

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Е.Л. Чепурина, Д.А. Рыбалкин, Д.Л. Кушнарева, Е.С. Шнарас,  
А.С. Свиридов

# **НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА**

*Учебник*

Москва  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева  
2023

УДК 514.1 (075.8)  
ББК 22.151.3я73  
Ч 44

*Рецензенты:*

*Казанцев С.П., д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой сопротивление материалов и детали машин ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

*Леонтьев А.А., канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры цифровое управление процессами в АПК ФГБОУ ВО Вавиловский университет*

Ч 44 Начертательная геометрия и инженерная графика / Е.Л. Чепурина, Д.А. Рыбалкин, Д.Л. Кушнарера, Е.С. Шнарас, А.С. Свиридов; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева. – Москва: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2023. – 250 с. – Текст: электронный.

Учебник содержит основные материалы начертательной геометрии и инженерной графики. Представлены следующие разделы: виды проецирования, ортогональные системы двух и трех плоскостей проекции и способы задания геометрических объектов на них, методы преобразования проекций, поверхности, позиционные и метрические задачи, развертки поверхностей, геометрическое и проекционное черчение, построение разъемных соединений, шероховатость поверхностей, выполнение эскизов деталей и рабочих чертежей, чертеж общего вида.

Соответствует требованиям федеральных государственных стандартов высшего образования последнего поколения.

Учебник предназначен для студентов, обучающихся по инженерно-техническим специальностям.

Descriptive geometry and engineering graphics / E.L. Chepurina, D.A. Rybalkin, I.A. Bashmakov, D.L. Kushnareva, E.S. Shnaras, A.S. Sviridov; Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy. - Moscow: RSAU-MTAA named after K.A. Timiryazev, 2023. – 127 p. - Text: electronic.

The textbook contains the basic materials of descriptive geometry and engineering graphics. The following sections are presented: types of projection, orthogonal systems of two and three projection planes and methods of specifying geometric objects on them, methods of projection transformation, surfaces, positional and metric tasks, surface scans, geometric and projection drawing, construction of detachable joints, surface roughness, execution of sketches of parts and working drawings, general drawing.

Meets the requirements of the federal state standards of higher education of the latest generation.

The textbook is intended for students studying engineering and technical specialties.

УДК 681.3.06 (075)  
ББК 30.2-5-05

© Чепурина Е.Л., Рыбалкин Д.А., Кушнарера Д.Л., Шнарас Е.С., Свиридов А.С., 2023  
© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2023

# Введение

Главным условием успешного овладения техническими знаниями является умение читать чертежи и правильно их выполнять и оформлять. Начертательную геометрию и инженерную графику относят к таким предметам, при изучении которых учащиеся знакомятся с отображением пространственных трехмерных геометрических объектов на плоскости и широким кругом технических понятий.

Начертательная геометрия — основа графической грамотности, изучая которую студенты знакомятся с законами построения различных фигур на плоскостях проекций. На основе этих знаний в инженерной графике выполняются чертежи как простых деталей, так и сложных машин и механизмов.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по инженерно-техническим специальностям.

Содержание учебного пособия соответствует программам по дисциплинам «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика», а также требованиям ФГОС ВО нового поколения.

В результате освоения дисциплин «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика» обучающийся должен:

## ***знать***

- основные виды проецирования;
- методы преобразования проекций;
- правила оформления конструкторской документации в соответствии с ЕСКД;
- основные стандарты ЕСКД, нормативные материалы и техническую документацию, методику составления технической документации по утвержденным формам;

## ***уметь***

- решать позиционные и метрические задачи;
- составлять и оформлять типовую техническую документацию;
- применять действующие стандарты по оформлению:
  - конструкторской документации;
  - рабочих чертежей и эскизов деталей и машин;
- выполнять и читать чертежи, схемы и другую конструкторскую документацию для осуществления профессиональной деятельности с учетом нормативных правовых актов;

## ***владеть***

- методами изображения пространственных объектов на плоских чертежах;

- навыками разработки технической документации и стандартов;
- способами использования в оформлении нормативных документов и соблюдении норм и регламента в инженерно-технической деятельности;
- навыками оформления нормативно-технической документации с учетом нормативных правовых актов в профессиональной деятельности.

Начертательная геометрия и инженерная графика способствуют развитию геометрического образа мышления, пространственного воображения, что очень важно для будущего инженера, а также являются основой для успешного освоения профильных дисциплин.

# НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ

## Принятые условные обозначения

- Г.О. — геометрические объекты  
 $A, B, C, \dots$  — точки пространства  
 $A_1, B_1, C_1, \dots$  — горизонтальные проекции точек  $A, B, C$   
 $A_2, B_2, \dots$  — фронтальные проекции точек  
 $a_1, b_1, d_1, \dots$  — линии (без надстрочного знака — прямые)  
 $h$  — горизонтальные линии  
 $f$  — фронтальные линии  
 $p$  — профильные линии  
 $[]$  — отрезок  
 $\alpha, \beta, \gamma, \pi$  — поверхности  
 $\pi_3$  — профильная плоскость проекций  
 $\pi_2$  — фронтальная плоскость проекций  
 $\pi_1$  — горизонтальная плоскость проекций  
 $\alpha^\circ$  — угол  
 $\perp$  — перпендикулярно  
 $\parallel$  — параллельно  
 $\perp\!\!\!\perp$  — проецирующее положение Г.О.  
 $\cap$  — пересечение Г.О.  
 $\supset$  — Г.О. проходит через  
 $\in$  — Г.О. принадлежит  
 $\subset$  — Г.О. включает (содержит)  
 $\pitchfork$  — Г.О. скрещивается (о линиях)  
 $\notin$  — Г.О. не принадлежит, не проходит  
 $\subseteq$  — повернуто или вращается  
 $=$  — результат построения  
 $\rightarrow$  — отображение, последовательность действий  
 $\equiv$  — совпадение, тождество  
*Надстрочные знаки:*  
 $\frown$  — кривая  
 $\wedge$  — ломаная  
 $\circ$  — окружность  
 $-$  — отрицание

# Глава 1

## ВИДЫ ПРОЕЦИРОВАНИЯ

Способы отображения пространственных трехмерных геометрических объектов на плоскости (поверхности) и восстановления таких объектов в пространстве по их отображениям изучает предмет *начертательная геометрия*.

