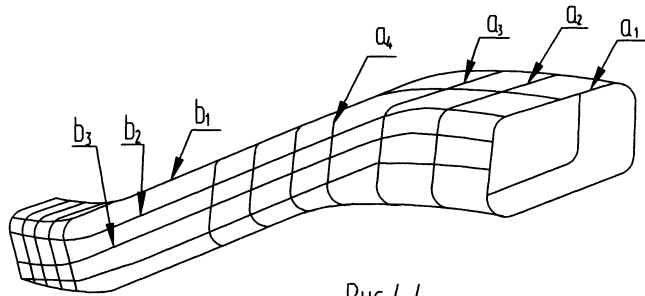


Рис. 4.4

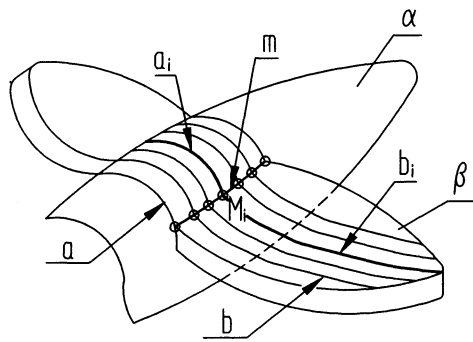


Рис. 4.5

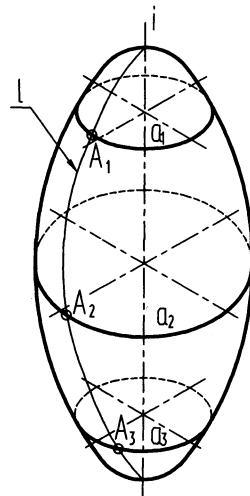


Рис. 4.6

Образующие и направляющие обладают свойством взаимозаменяемости. Можно считать, что неподвижными заданными направляющими на рис. 4.4 являются кривые  $a_1, a_2, a_3, \dots$ , а по ним скользит образующая переменной формы  $b$ , принимающая в промежуточном положении форму  $b_1, b_2, b_3, \dots$ . Образующие и направляющие могут рассматриваться как два семейства каркасных линий, которые в совокупности составляют каркасную сеть поверхности.

Каркасные линии непрерывных поверхностей, имеющих алгоритмическое, в частном случае аналитическое описание, могут быть восстановлены в любой точке поверхности. С помощью каркасных линий решаются задачи, связанные с преобразованием и пересечением таких поверхностей.

Каркасные модели, как и другие, должны обеспечивать возможность реконструкции формы предмета по модели. Очевидно, чем большее множество каркасных линий или точек определяет поверхность, тем каркасная модель точнее, но ее описание становится более сложной. Особенно это относится к точечным каркасам. Поэтому при описании поверхности по каркасной модели промежуточные точки получают интерполяцией каким-либо способом между двумя каркасными линиями или точками. Задача об определении принадлежности любой точки пространства поверхности рассматриваемой модели решается путем оценки принадлежности этой точки каркасной линии поверхности.

Для каркасных моделей линию пересечения смежных поверхностей можно рассматривать как множество точек пересечения каркасных линий этих поверхностей, если эти точки могут быть определены. На рис. 4.5 любая точка  $M_i$  отрезка кривой  $m$ , по которой пересекаются поверхности  $\alpha$  и  $\beta$ , есть результат пересечения линий из семейства  $a$  и семейства  $b$ . Граничные линии отсечков устанавливают конечные точки отрезков каркасных линий.

При формировании поверхности вращения каждая точка ( $A_1, A_2, A_3, \dots$ ) образующей  $l$  описывает окружность ( $a_1, a_2, a_3, \dots$ ). Плоскости всех окружностей параллельны между собой и ортогональны к оси вращения (рис. 4.6).

Траектория точки, принадлежащая образующей, называется параллелью. Параллели, сформированные по единому закону, являются направляющими для образующих поверхности вращения. Множество образующих и параллелей составляют каркасную сеть поверхности вращения. Зная закон формирования семейства образующих и семейства направляющих, можно восстановить каркасную линию для любого семейства, проходящую через любую произвольную точку поверхности. Заметим еще раз, что возможность определения каркасной линии, проходящей через любую точку поверхности, является условием целесообразности использования каркасной геометрической модели объекта.

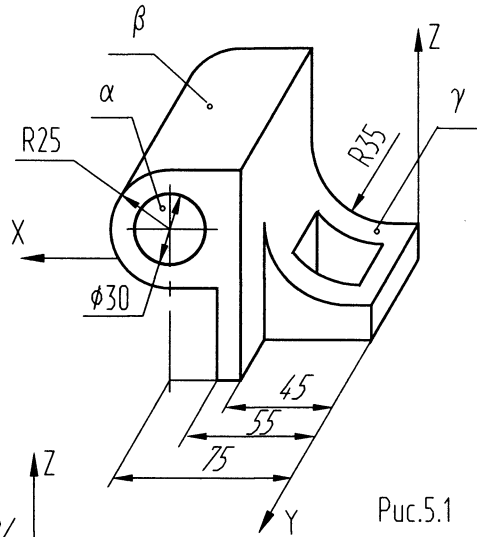


Рис.5.1

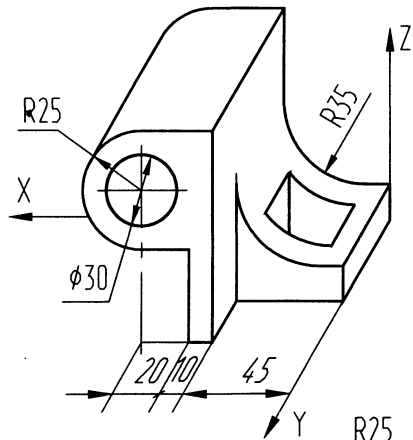


Рис.5.2

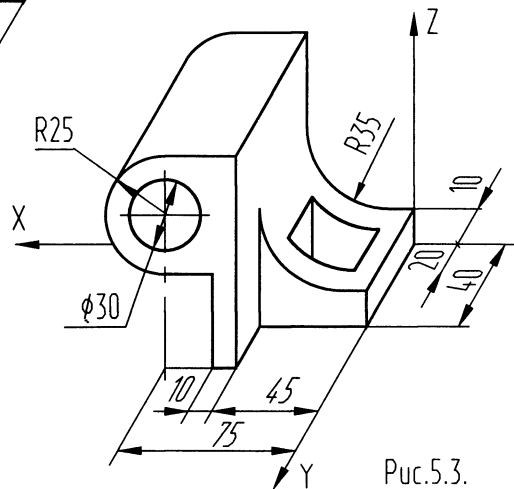


Рис.5.3.

## 5. РАЗМЕРЫ ДЕТАЛЕЙ

Для изготовления детали, формой и размерами соответствующей ее модели, изображения последней, содержащей информацию о форме будущей детали, необходимо дополнить значениями параметров формы и положения поверхностей, формирующих в совокупности "оболочку" модели.

Численное значение параметра формы называется размером формы. Размеры формы не меняют своего значения при изменении положения поверхности в пространстве и масштаба изображения.

Численные значения параметров положения геометрических элементов называются размерами положения. В общем случае положение поверхности в пространстве объектной системы координат  $XYZ$  описывается тремя линейными и тремя угловыми размерами. Введение геометрических условий уменьшает количество размеров положения.

Для контроля размеров при изготовлении детали выбирают измерительные базы. Характерные элементы на поверхности детали, от которых производятся измерения размеров положения, называются измерительными базами. В общем случае необходимы три взаимно ортогональные измерительные базы.

Одним из основных требований при выборе базы является удобство выполнения измерений. Желательно, чтобы измерительная база была хорошо обработанной поверхностью, имеющей достаточную площадь для опоры при замерах. Рекомендуется в качестве измерительных баз выделять плоскости полной или частичной симметрии. Они могут быть определены геометрически, но не всегда материально и такие базы называются скрытыми измерительными базами. Целесообразно еще при описании и формировании геометрической модели в пространстве объектной координатной системы  $XYZ$  координатные плоскости совмещать с потенциальными измерительными базами.

На рис. 5.1 представлено изображение детали, которая называется "серьга". Ее поверхность формируют отсеки цилиндрических поверхностей  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и отсеки плоскостей разного положения. Размеры формы цилиндрических поверхностей - диаметр 30 мм, радиус 25 мм и радиус 35 мм соответственно. Все указанные величины не зависят от взаимного расположения цилиндрических поверхностей в пространстве. Плоскости размеров формы не имеют (не смешивать с размерами отсеков плоскостей).

Координатные плоскости  $XOZ$ ,  $XOY$  и  $YOZ$  как начальные уровни для отчета размеров положения, могут быть измерительными базами. Возможны три способа задания размеров положения относительно измерительных баз:

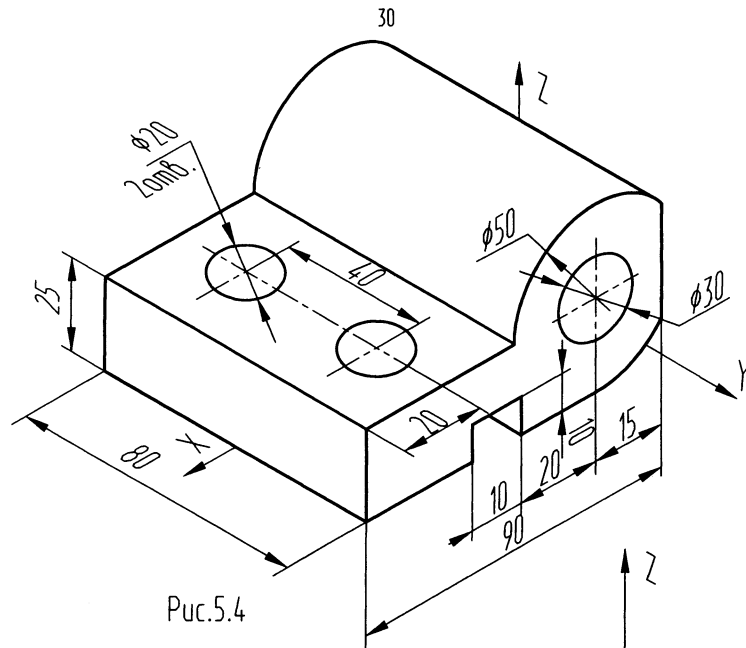


Рис.5.4

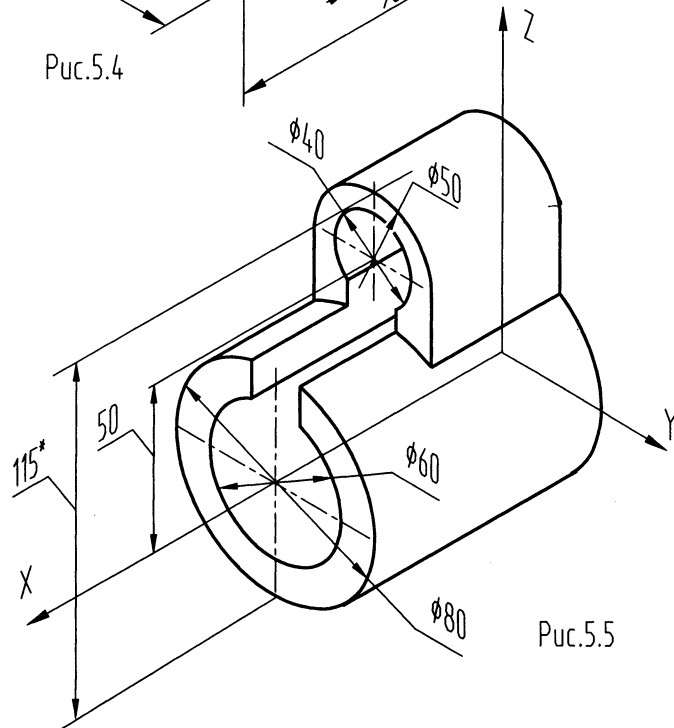


Рис.5.5

1. По каждому направлению осей ОСК все размеры положения отсчитываются от одной и той же измерительной базы (координатной плоскости). Такой способ называется координатным способом задания размеров. На рис. 5.1 размеры 45 мм, 55 мм и 75 мм, определяющие положение двух плоскостей и цилиндрических поверхностей  $\alpha$  и  $\beta$  относительно плоскости  $YOZ$ , нанесены координатным способом.

2. Размеры от измерительной базы задаются последовательно, как продолжение один другого. Получается цепочка размеров, а способ их задания называется цепным. На рис. 5.2 размеры положения тех же поверхностей что и в предыдущем случае, нанесены цепным способом – 45 мм, 10 мм и 20 мм.

3. Чаще всего рассмотренные способы нанесения размеров рационально применять в комбинированном виде. Такой смешанный способ задания размеров положения относительно координатных плоскостей  $YOZ$  и  $XOZ$  представлен на рис. 5.3.

На рис. 5.4 заданы размеры, необходимые для изготовления другой детали. В качестве измерительной базы координатная плоскость  $XOZ$  совмещена с плоскостью симметрии рассматриваемой детали. Величины  $\varnothing 20$  мм,  $\varnothing 30$  мм, и  $\varnothing 50$  мм являются размерами формы цилиндрических поверхностей, все остальные размеры – это размеры положения. Допускается положение одинаковых, симметричных относительно измерительной базы элементов указывать одним размером, на рис. 5.4 это расстояние 40 мм между центрами двух цилиндрических отверстий.

Габаритными называются максимальные размеры детали по трем взаимно ортогональным направлениям. Задание габаритных размеров необходимо, например, для того, чтобы оценить величину необходимой заготовки, они могут понадобиться также при расчете веса, подборе материала, прочностных расчетах и т.д. На рис. 5.4 габаритными являются размеры 90 мм по оси  $X$ , 80 мм по оси  $Y$  и 50 мм по оси  $Z$ . Как видно, габаритными могут быть не только размеры положения, но и размеры формы ( $\varnothing 50$ ). В целом размеры детали заданы смешанным способом.

При изготовлении деталей заданной формы и размеров невозможно точно обеспечить номинальный (желаемый) размер, практически он всегда выполняется с некоторой погрешностью. Вследствие этого номинальная величина заданного размера дополняется указанием возможного предельного отклонения от него – допуском. Величина допуска зависит от условий функционирования и технологии изготовления детали. Реальные размеры являются случайными величинами, хотя и в ограниченных допуском пределах. Когда размеры задаются цепочкой, последовательно друг за другом, суммарный реальный размер непредсказуемо отличается от суммы номинальных размеров, совпадение может быть только

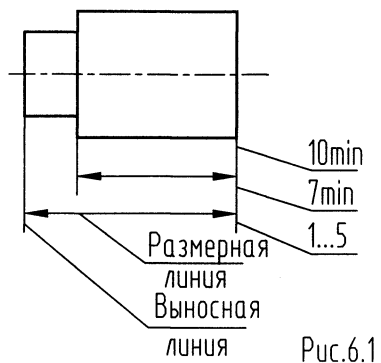


Рис.6.1

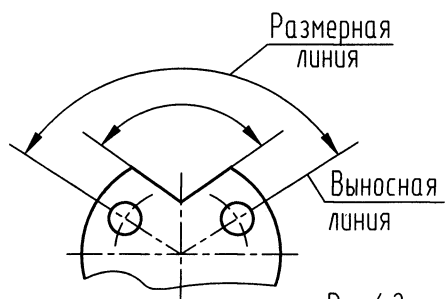


Рис.6.2

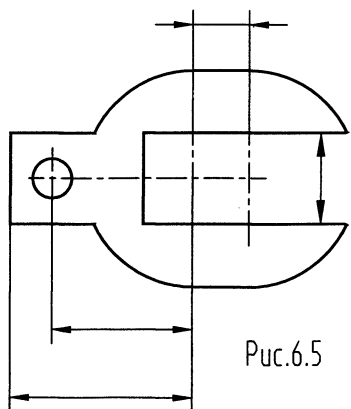


Рис.6.5

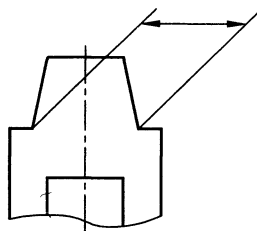


Рис.6.3

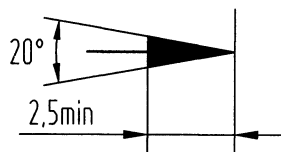


Рис.6.4

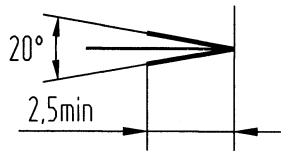


Рис.6.6

случайным. Поэтому нельзя задавать размеры в виде замкнутой цепочки, обязательно должен быть свободный отрезок, компенсирующий накопление допусков по другим размерам. На рис. 5.4 отсутствует размер, замыкающий цепочку из размеров 10 мм, 20 мм, 15 мм и 90 мм (по направлению оси X).

Иногда по конструктивным или иным соображениям все же приходится задавать размеры в виде замкнутой цепи. В таком случае один из них должен быть неконтролируемым в процессе изготовления изделия. На рис. 5.5 расстояние между центрами цилиндрических отверстий 50 мм и диаметры цилиндрических поверхностей 80 мм и 50 мм должны быть заданы обязательно, как необходимые при обработке поверхности изделия. Вместе с тем необходимо указать и габаритный размер по оси Z, равный 115 мм, который замкнет цепочку. В данном случае его можно не контролировать при изготовлении, а задать лишь для служебных целей.

Размеры, не подлежащие контролю при изготовлении изделия и заданные для вспомогательного и служебного употребления, называются справочными. Справочные размеры отмечаются "звездочкой" (рис. 5.5).

## 6. ПРОСТАНОВКА РАЗМЕРОВ НА ЧЕРТЕЖЕ

Задача нанесения размеров на чертеже имеет многовариантное решение, зависящее от формы, технологии изготовления и конструктивного назначения детали. Большое значение имеет обеспечение удобства чтения чертежа – мысленного воспроизведения формы детали по заданным изображениям с оценкой размеров элементов детали, их взаимного положения и детали в целом.

Общие правила нанесения размеров вытекают из структурного представления формы сложных деталей, образованных совокупностью расположенных определенным образом отсеков базовых поверхностей. В этом случае геометрические аспекты предполагают указание размеров формы составляющих поверхностей и их взаимного положения. Такой подход оправдывается и тем, что многие механические операции при изготовлении детали формируют известные своими свойствами поверхности: после сверления получают цилиндрические поверхности, после точения – осесимметричные поверхности любой сложной формы, процесс строгания формирует плоскости и т. д.

Таким образом, при разработке комплексного чертежа используется поверхностная геометрическая модель детали. Ее структурные составляющие – отсеки поверхностей и граничные линии отсеков (ребра) – после операции проецирования определяют линии изображения. Метрические данные структурных составляющих – размеры формы и положения – без изменения наносятся на комплексном чертеже и дополняются габаритными размерами детали

в целом. Из этих общих правил вытекает важное замечание. В общем случае набор размеров формы и положения достаточен для описания детали и не предполагает указания размеров линий пересечения поверхностей (ребер).

### 6.1. Графические правила нанесения размеров

Основные правила нанесения размеров регламентируются ГОСТ 2.307-68. Размеры на чертеже указывают для элементов, проецирующихся на данном виде в натуральную величину. Для этого используют выносные и размерные линии (рис. 6.1 и 6.2). Величина размера определяется размерным числом.

Различают линейные и угловые размеры. Размерную линию линейного размера проводят параллельно отрезку прямой, величину которого надо указать (рис. 6.1 и 6.3). Выносные линии чаще всего перпендикулярны к измеряемому отрезку (рис. 6.1), но в удобных случаях, как показано на рис. 6.3, могут быть расположены и наклонно.

Угловая размерная линия проводится по дуге окружности с центром в вершине угла (рис. 6.2). Выносными линиями углового размера являются лучи измеряемого угла.

Размерные линии кончатся стрелками, которые упираются в выносные линии. Форма и размеры стрелки показаны на рис. 6.4. Минимальная длина стрелок – 2,5 мм, рекомендуются стрелки длиной 4...5 мм.