В начертательной геометрии при отображении трехмерных геометрических объектов на плоскость (поверхность) применяют *метод проецирования*.

В качестве геометрических объектов в начертательной геометрии рассматривают точки, линии и поверхности (плоскости), которые относятся к неопределенным понятиям геометрии. Они не могут быть определены с помощью других, более простых понятий.

Для построения проекций геометрических объектов на плоскость существует несколько методов, рассмотрим некоторые из них.

### 1.1. ЦЕНТРАЛЬНОЕ ПРОЕЦИРОВАНИЕ

Любой проекционный чертеж выполняется с помощью операции проецирования. Для проведения этой операции необходим аппарат проецирования, состоящий из центра проецирования  $S$ , проецирующих линий  $l$ , объекта проецирования  $A$  и поверхности проекций  $\pi$ .

Для построения центральной проекции  $A_1$  точки  $A$  (рис. 1.1) из центра проецирования  $S$  через точку  $A$  проводят проецирующий луч до пересечения с плоскостью проекции. Точка  $A_1$  называется *центральной проекцией* точки  $A$ . Для построения центральной проекции  $C_1D_1$  отрезка прямой  $CD$  находят центральные проекции точек  $C$  и  $D$  ( $C_1$  и  $D_1$ ), так как две точки однозначно определяют прямую.

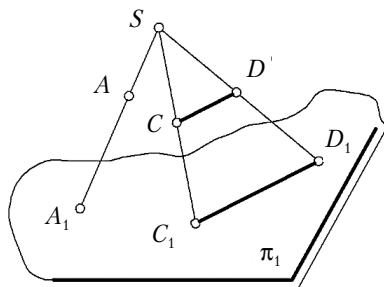


Рис. 1.1. Центральное проецирование

## 1.2. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПРОЕЦИРОВАНИЕ

Если заменить собственный центр проецирования  $S$  на направление проецирования  $S$ , получим метод, называемый *параллельным проецированием*, следовательно, такой метод является частным случаем центрального проецирования, когда центр проекции удален в бесконечность (рис. 1.2). В этом случае проецирующие лучи будут параллельны между собой. Для построения проекции точки  $A$  ( $A_1$ ) на плоскость  $\pi_1$  проведем проецирующую линию  $AA_1$  параллельно направлению  $S$  до пересечения с плоскостью, где и получим  $A_1$  — параллельную проекцию точки  $A$  на плоскость  $\pi_1$ .

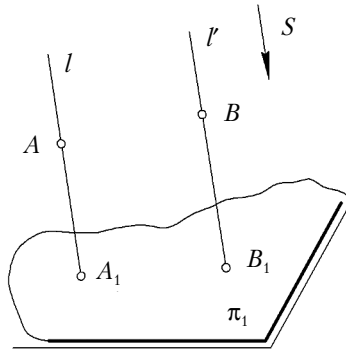


Рис. 1.2. Параллельное проецирование

Поскольку любой геометрический объект можно рассматривать как совокупность точек (например  $N$ ), то для построения его проекции на плоскость  $N_1$  необходимо получить совокупность проекций этих точек (рис. 1.3). Для этого необходимо через каждую точку геометрического объекта (линии) провести проецирующую прямую, параллельную заданному направлению проецирования  $S$ . Все проецирующие прямые будут параллельны друг другу, что и дало название проекции — *параллельная*.

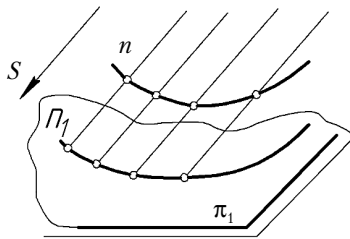


Рис. 1.3. Проекция геометрического объекта на плоскость

### 1.3. ОРТОГОНАЛЬНОЕ ПРОЕКЦИРОВАНИЕ

Если направление  $S$  параллельного проецирования перпендикулярно плоскости проекций  $\pi$  (рис. 1.4), то проецирование называется *прямоугольным*, или *ортогональным*. При этом процесс построения проекций упростится, так как не требуется оговаривать на чертеже направление проецирования, оно всегда известно. В связи с этим вполне понятно, что данный метод положен в основу выполнения почти всех чертежей. Далее рассматриваемые примеры и задачи начертательной геометрии будут решаться с использованием только этого метода.

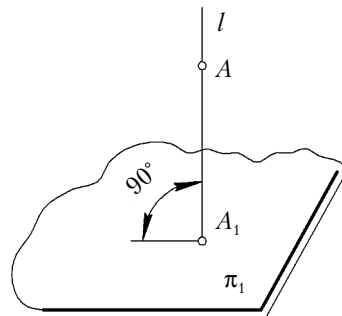


Рис. 1.4. Ортогональное проецирование

### 1.4. СВОЙСТВО ОРТОГОНАЛЬНОГО ПРОЕКЦИРОВАНИЯ

*Инвариантные (неизменные)* свойства ортогонального проецирования устанавливают следующие зависимости между геометрическими объектами и их проекциями на чертеже (рис. 1.5).

#### 1.4.1. Позиционные свойства

1. Проекция точки есть точка, причем только одна. Обратное свойство не сохраняется (рис. 1.5, а).

2. Проекция линии в общем случае есть линия, причем только одна (рис. 1.5, б).

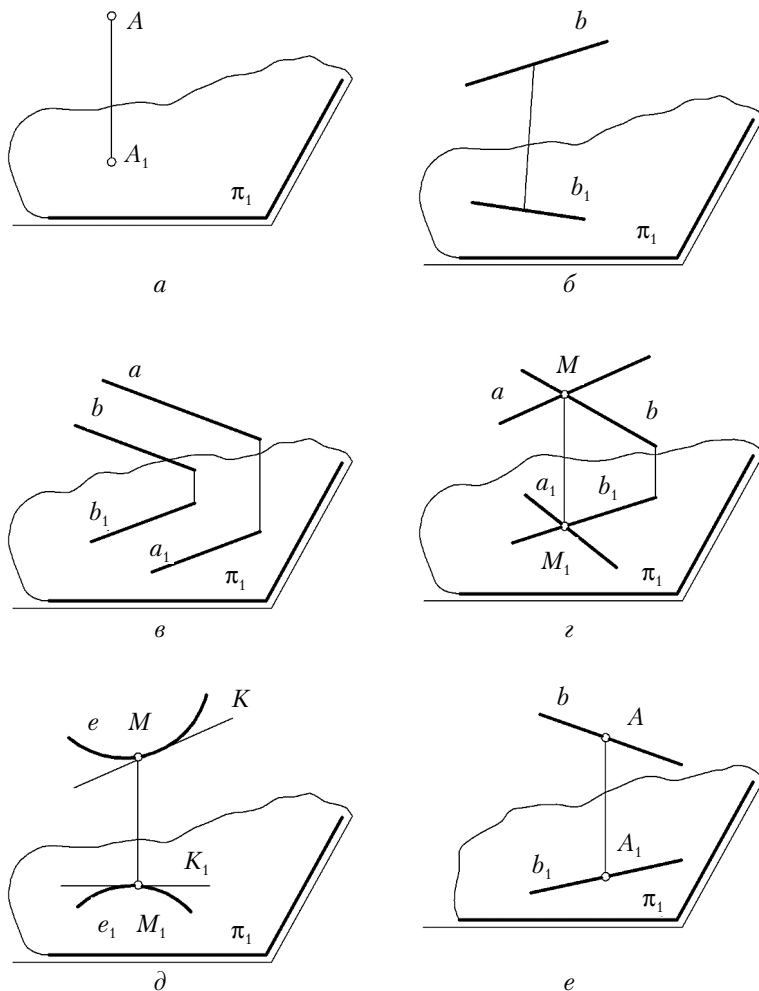
Частный случай. Если прямая перпендикулярна плоскости проекций, то ее проекцией будет точка. Такие прямые называются *проецирующими*.

3. Проекции параллельных прямых параллельны (рис. 1.5, в).

4. Проекции пересекающихся линий пересекаются. При этом проекции точки пересечения находятся на одной линии связи (рис. 1.5, г, д).



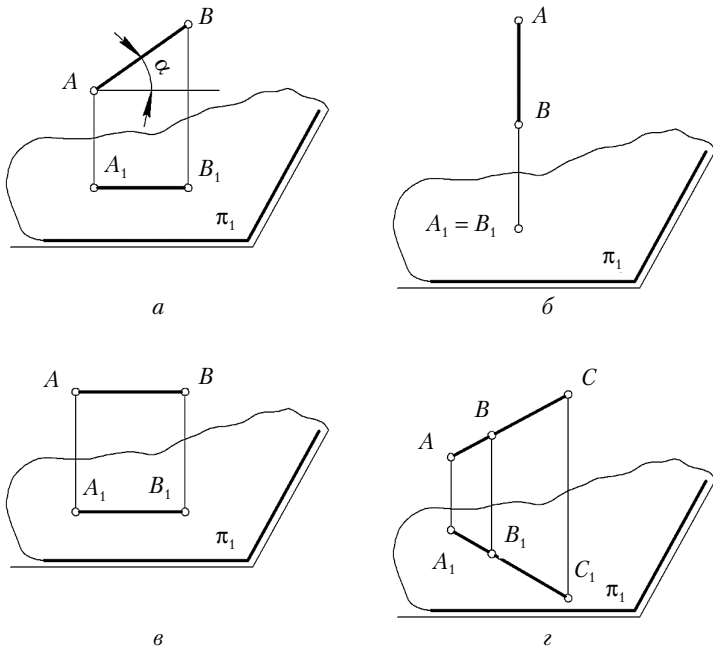
5. Если точка принадлежит линии, то проекция точки принадлежит проекции линии (рис. 1.5, *e*).



**Рис. 1.5.** Позиционные свойства ортогонального проецирования

### 1.4.2. Метрические свойства

1. Длина проекции отрезка равна его длине, умноженной на  $\cos\alpha$ , где  $\alpha$  — угол наклона отрезка к плоскости проекций (рис. 1.6, *a*).



**Рис. 1.6.** Метрические свойства ортогонального проецирования

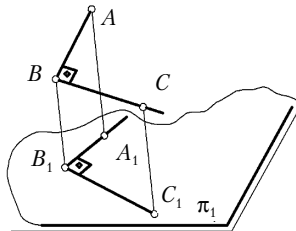
При  $\alpha = 90^\circ$ ,  $A_1B_1 = 0$ ,  $AB$  — проецирующая прямая (рис. 1.6, б);

При  $\alpha = 0$ ,  $A_1B_1 = AB$ ,  $AB$  — прямая уровня (рис. 1.6, в);

При  $\frac{AB}{BC} = \frac{A_1B_1}{B_1C_1}$  — отношение отрезков одной прямой в пространстве и на плоскости сохраняется (рис. 1.6, г).

2. Теорема о проецировании прямого угла.