Выносная линия может выступать за размерную линию на 1...5 мм. Расстояние между параллельными размерными линиями должно быть не меньше 7 мм, а между размерной линией и линией чертежа – не меньше 10 мм (рис. 6.1).

Размерные линии могут быть проведены непосредственно к линиям изображения – к основным сплошным, осевым и центровым линиям (рис. 6.5). Рекомендуется размерные линии наносить вне изображения детали.

Не допускается в качестве размерных линий использовать осевые, центровые, выносные линии и линии изображения. Пересечения размерных и выносных линий необходимо избегать, поэтому меньший размер наносят ближе к изображению, чем больший (рис. 6.5).

Если деталь или элементы детали показывают с обрывом, то соответствующая размерная линия обрывается дальше осевой линии (рис. 6.6). На изображениях с разрывом размерную линию не прерывают (рис. 6.7).

При недостатке места на размерных линиях стрелки ставят снаружи (рис. 6.5). Если при этом несколько размерных линий расположены цепочкой, то границу между ними показывают засечками или точками (рис. 6.8).

Не рекомендуется пересекать стрелки размерных линий другими линиями чертежа, лучше эти линии прервать (рис. 6.9).

От дуговых элементов изображения выносные линии проводят также по дуге, размерная линия при этом ставится в радиальном направлении (рис. 6.10).

Как правило, выносные линии проводят от основных сплошных линий изображения. Однако допускается использовать для нанесения размера штриховые линии, если при этом отпадает необходимость в вычерчивании дополнительного изображения.

Если нужно определить положение вершины скругленного угла, то выносные линии проводят из точки пересечения сторон этого угла (рис. 6.11).

Толщины выносных и размерных линий и величина стрелок должны быть примерно одинаковыми в пределах одного чертежа.

Величина изображенного предмета или составных частей определяется размерным числом. Линейные размеры на чертеже указывают в миллиметрах, без обозначения единицы измерения, угловые размеры – в градусах, минутах и секундах с обозначением единицы измерения, масштаб выполнения чертежа при этом не учитывается.

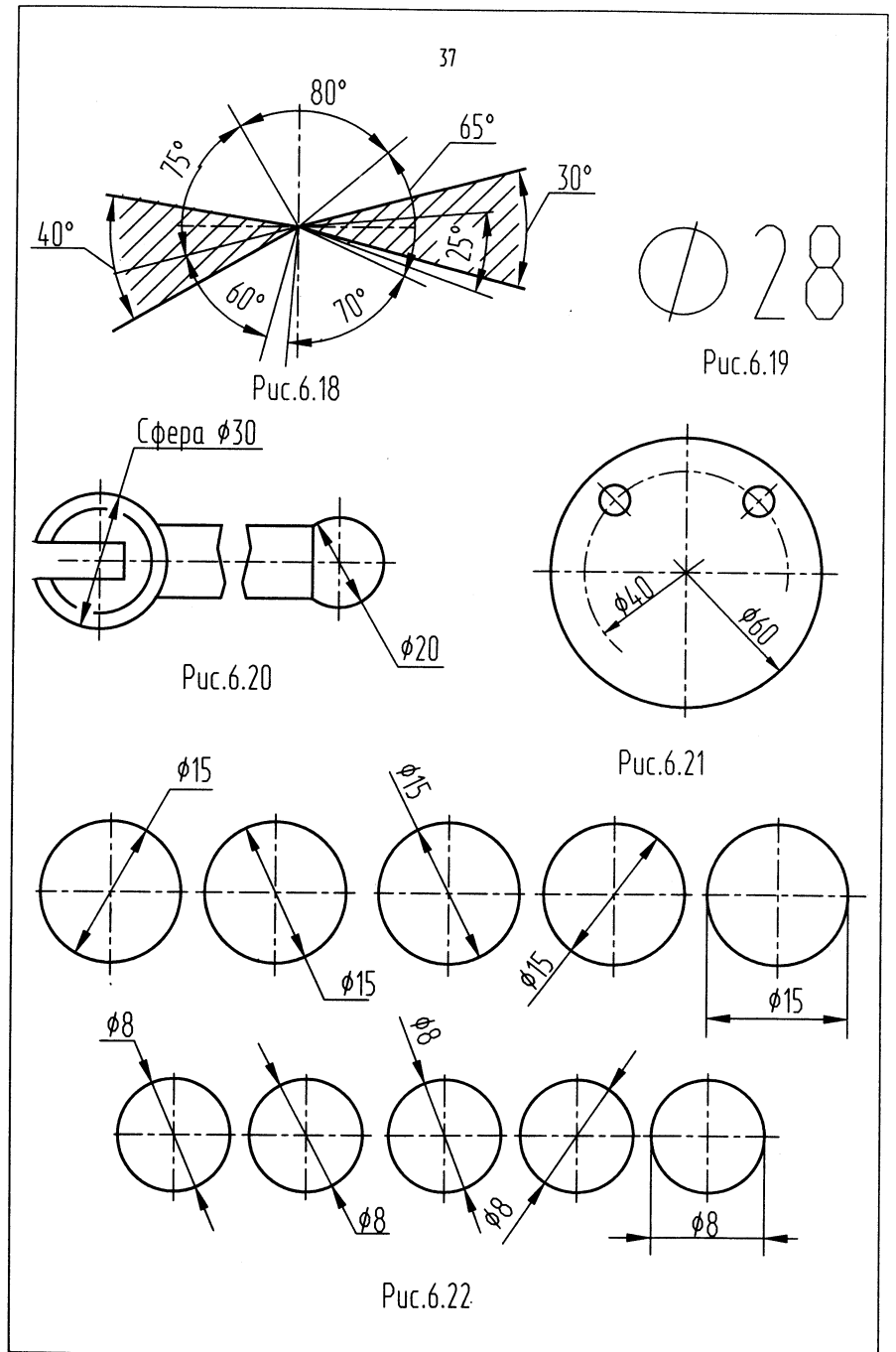
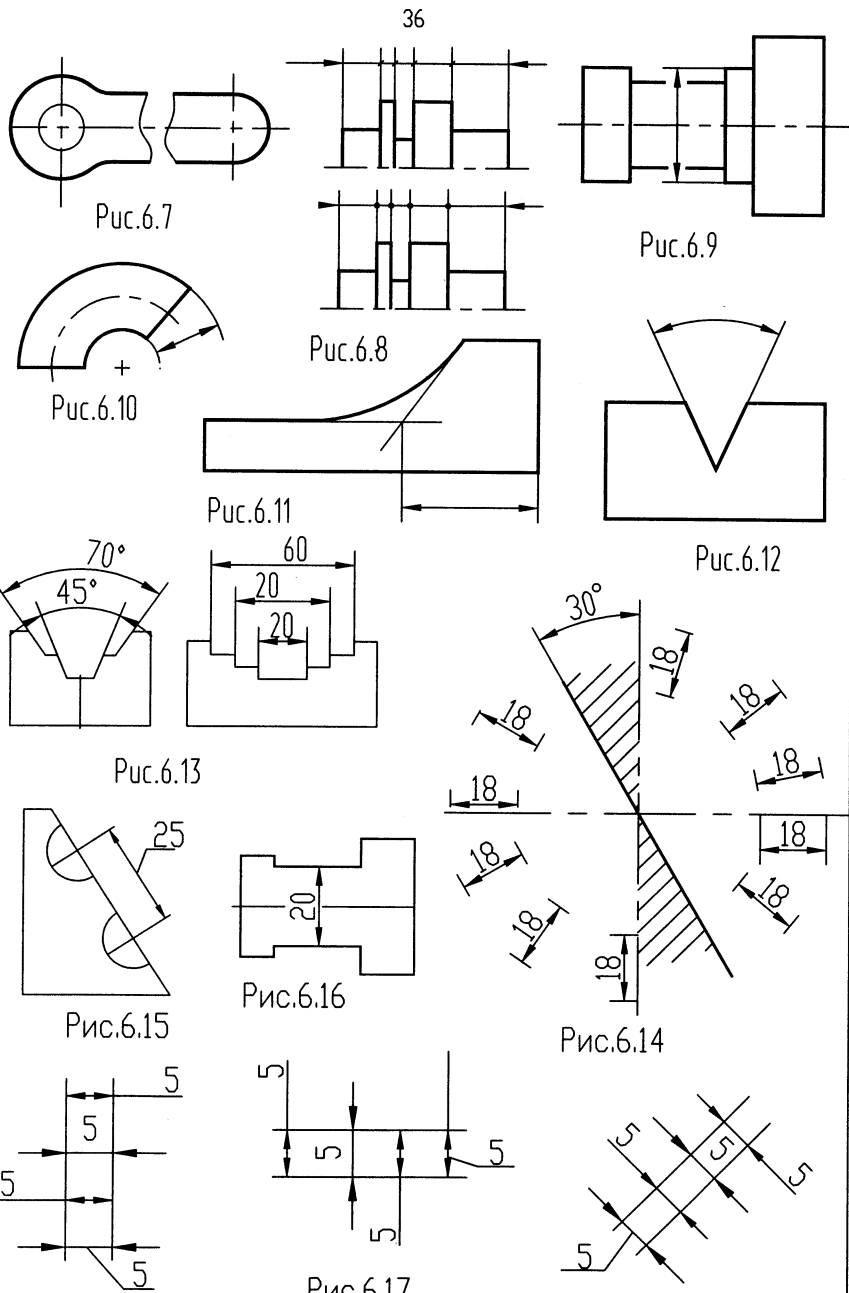
Размерные числа наносят над размерной линией возможно ближе к ее середине на высоте примерно 1 мм (рис. 6.13). Над параллельными или концентричными дуговыми размерными линиями рекомендуется размерные числа располагать в шахматном порядке на небольшом расстоянии друг от друга (рис. 6.13). Если размерные линии располагаются с наклоном, то размерные числа наносят так, как показано на рис. 6.14. Размерные числа размеров в заштрихованной зоне ставятся на полках выносных линий (рис. 6.14).

Не допускается пересекать размерные числа другими линиями чертежа. Осевые и центровые линии в области расположения размерных чисел прерываются (рис. 6.16). Размерные числа могут быть нанесены на продолжении размерных линий или на полках (рис. 6.17).

Если дуговая размерная линия располагается выше горизонтальной линии, проходящей через вершину измеряемого угла, то размерное число ставится с выпуклой стороны размерной линии, если ниже – со стороны вогнутости (рис. 6.18). В заштрихованной зоне размеры ставятся на полках выносных линий или в области, где штриховка специально прерывается.

Высота размерных чисел должна быть примерно одинаковой в пределах одного чертежа, рекомендуется пользоваться шрифтом 3.5.

Способ простановки размерных чисел определяется наибольшим удобством чтения чертежа.



## 6.2. Условные графические обозначения перед размерными числами

Перед размерными числами, определяющими диаметр, наносят знак  $\varnothing$ . Высота наклонной черточки знака, расположенной примерно под углом  $75^\circ$ , равняется высоте размерного числа (рис. 6.19).

Если размерное число определяет диаметр сферы, которую на данном чертеже трудно отличить от других поверхностей, то допускается дополнительно писать слово "Сфера" и наносить знак  $\varnothing$  (рис. 6.20).

Диаметральная размерная линия может быть проведена с обрывом независимо от того, изображена окружность полностью или частично (рис. 6.21). Обрыв размерной линии делают дальше центра окружности.

Не допускается наносить размерные числа диаметральных размеров в центре окружности, который обязательно должен быть обозначен пересечением штрихов штрих пунктирных линий (рис. 6.21).

При недостатке места внутри окружности стрелки и размерные числа могут быть нанесены снаружи (рис. 6.22).

Перед размерными числами, определяющими радиус дуги окружности, пишут прописную букву  $R$ . Центр дуги окружности определяется точкой пересечения выносных линий для размеров положения (рис. 6.23).

Допускается при больших значениях радиуса показывать положение центра условно, размерная линия радиуса в этом случае изображается с изломом (рис. 6.24).

Если на чертеже не требуется определять положение центра дуги окружности, то размерная линия может быть не доведена до центра (рис. 6.25). Размеры радиусов скруглений наносят так, как представлено на рис. 6.26. Допускается не проставлять на чертеже размеры радиуса дуги окружности сопрягающихся параллельных линий (рис. 6.27).

Если центры нескольких радиусов совпадают, то не допускается размерные линии двух радиусов располагать на одной прямой (рис. 6.28). Размеры одинаковых радиусов можно наносить на общей полке (рис. 6.29).

Размеры квадрата на чертеже могут быть поставлены с использованием знака «□» (рис. 6.30) или обычным способом с двух сторон. Высота знака равна высоте размерных чисел на чертеже.

Иногда удобно вместо угловых размеров задавать конусность или уклон.

Конусностью  $K$  называется величина, определенная по соотношению

$$K = (D - d)/L,$$

где  $D$  - диаметр большего основания усеченного конуса,  
 $d$  - диаметр меньшего основания,

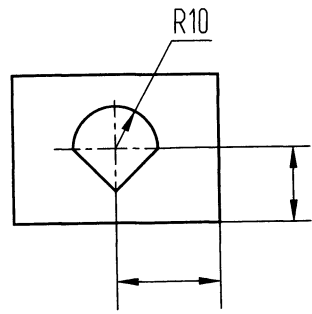


Рис. 6.23

38

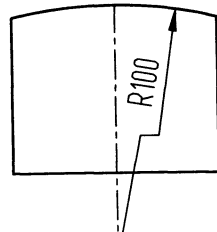


Рис. 6.24

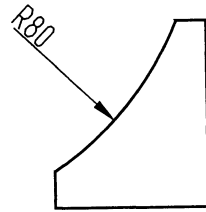


Рис. 6.25

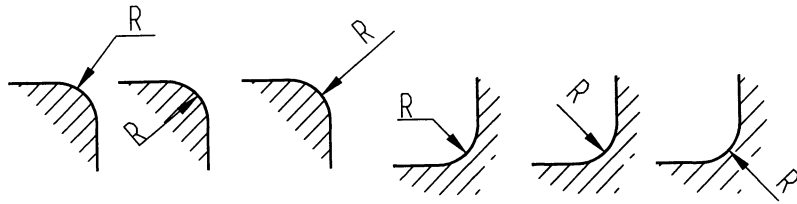


Рис. 6.26

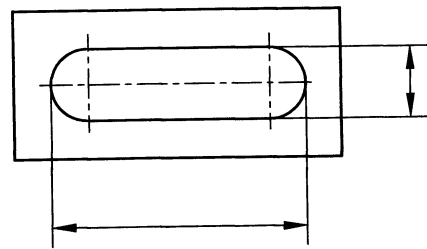


Рис. 6.27

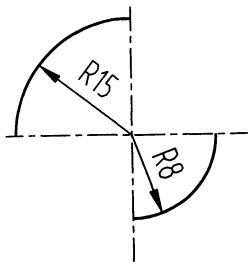


Рис. 6.28

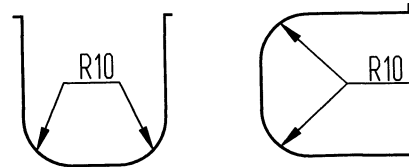


Рис. 6.29

$L$  – длина конуса ( рис. 6.31).

Конусность выражается как отношение, по типу 1:2, 1:5 и т.д.

Перед размерным числом, характеризующим конусность, наносится знак конуса, представляющий собой равнобедренный треугольник, вершина которого должна быть обращена в сторону меньшего диаметра основания (вершины) конуса. Знак конуса и конусность проставляются на чертеже параллельно осевой линии конуса непосредственно над ней или на полке линии-выноски (рис.6.31).

Уклоном  $U$  называется величина, определенная по соотношению

$$U = a/b,$$

где  $a$  и  $b$  – катеты прямоугольного треугольника ( рис. 6.32).

На чертеже уклон, как и конусность, обозначают как отношение двух чисел – 1:10, 1:50 и т.д., или в процентах – 8 % , 12 % и т.д.

Перед размерным числом, характеризующим уклон, наносится знак « $\triangle$ ». Острый угол знака обращен в сторону уклона. Знак и значение уклона проставляются на чертеже параллельно горизонтальной линии (рис. 6.32).

Величины конусности и уклона установлены в ГОСТ 8593-57.

### 6.3. Общие правила нанесения размеров на чертежах

1. На чертеже наносятся все размеры, которые являются численным выражением параметров геометрической модели (размеры формы и размеры положения) и габаритные размеры.

2. Общее количество размеров должно быть минимальным, но достаточным для изготовления детали, заданной изображениями чертежа.

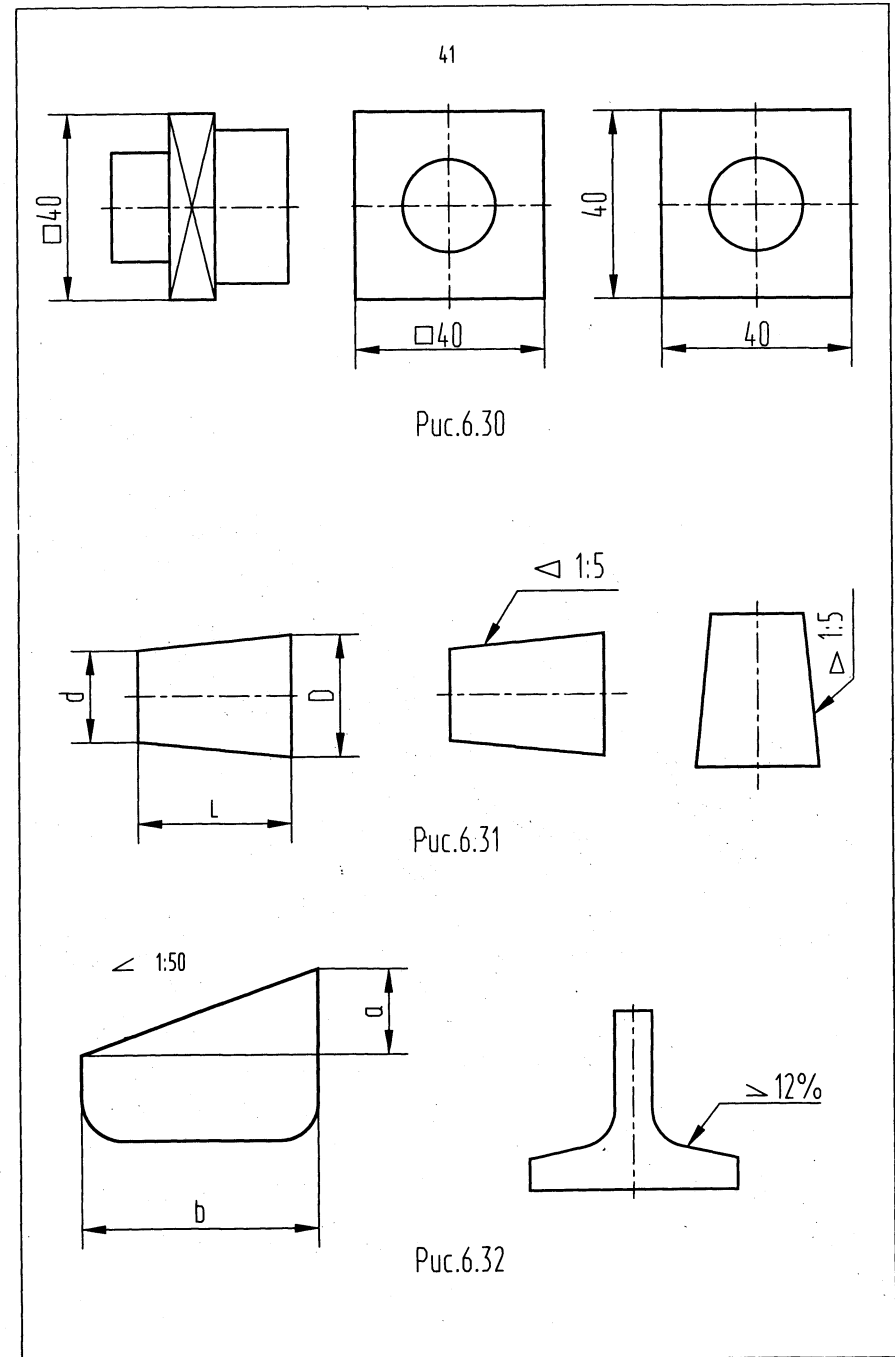
3. Геометрические условия взаимного расположения отсеков поверхности детали (параллельность, перпендикулярность, касание и т.д.) на чертежах показываются соответствующими изображениями.