*Если одна сторона прямого угла параллельна плоскости проекции, а вторая не перпендикулярна ей, то прямой угол проецируется на эту плоскость проекции без искажения (рис. 1.7).*



**Рис. 1.7.** Проецирование прямого угла на плоскость

3. Угол, не равный  $90^\circ$ , или плоская фигура проецируются без искажения, если плоскость, в которой они расположены, параллельна плоскости проекции.

*Контрольные вопросы и задания*

1. Что изучает начертательная геометрия?
2. Дайте определение проекции точки?
3. Какие методы проецирования вы знаете?
4. Сформулируйте основные свойства прямоугольного (ортогонального) проецирования. Приведите примеры.
5. Сформулируйте теорему о проецировании прямого угла.

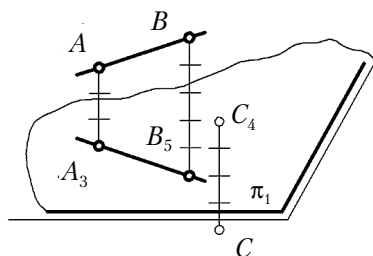
## Глава 2

# ОРТОГОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДВУХ И ТРЕХ ПЛОСКОСТЕЙ ПРОЕКЦИЙ ЧЕРТЕЖ МОНЖА

Перечисленные свойства показывают, что ортогональная проекция позволяет по заданному оригиналу построить его чертеж, однако не позволяет однозначно воспроизвести оригинал, т.е. решить обратную задачу. Отсутствие этого свойства вынуждает при использовании ортогональных проекций производить дополнение проекционных чертежей необходимыми данными.

Существует несколько путей:

- *первый* — заданный оригинал одновременно ортогонально проецируется на две или больше плоскостей проекций;
- *второй* — вводится проекция пространственной системы координат, к которой предварительно отнесен изображаемый оригинал, что ведет к получению аксонометрических проекций;
- *третий* заключается в дополнении проекционного чертежа числовыми значениями, что ведет к образованию проекции с числовыми отметками. При этом способе для каждой точки на плоскости проекций дополнительно указывают величину ее удаления от заданной плоскости проекции (обычно в метрах). На рис. 2.1 точки  $A$  и  $B$  находятся соответственно на 3 и 5 м выше плоскости проекций, а точка  $C$  — ниже на 4 м.



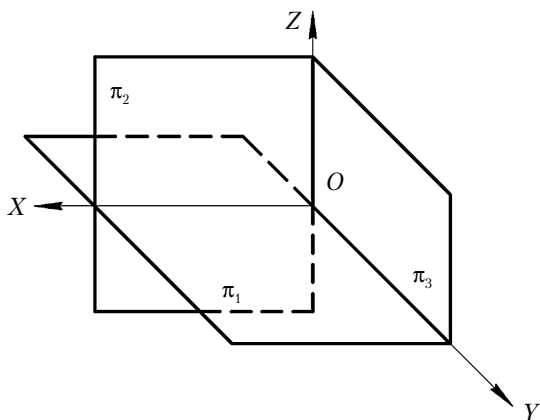
**Рис. 2.1.** Проекции в числовых отметках

В изучаемом курсе начертательной геометрии рассматриваются первые два из них.

В связи с тем, что при ортогональном методе проецирования проецирующие линии к плоскости расположены перпендикулярно, то и вводимые плоскости проекций наиболее целесообразно также

рассматривать перпендикулярно друг к другу. Таких плоскостей может быть две, три.

При этом удобно одну плоскость расположить перед наблюдателем. Эту плоскость назовем **фронтальной** — обозначим  $\pi_2$ . Вторую плоскость проекций расположим под наблюдателем — ее назовем **горизонтальной** и обозначим  $\pi_1$ . Третью плоскость — **профильную** (обозначим ее  $\pi_3$ ) — разместим справа от наблюдателя. Взаимно пересекаясь, эти три плоскости проекций образуют систему координат с центром в точки их пересечения  $O$  (рис. 2.2).



**Рис. 2.2.** Плоскости проекций

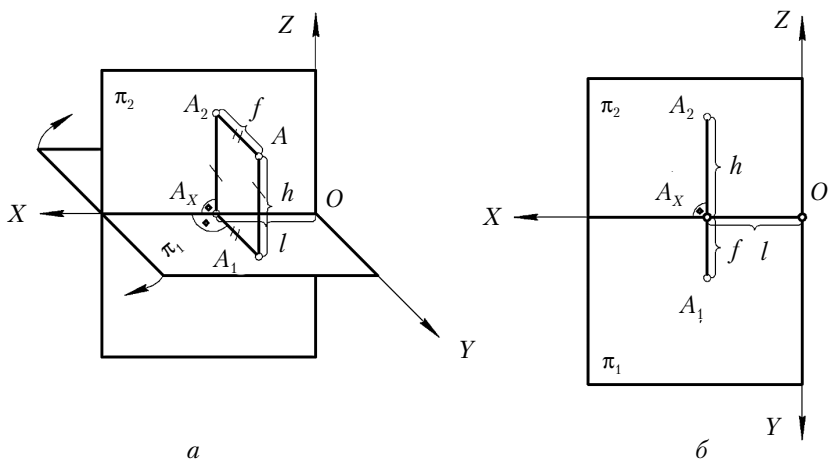
Попарно пересекаясь, плоскости образуют координатные оси  $\pi_1 \cap \pi_2 = OX$ ,

$\pi_1 \cap \pi_3 = OY$ ,  $\pi_2 \cap \pi_3 = OZ$ . Положительным направлением оси  $OX$  принято считать направление влево по отношению к наблюдателю, оси  $OY$  — к наблюдателю, оси  $OZ$  — вверх.

Для получения чертежа часто ограничиваются двумя плоскостями проекций, при этом профильную плоскость не учитывают. И остается только одна координатная ось —  $OX$ .

Спроецируем ортогонально на плоскости проекций  $\pi_1$  и  $\pi_2$  точку  $A$  (рис. 2.3), тогда получим две ее проекции: горизонтальную  $A_1$  на плоскости  $\pi_1$  и фронтальную  $A_2$  на плоскости  $\pi_2$ .

Справедливы и обратные построения, а именно: если из  $A_1$  и  $A_2$  к плоскостям  $\pi_1$  и  $\pi_2$  восстановить перпендикуляры, то на их пересечении получим положение точки  $A$  в пространстве. Линии  $A_X A_1$  и  $A_X A_2$  получаются в том случае, если рассмотреть пересечение плоскости, образованной двумя пересекающимися проецирующими линиями  $AA_1$  и  $AA_2$ , с плоскостями проекций  $\pi_1$  и  $\pi_2$ .



**Рис. 2.3.** Точка в пространстве (а) и эпюр Монжа точки А (б)

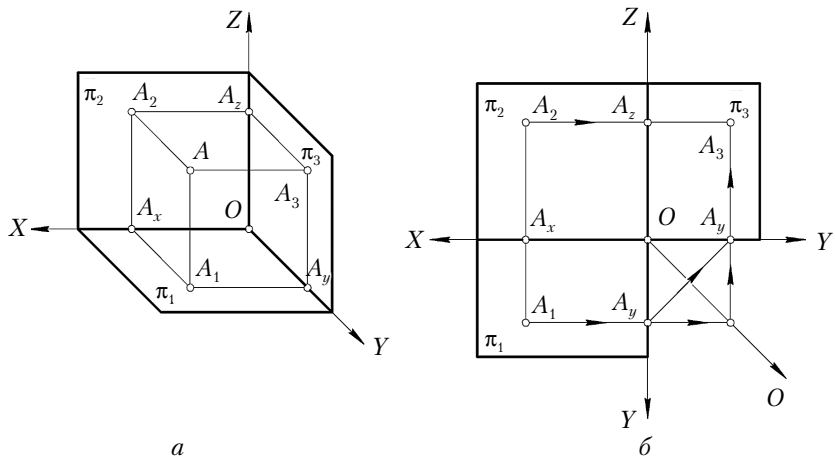
Расстояние  $AA_1$  точки  $A$  от горизонтальной плоскости проекций называют **высотой**  $h$  точки  $A$ , ее расстояние  $A_2A$  от фронтальной плоскости проекций — **глубиной**  $f$  точки  $A$ , а  $l$  — это **длина** точки  $A$ , или расстояние от выбранного центра системы координат. Полученный чертеж неудобен для практического использования. Поэтому было предложено преобразовывать его в плоский чертеж, для этого горизонтальную плоскость  $\pi_1$  повернули вокруг оси  $X$  (как показано стрелкой, рис. 2.3, а) до совмещения с продолжением фронтальной плоскости проекции  $\pi_2$ . Этот плоский двухкартинный чертеж точки  $A$  (рис. 2.3, б) получил название **чертеж точки**, или **эпюр Монжа точки**, состоящий из двух проекций  $A_1A_2$ , и стал проекционной основой чертежа.

Из рис. 2.3, б видно, что проекции  $A_1$  и  $A_2$  стали лежать на одной прямой, перпендикулярной к оси  $OX$ . Прямую  $A_1A_2$  назвали **линией связи**. Высота  $h$ , глубина  $f$  и длина  $l$  остались без изменения. Полученный чертеж точки является обратимым, т.е. по построенным проекциям можно определить ее положение в пространстве. Обозначив длину, глубину и высоту координатами соответственно  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , становится понятно, что они определяются двумя проекциями, следовательно, чтобы на чертеже однозначно задать геометрический объект, достаточно двух его проекций.

Возвратимся к трехкартинному чертежу (рис. 2.4, а).

При этом чертеж Монжа получается вращением плоскостей проекций  $\pi_1$  и  $\pi_3$  соответственно вокруг осей  $OX$  и  $OZ$  до совмещения с продолжением фронтальной плоскости  $\pi_2$ . Профильная проекция

точки может быть построена по ее горизонтальной и фронтальной проекциям (рис. 2.4, б).



**Рис. 2.4.** Точка в пространстве (а) и эюр точки А (б)

На чертеже Монжа не всегда указывают оси координат. Такие чертежи называют *безосными*. Оси необходимы в двух случаях:

- если используется способ замены плоскостей проекций;
- если геометрические фигуры заданы координатами своих точек.

В этих случаях оси нужны как базы отсчета размеров.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Объясните, что такое эюр точки.
2. Чем отличается эюр точки от ее изображения в пространстве?
3. Что называют координатами точек?
4. Как обозначают координаты точек?
5. Каков порядок построения эюра точки по трем координатам?
6. Каков порядок построения третьей проекции точки по двум заданным?

## Глава 3

# ПРЯМАЯ ЛИНИЯ НА ЧЕРТЕЖЕ

### 3.1. ПОЛОЖЕНИЕ ПРЯМОЙ В ПРОСТРАНСТВЕ

Для определения положения прямой в пространстве достаточно задать две любые принадлежащие ей точки, а на чертеже — проекции двух принадлежащих ей точек (рис. 3.1).

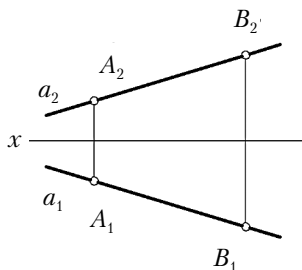


Рис. 3.1. Прямая общего положения

Поскольку прямую можно рассматривать как множество точек, то каждую из этих точек можно считать элементами прямой. Следовательно, точка  $A$  принадлежит прямой  $a$ , если ее проекции принадлежат одноименным проекциям прямой:  $A \in a$ , если  $A_1 \in a_1$ ,  $A_2 \in a_2$ .