4. Размеры распределяются примерно равномерно по всем основным изображениям детали. Не допускается повторять одни и те же размеры на разных изображениях.

5. Размеры, относящиеся к одному и тому же элементу детали рекомендуется группировать в одном месте, располагая их на том изображении, где форма элемента показана наиболее полно (рис. 6.33).

6. Размеры двух симметричных частей детали наносят один раз без указания их количества, группируя, в одном месте все размеры (рис. 6.34).

7. Размеры нескольких одинаковых элементов, наносят один раз с указанием на полке линии выноски количества этих элементов (рис. 6.35). При нанесении





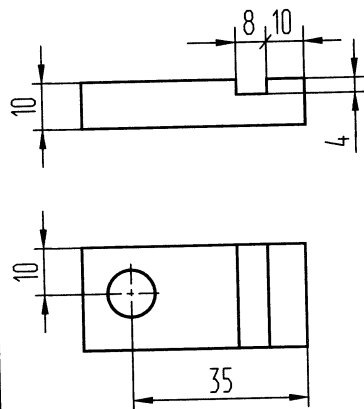


Рис.6.33

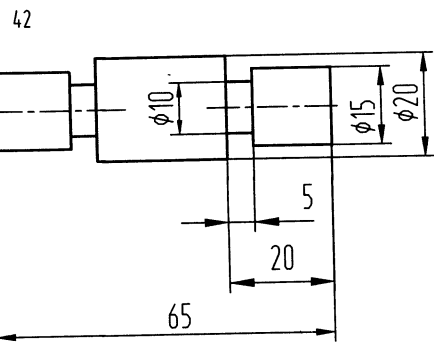


Рис.6.34

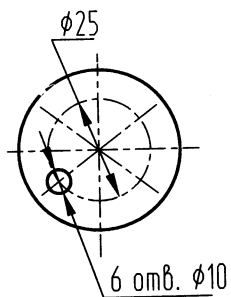


Рис.6.36

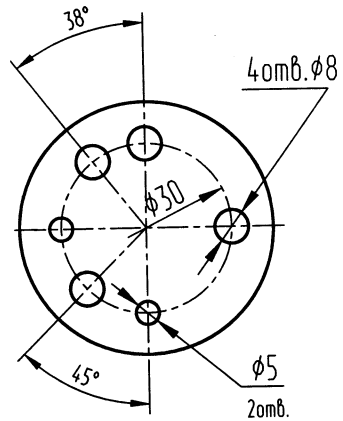


Рис.6.35

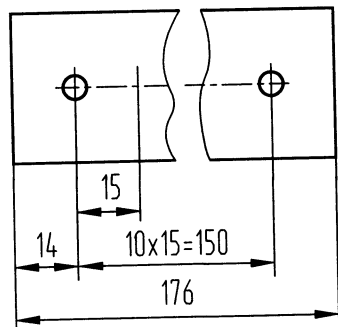
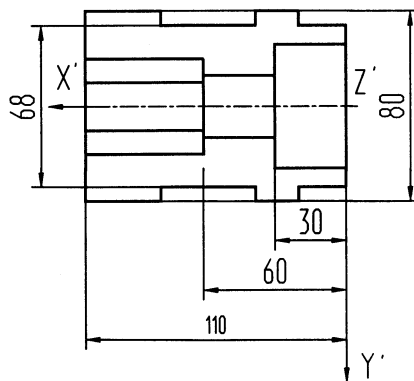
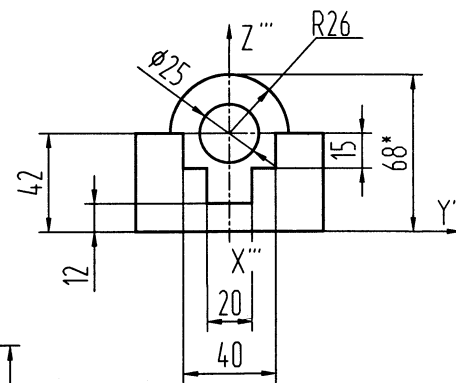
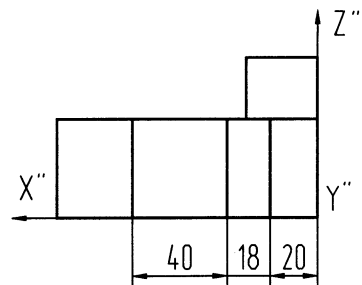
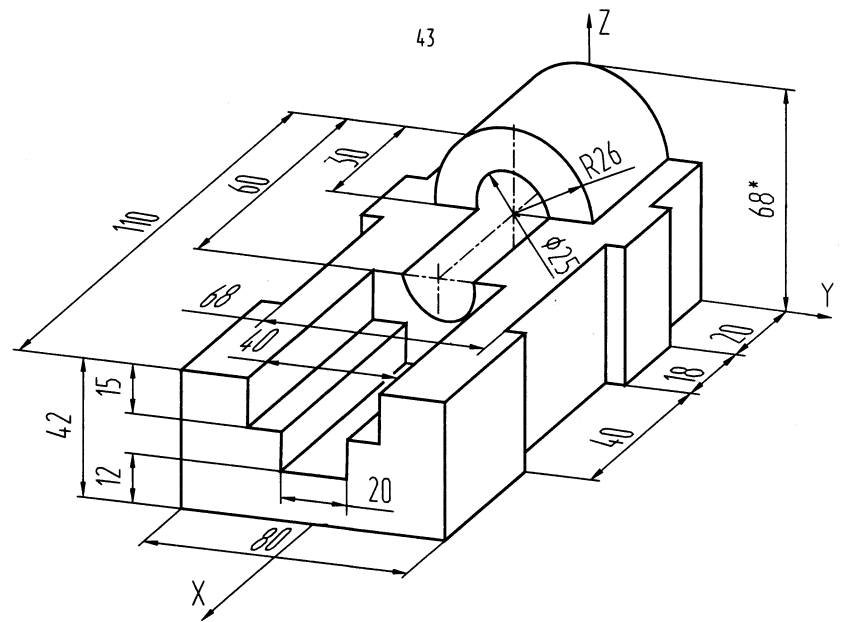


Рис.6.37



M1:2

\*Размер для справок

Рис.6.38

размеров элементов, равномерно расположенных по окружности (например, отверстий), вместо угловых размеров, определяющих их взаимное расположение, указывают только их количество (рис. 6.36).

8. При нанесении размеров, определяющих расстояние между равномерно расположенными одинаковыми элементами детали, рекомендуется вместо размерных цепей наносить размер между соседними элементами и размер между крайними элементами в виде произведения количества промежутков между элементами на размер промежутка (рис. 6.37).

9. Справочные размеры на чертеже отмечаются знаком «\*», над основной надписью выполняется запись «Размер для справок».

На рис. 6.38 представлены наглядное изображение и чертеж детали «Корпус». В качестве измерительных баз выбраны плоскость нижнего основания, плоскость симметрии и ортогональная к ним плоскость задней грани, с ними совмещены координатные плоскости. Для наглядности на чертеже проекциями осей ОСК обозначены проекции измерительных баз, но обычно при нанесении размеров положения измерительные базы просто подразумеваются. Цилиндрические поверхности определены размерами формы  $\varnothing 25$  мм и  $R26$  мм. Размеры положения указаны смешанным способом. Габаритные размеры по осям  $X$  и  $Y$  – 110 мм и 80 мм, по оси  $Z$  габаритный размер, равный 68 мм, указан как справочный, так как при изготовлении детали приоритетными для контроля являются размер формы  $R26$  мм и размер положения 42 мм, а в совокупности эти размеры составляют замкнутую цепочку.