Рассмотрим положение прямой в пространстве относительно плоскостей проекций. Прямая в пространстве может занимать общее или частное положение.

*Прямая общего положения* — прямая, не параллельная ни одной из плоскостей проекций (рис. 3.1). На чертеже Монжа проекции прямой общего положения расположены наклонно ко всем осям, а на бесконечном чертеже — наклонно к линиям связи.

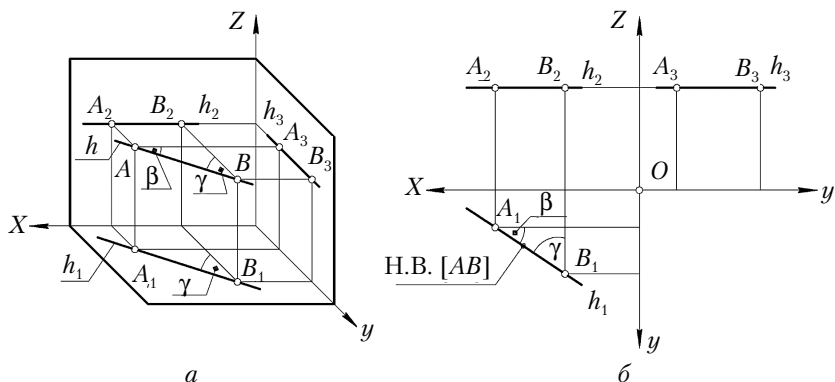
Прямые, параллельные одной из плоскостей проекции, называют *прямыми уровня*. Существуют три типа прямых уровня:

- *горизонтالي* — прямые, параллельные горизонтальной плоскости проекции  $\pi_1$  (рис. 3.2);
- *фронтали* — прямые, параллельные фронтальной плоскости проекции  $\pi_2$  (рис. 3.3);



- *профильные* — прямые, которые располагаются параллельно  $\pi_3$  (рис. 3.4).

Фронтальная проекция горизонтали  $h_2$  (см. рис. 3.2) параллельна оси  $OX$  или перпендикулярна к линии связи  $A_2A_1$ . На горизонтальную плоскость проекций отрезок горизонтальной прямой проецируется без искажения, либо в натуральную величину (Н.В.).



**Рис. 3.2.** Горизонталь (а) и эпюр горизонтали (б)

Угол  $\beta$  между горизонтальной проекцией горизонтальной прямой и осью  $OX$  является натуральной величиной угла наклона этой линии с плоскостью  $\pi_2$ , а угол  $\gamma$  между  $h_1$  и осью  $OY$  — натуральной величиной угла наклона горизонтали к  $\pi_3$ .

Горизонтальная проекция фронтали  $f_1$  (см. рис. 3.3) параллельна оси  $OX$  или перпендикулярна к линии связи  $A_1A_2$ . На фронтальную плоскость проекций отрезок фронтальной прямой проецируется без искажения. Угол  $\alpha$  между фронтальной проекцией этой прямой и осью  $OX$  является натуральной величиной угла наклона этой линии с плоскостью  $\pi_1$  а угол  $\gamma$  между  $f_2$  и осью  $OZ$  — углом наклона фронтали к  $\pi_3$ .

У профильной прямой (см. рис. 3.4) горизонтальная  $P_1$  и фронтальная  $P_2$  проекции лежат на одной вертикальной линии связи. Отрезок, лежащий на этой прямой, в натуральную величину проецируется на профильную плоскость проекций.

Угол  $\alpha$ , показывающий наклон фронтальной прямой к  $\pi_1$ , и угол  $\beta$  — к  $\pi_2$ , проецируются в натуральную величину.

Прямые, параллельные двум плоскостям проекций, принято называть **проецирующими**, при этом они всегда будут располагаться перпендикулярно к третьей плоскости.

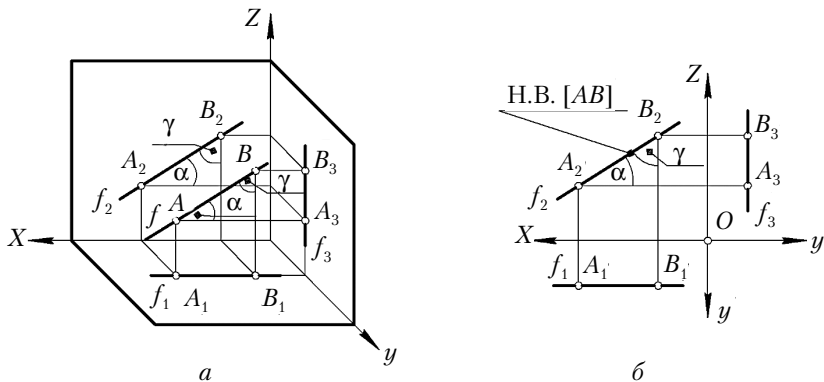


Рис. 3.3. Фронталь (а) и эпюр фронтали (б)

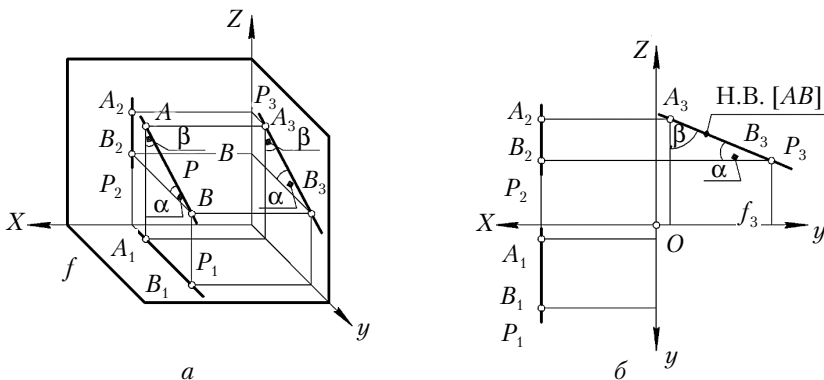


Рис. 3.4. Профильные линии (а) и эпюр профильной линии (б)

Рассмотрим три типа проецирующих прямых:

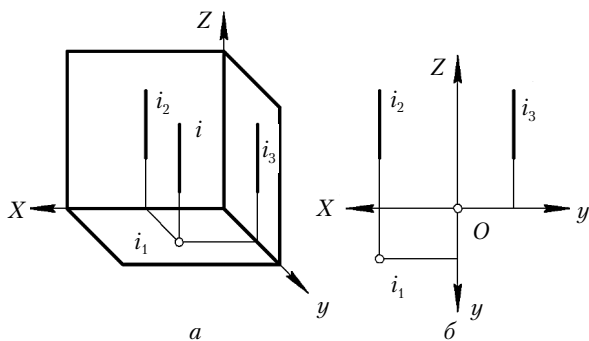
- **горизонтально-проецирующие** (рис. 3.5) — прямые расположены перпендикулярно к горизонтальной плоскости проекции  $\pi_1$ ;
- **фронтально-проецирующие** (рис. 3.6) — прямые расположены перпендикулярно фронтальной плоскости проекций  $\pi_2$ ;
- **профильно-проецирующие** (рис. 3.7) — прямые расположены перпендикулярно к профильной плоскости  $\pi_3$ .

Приведем общие признаки чертежа проецирующей прямой:

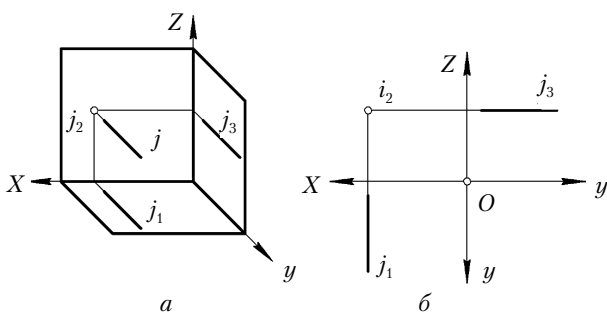
1. Отрезок, лежащий на таких прямых, проецируется в истинную величину на плоскости, по отношению к которым прямые параллельны.

2. Проецирующая прямая на перпендикулярную ей плоскость проекций проецируется или вырождается в точку, и эта проекция

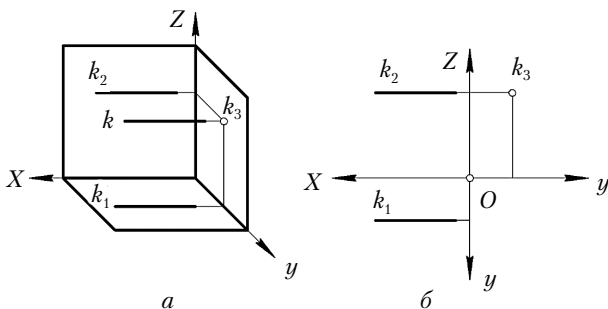
обладает собирательным свойством, т.е. в эту точку проецируются все точки прямой.



**Рис. 3.5.** Горизонтально-проецирующая прямая (а) и эфир горизонтально-проецирующей прямой (б)



**Рис. 3.6.** Фронтально-проецирующая прямая (а) и эфир фронтально-проецирующей прямой (б)



**Рис. 3.7.** Профильно-проецирующая прямая (а) и эфир профильно-проецирующей прямой (б)

### 3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАТУРАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ОТРЕЗКА ПРЯМОЙ ОБЩЕГО ПОЛОЖЕНИЯ И УГЛОВ НАКЛОНА ЕЕ К ПЛОСКОСТЯМ ПРОЕКЦИЙ

Натуральную величину отрезка прямой общего положения можно определить с помощью прямоугольного треугольника (рис. 3.8, а). В треугольнике  $ABB_0$  катет  $AB_0 = A_1B_1$ , так как  $AB_0 \parallel A_1B_1$ . Второй катет  $BB_0 = \Delta Z = Z_B - Z_A$ . Гипотенуза  $AB$  является натуральной величиной отрезка.

На чертеже Монжа (рис. 3.8, б)  $A_1B_1$  — горизонтальная проекция отрезка (первый катет), второй катет  $B_1B_0 = \Delta Z$  — разность координат  $Z$  точек  $B$  и  $A$  (разность расстояний от точек  $B$  и  $A$  до плоскости  $\pi_1$ ). Гипотенуза  $A_1B_0$  — натуральная величина отрезка. Угол  $B_1A_1B_0$  — натуральная величина угла наклона отрезка с плоскостью  $\pi_1$ .

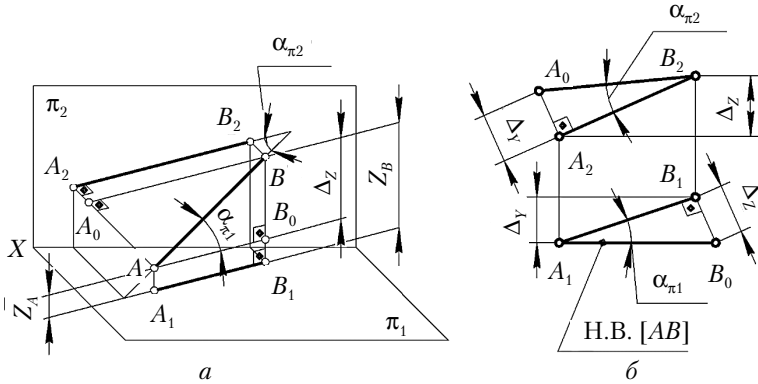


Рис. 3.8. Метод прямоугольного треугольника в пространстве (а) и в проекциях (б)