#### 6.4. Табличный способ нанесения размеров

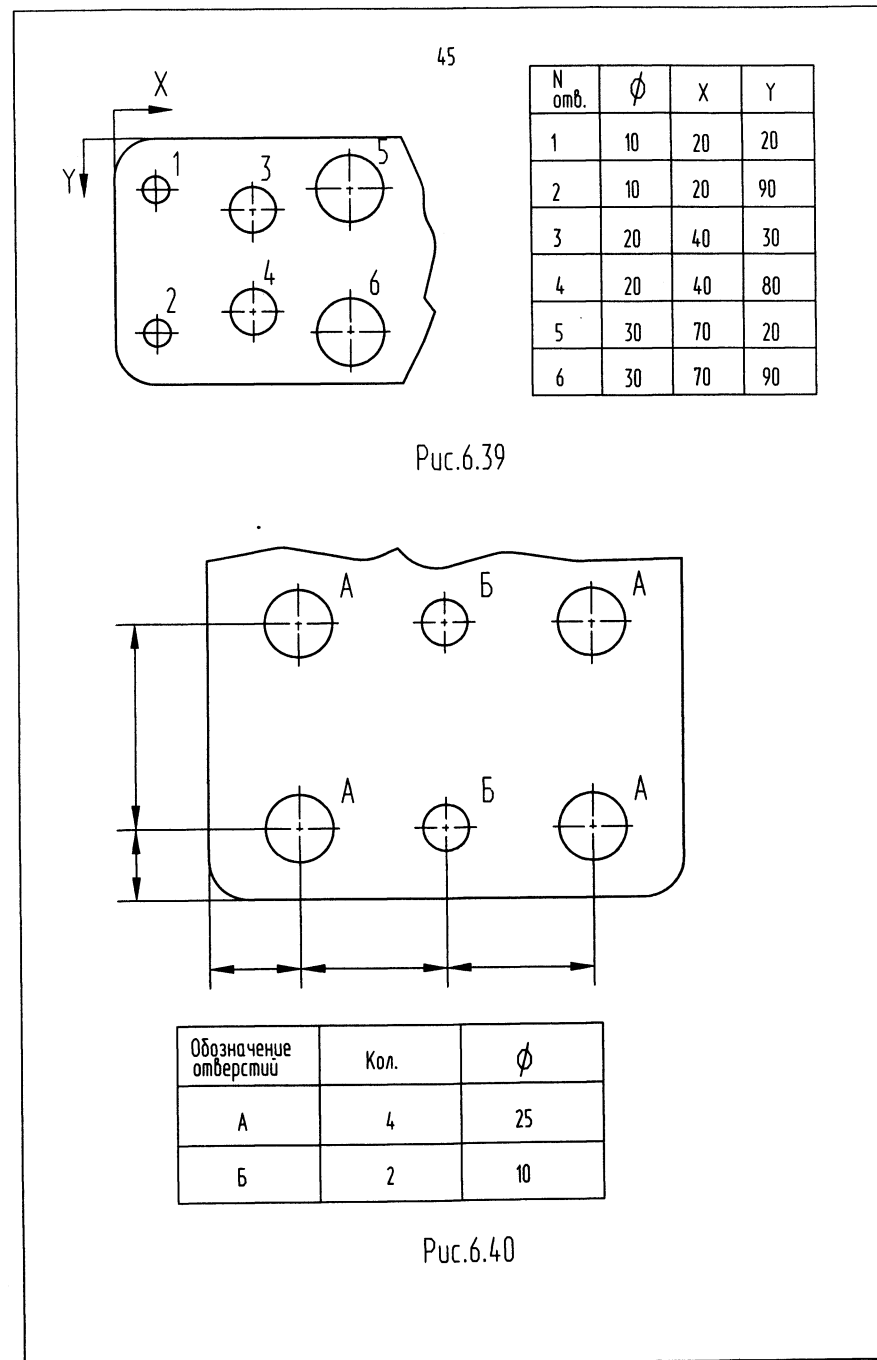
Табличный способ нанесения размеров применяется для нанесения размеров формы и положения неравномерно расположенных элементов детали. При этом однотипные элементы на чертеже обозначаются арабскими цифрами (рис. 6.39) или прописными буквами (рис. 6.40). Размеры формы и положения однотипных элементов указываются в сводной таблице (рис. 6.39 и 6.40).

Если на чертеже показано несколько групп близких по размерам отверстий, то рекомендуется отмечать одинаковые отверстия одним из условных знаков, приведенных на рис. 6.41.

Отверстия обозначают условными знаками на том изображении, на котором указаны размеры, определяющие положение этих отверстий.

При обозначении одинаковых отверстий условными знаками число отверстий и их размеры допускается указывать в таблице (рис. 6.42).

Примером такой простановки размеров может служить чертеж платы.



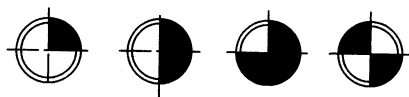
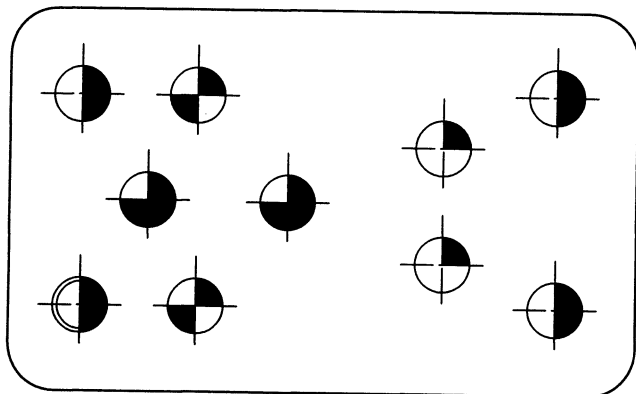


Рис.6.41



Обозначение	Количество	Размер	Шероховатость поверхности
	2	$\phi 6$	2,5/
	4	$\phi 6$	Rz32/
	2	$\phi 8$	Rz32/
	2	$\phi 7$	2,5/

Рис.6.42

## 7. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ РАЗМЕРОВ

До сих пор рассматривались чертежи деталей, на которых проставлялись расчетные значения размеров. Реальные детали приборов, механизмов и машин изготавливаются с неизбежными отклонениями размеров от запроектированных. Эти отклонения называются погрешностями. Они зависят от погрешности оборудования, инструмента, упругих и температурных деформаций, способа обработки, неоднородности материала заготовки, а также от погрешности измерений при контроле размеров.

Степень приближения действительных параметров к расчетным называется точностью. Точность деталей по геометрическим параметрам определяется четырьмя признаками:

- 1) точностью размеров элементов;
- 2) точностью формы поверхностей элементов;
- 3) точностью взаимного положения элементов;
- 4) точностью по шероховатости поверхностей.

Погрешности параметров неизбежны и допустимы в определенных пределах, при которых деталь удовлетворяет требованиям правильной сборки и функционирования машины.

Ввиду недостижимости нулевой погрешности, нельзя ограничиться указанием только номинальных (идеальных) значений параметров деталей.

При конструировании рассчитываются номинальные значения размеров деталей и, одновременно, нормируется точность выполнения этих размеров путем назначения предельных (допустимых) отклонений от номинальных величин. Уменьшение предельных отклонений обеспечивает лучшие технические характеристики изделия, но, одновременно, удорожает процесс производства и контроля деталей.

Если элементы одной детали входят в другую деталь, то образуется соединение с сопрягаемыми поверхностями. Наиболее распространенными сопрягаемыми поверхностями являются гладкие цилиндрические и плоские поверхности.

В соединении тот элемент детали, который имеет наружную сопрягаемую поверхность, условно называется валом, а внутреннюю - отверстием. Эти же термины применяются и к несопрягаемым поверхностям.

Характер соединения двух деталей называется посадкой и определяется разностью размеров вала и отверстия до сборки (рис. 7.1). Если размер отверстия  $D$  больше размера вала  $d_1$ , то образуется "зазор":

$$S = D - d_1$$

Зазор характеризует свободу относительного перемещения деталей соединения.

Если же размер вала  $d_2$  больше размера отверстия  $D$ , то образуется, натяг:

$$N = d_2 - D.$$

Натяг характеризует степень сопротивления взаимному смещению деталей в соединении.

Предельные отклонения размеров являются критериями годности деталей в процессе их изготовления и контроля. Деталь является браком, если ее действительные размеры выходят за границы допустимых предельных отклонений. Большой из двух предельных размеров называется наибольшим предельным размером ( $D_{\max}$ ,  $d_{\max}$ ), меньший - наименьшим предельным размером ( $D_{\min}$ ,  $d_{\min}$ ) рис. 7.2.

Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами называется допуском размера:

$$\text{для отверстия } T_D = D_{\max} - D_{\min};$$

$$\text{для вала } T_D = d_{\max} - d_{\min}.$$

Номинальным размером ( $D_H$ ,  $d_H$ ) называется размер, служащий началом отсчета отклонений и относительно которого определяются предельные размеры. Номинальный размер выбирается при конструктивных и технологических расчетах на прочность, жесткость и др. Полученное расчетное значение размера затем округляется до ближайшего нормального линейного размера (ГОСТ 6636-69).

Предельным отклонением размера называется алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами.

Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами (рис. 7.3):

$$\text{для отверстия } ES = D_{\max} - D_H;$$

$$\text{для вала } es = d_{\max} - d_H.$$

Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами:

$$\text{для отверстия } EI = D_{\min} - D_H;$$

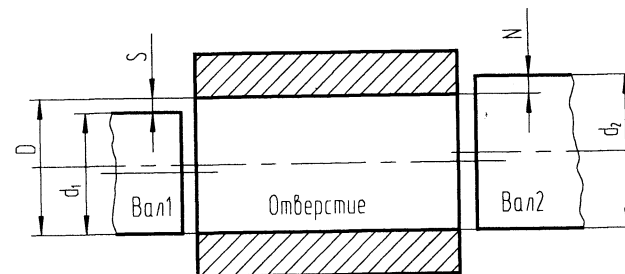


Рис. 7.1.

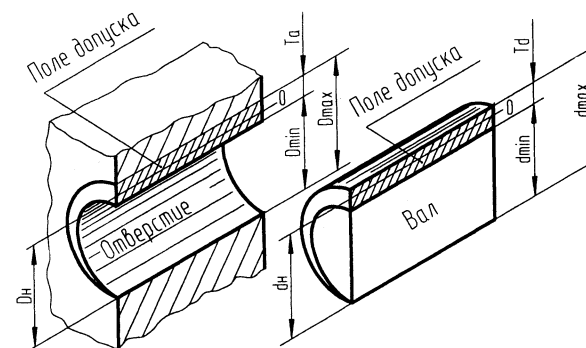


Рис. 7.2.

”Допуск” размера представляет собой алгебраическую разность между верхним и нижним отклонениями:

$$T_D = ES - EI;$$

$$T_d = es - ei.$$

Зона, заключенная между верхним и нижним отклонениями, называется “поле допуска”. Это понятие более широкое, чем допуск.

Одно значение допуска на размер, практически, ничего не определяет. Во-первых, надо задать положение поля допуска, относительно номинального размера и во-вторых, соотнести допуск с величиной номинального размера.

Действительно, одна и та же величина поля допуска, например, 0,1 мм велика для номинального размера 1 мм и мала для размера 2000 мм.

Положение поля допуска в единой системе допусков и посадок задается основным отклонением – одним из двух предельных отклонений, которое расположено ближе к нулевой линии.

Стандартизовано 28 видов основных отклонений, обозначаемых буквами латинского алфавита (рис. 7.4.):

- прописной для отверстий;
- строчной для валов.

Например, буквой *H* обозначается положение поля допуска, отверстия для которого нижнее отклонение размера равно нулю (основное отверстие), буквой *h* обозначается положение поля допуска вала, для которого верхнее отклонение равно нулю (основной вал).

Выбирая разные соотношения основных отклонений отверстия и вала, получают соединение деталей с зазором, натягом или переходные соединения, при которых в различных экземплярах соединений одинаковых деталей могут возникать условия для посадок либо с зазором, либо с натягом.

Вернемся к вопросу о точности выполнения размера. Если два разных размера выполнены с одинаковым допуском, то степень точности выполнения большего размера будет выше. Зависимость между допуском и величиной номинального размера определяет степень точности выполнения размеров и называется квалитетом.

Квалитет – это совокупность допусков, соответствующих условно одному уровню точности для всех номинальных размеров. В условном обозначении допуска квалитет обозначается цифрами. В системе допусков и посадок содержится 19 основных квалитетов: 01, 0, 1, 2, ..., 17, причем, чем меньше номер квалитета, тем меньше абсолютная величина поля допуска при данном номинальном размере и с большей точностью выполнен размер.

50

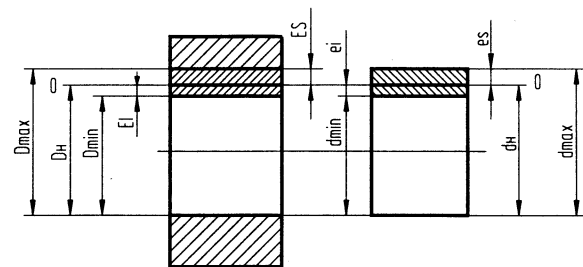


Рис. 7.3.

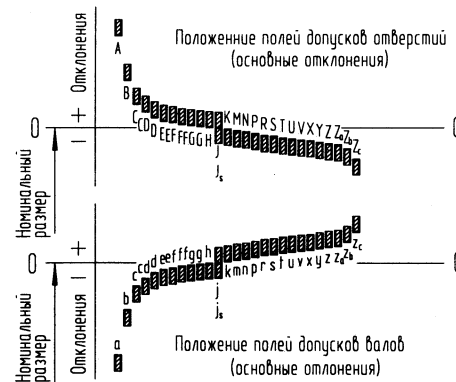


Рис. 7.4.

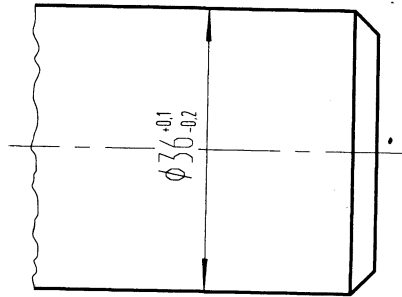


Рис. 7.5.

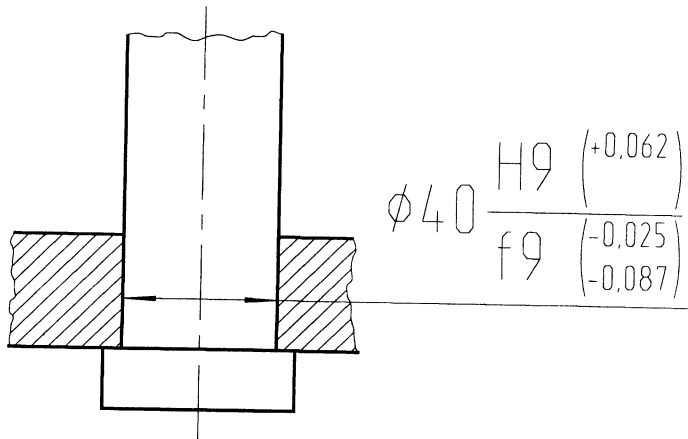


Рис. 7.6.

Выполнение размеров деталей с заранее заданной точностью обеспечивает качество изделий, их надежность и долговечность, а также взаимозаменяемость деталей, сборочных единиц и целых машин и механизмов.

Взаимозаменяемостью называется свойство независимо изготовленных с заданной точностью изделий обеспечивать возможность беспригоночной сборки (или замены при ремонте) сопрягаемых деталей в сборочную единицу, а сборочных единиц в изделие при соблюдении предъявляемых к ним технических требований.

Взаимозаменяемость – это основа современного массового производства. Она позволяет отдельно изготавливать запасные части к машинам и механизмам, что удешевляет и упрощает их ремонт и эксплуатацию.

Правила нанесения предельных отклонений установлены ГОСТ 2.307-68.

На чертежах деталей указывают номинальный размер и допускаемые отклонения – верхнее и нижнее. Наибольший предельный размер равен сумме номинального размера и верхнего отклонения, а наименьший предельный размер – сумме номинального размера и нижнего отклонения.

Рассмотрим пример. Предположим, что некоторая деталь имеет расчетный размер 36 мм. Это номинальный размер. При обработке детали, возникает погрешность, т.е. действительный размер детали может быть больше или меньше. Однако он должен колебаться в определенных пределах.

Зададим эти пределы:

наибольший размер – 36,1 мм;

наименьший размер – 35,8 мм.

При этом допуск размера составит:  $36,1 - 35,8 = 0,3$  мм. Это число (0,3) характеризует требуемую точность обработки.

В рассмотренном примере запись размера на чертеже должна иметь вид (рис. 7.5):  $36^{+0,1}_{-0,2}$

Если нижнее и верхнее отклонения равны, то записывают так:  $36 \pm 0,2$ . Если же одно из отклонений равно нулю, то его вообще не записывают:  $36^{+0,2}$ . Это означает, что верхнее отклонение равно +0,2, а нижнее – нулю, т.е. наименьший предельный размер равен номинальному.

Согласно ГОСТ 2.307-68 отклонения размеров на чертежах указывают непосредственно после номинальных размеров следующими способами:

– числовыми величинами, например,  $36^{+0,1}_{-0,2}$ ;

– условными обозначениями полей допусков и посадок, например, 24H8, 30g6;

– условными обозначениями полей допусков и посадок с указанием справа в скобках их числовых величин, например,  $\varnothing 30e8\left(\begin{smallmatrix} -0,04 \\ -0,075 \end{smallmatrix}\right)$ .

Допуск для элементов соединения (рис. 7.6) показывают дробью: в числителе допуск отверстия, а в знаменателе – вала.

## 8. ПРОСТАНОВКА РАЗМЕРОВ НА ЧЕРТЕЖАХ ОБЩЕГО ВИДА И НА СБОРОЧНЫХ ЧЕРТЕЖАХ

Чертеж общего вида, определяет конструкцию изделия, взаимодействие его составных частей и поясняет принцип работы изделия. Сборочный чертеж содержит данные, необходимые для сборки и контроля изделия. Оба документа относятся к группе чертежей составных изделий (ГОСТ 2.118-73–ГОСТ 2.120-73).

На основании чертежа общего вида разрабатываются чертежи отдельных деталей, затем сборочный чертеж (СБ) со спецификацией, монтажный, габаритный и некоторые другие чертежи. Размеры, проставляемые на чертежах общего вида, должны обеспечивать точность изготовления последующей конструкторской документации.

На чертежах общего вида и сборочных чертежах проставляются габаритные, присоединительные, установочные и необходимые конструктивные размеры.

Габаритные размеры определяют высоту, длину и ширину изделия или его наибольший диаметр; например размеры 112 и  $\varnothing 38$  на рис.8.1, размеры 84, 160 и  $\varnothing 35$  на рис. 8.2 и др. Если какой-либо из этих размеров является переменным вследствие перемещения частей механизма, то на чертеже проставляют размеры при крайних положениях подвижных деталей. На рис. 8.3 размер 235...250 определяет высоту изделия при крайних положениях штока.

Установочные и присоединительные размеры определяют расположение и размеры элементов, по которым изделие устанавливают на месте монтажа или присоединяют к другому изделию. Присоединительным является размер  $M20 \times 1,5$  на рис. 8.1, размер 4 отв.  $\varnothing 12$  на рис. 8.3 определяет условия установки на месте его эксплуатации. К установочным или присоединительным размерам относятся диаметры центровых окружностей и отверстий под болты, расстояния между отверстиями для крепления, между осями фундаментных болтов и т.п. При указании этих размеров должны быть нанесены размеры положения ( $\varnothing 63$  на рис. 8.3) и размеры формы, служащие для соединения с сопрягаемыми изделиями. Если внешняя присоединительная связь осуществляется зубчатыми колесами, то указывают модель, число и направление зубьев (рис. 8.4).

К конструктивным размерам относятся, как правило, размеры сопрягаемых поверхностей деталей, которые обуславливают характер соединения. На рис. 8.3 размер  $\varnothing 42$ , а на рис. 8.4 размеры  $\varnothing 18$  и  $\varnothing 28$  определяют диаметры посадочных цилиндрических поверхностей, а размер  $M 20 \times 2$  на рис. 8.3 указывает, что

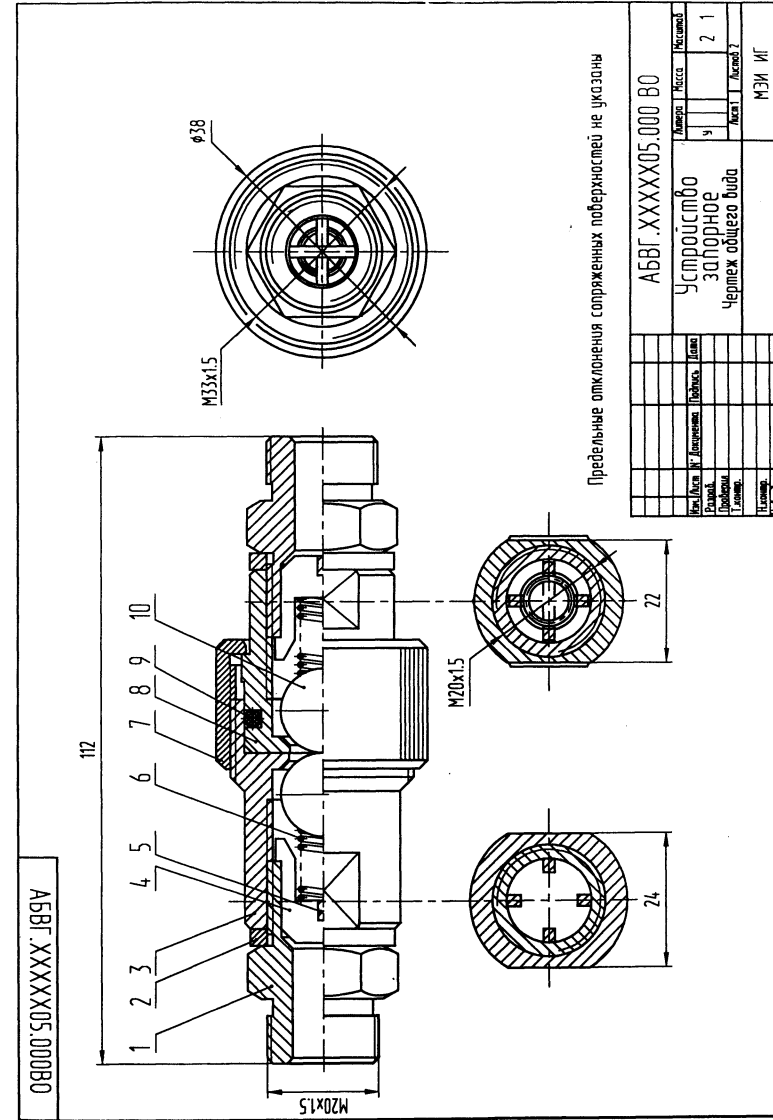
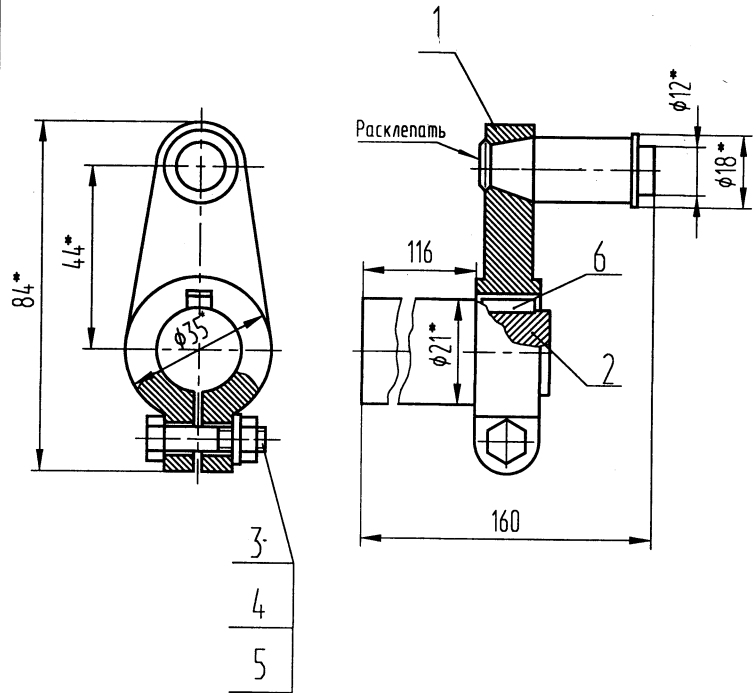


Рис. 8.1



\* Размеры для справок

МИФТ.ХХХХХХ.000 СБ

Кривошип  
Сборочный чертеж

Лист	Масса	Масштаб
4		1:1
Лист		Листов 1
МЭИ Кафедра ИГ		

Изм.	Лист	Документа	Подпись	Дата
Разраб.				
Проверил				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

соединение штока с крышкой осуществляется по метрической резьбе М20 с мелким шагом, равным 2.

На сборочных чертежах при необходимости дополнительно проставляют размеры, необходимые для сборки изделия.

На рис.8.2 приведен сборочный чертеж, на котором проставлены размеры, определенные для данного документа. Габаритными являются размеры 84, Ø35 и 160, установочный размер – 44, присоединительные размеры – Ø21, 116 и Ø12. Размеры, проставленные на чертеже, подлежат контролю, но большинство из этих размеров были уже проконтролированы при изготовлении деталей, и в процессе сборки необходимость в повторной проверке не возникла. Для того чтобы такие размеры исключить из числа проверяемых, их отмечают знаком "\*" и над основной надписью делают запись "Размер для справок".

Размеры, не подлежащие исполнению и контролю по данному чертежу и указанные для служебных и эксплуатационных целей, называются справочными размерами.

Таким образом, у сборочной единицы "Кривошип" (рис. 8.2) контролю подлежат только размеры 116 и 160.

Рис. 8.2



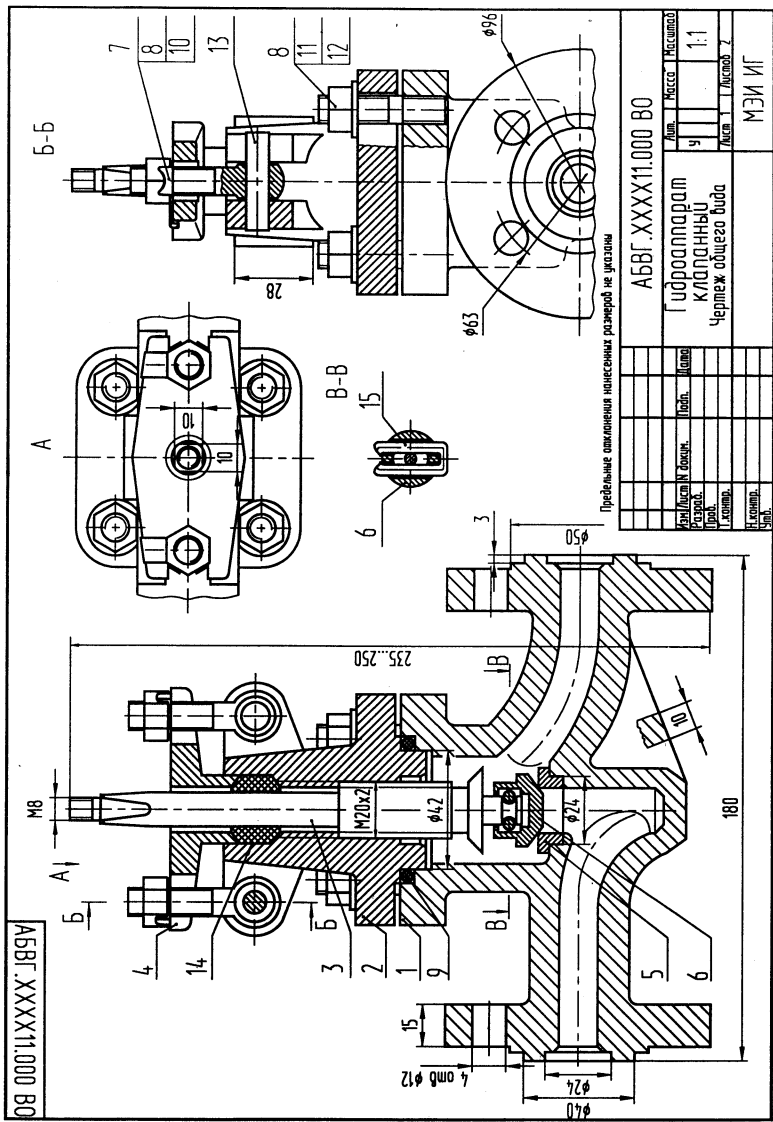


Рис. 8.3

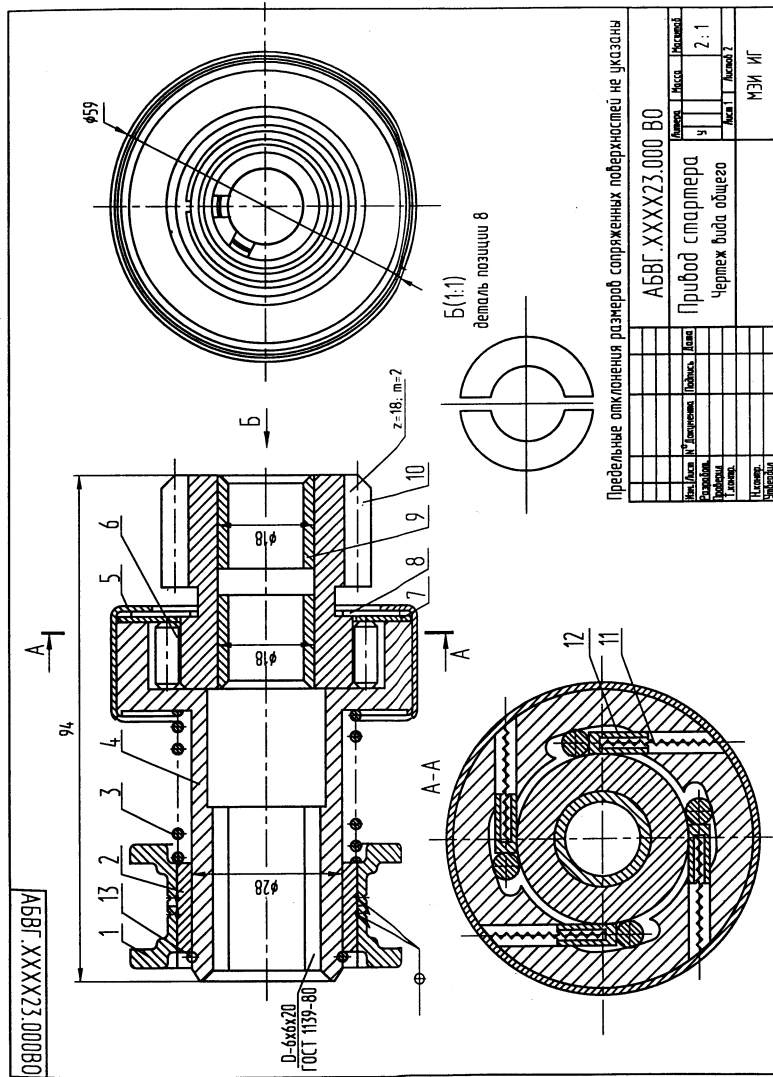


Рис. 8.4

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Райян Д. Инженерная графика в САПР. - М.: Мир, 1989. - 383 с.
2. ГОСТ 2.307-68. Нанесение размеров и предельных отклонений. - Введ. 01.01.71. - В сб.: Общие правила выполнения чертежей, с. 69-101. УДК 62 (084.11):006.354. Группа Т52 СССР.