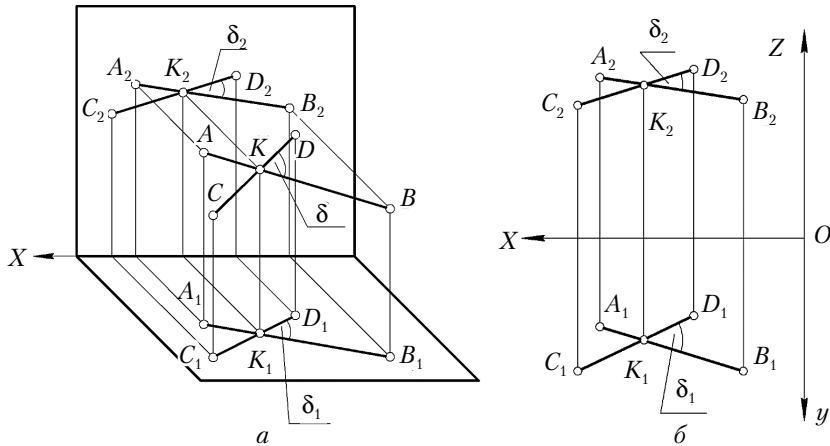
Для определения угла наклона с плоскостью  $\pi_2$  строят прямоугольный треугольник  $A_2A_0B_2$ , в котором  $A_0B_2$  — натуральная величина отрезка, а угол  $A_0B_2A_2$  — натуральная величина угла наклона отрезка с плоскостью  $\pi_2$ .

### 3.3. ВЗАИМНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ДВУХ ПРЯМЫХ

Две прямые в пространстве могут пересекаться, быть параллельными, скрещиваться.

*Признаком пересекающихся прямых* на чертеже является то, что точки пересечения их одноименных проекций лежат на одной линии связи.

Действительно, если в пространстве (рис. 3.9, а) точка  $K$  принадлежит обеим прямым  $AB$  и  $CD$  ( $AB \cap CD = K$ ), то проекции этих точек на плоскости  $\pi_1 A_1B_1 \cap C_1D_1 = K_1$  и на плоскости  $\pi_2 A_2B_2 \cap C_2D_2 = K_2$  должны быть точками пересечения проекций данных прямых, то на плоскости  $\pi_2 A_2B_2 \cap C_2D_2 = K_2$  на плоскость  $\pi_1 A_1B_1 \cap C_1D_1 = K_1$ , а на чертеже (рис. 3.9, б)  $K_2K_1$  лежат на одной линии связи.



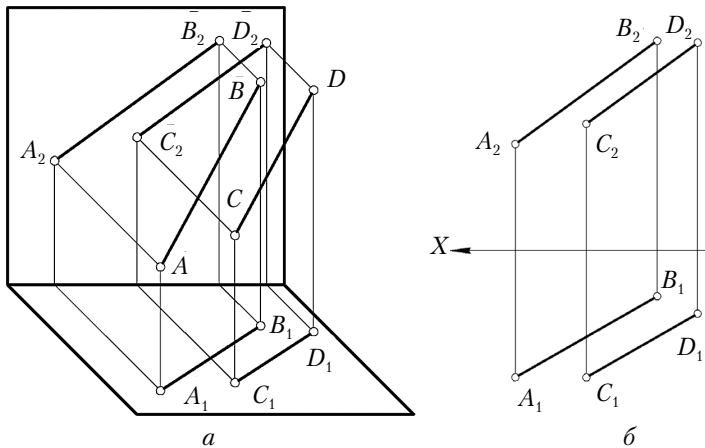
**Рис. 3.9.** Пересекающиеся прямые в пространстве (а) и на чертеже (б)

*Признаком параллельности прямых на чертеже является то, что на чертеже их одноименные проекции параллельны.* Это следует из свойства ортогонального проецирования. На рис. 3.10 показаны две параллельные прямые  $AB$  и  $CD$ . Если в пространстве  $AB$  и  $CD$  параллельны (рис. 3.10, а), то на плоскости  $\pi_2 A_2B_2 \parallel C_2D_2$ , а на  $\pi_1 - A_1B_1 \parallel C_1D_1$  (рис. 3.10, б).

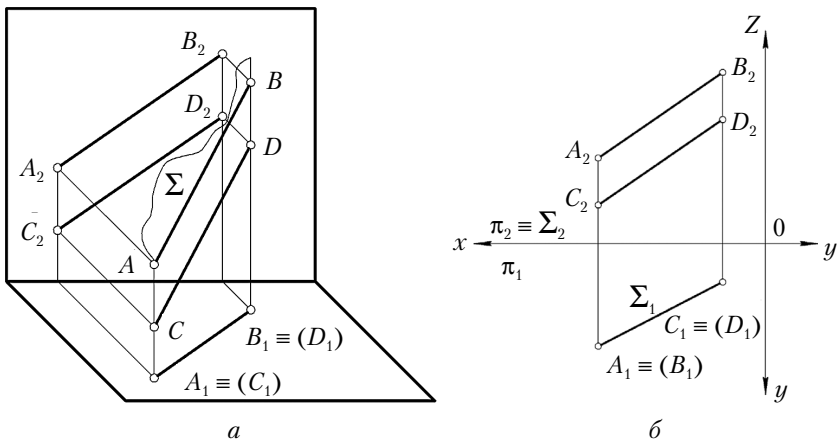
В частном случае у параллельных прямых некоторые проекции могут совпадать, если обе прямые лежат в плоскости, расположенной перпендикулярно одной из плоскостей проекции (рис. 3.11, а, б). Отсюда видно, что отрезки лежат в плоскости  $\Sigma$ , которая располагается перпендикулярно  $\pi_1$ . Поэтому их горизонтальные проекции  $A_1B_1 \equiv C_1D_1$ .

Для прямых общего положения справедливо и обратное утверждение: *если одноименные проекции прямых параллельны, то прямые в пространстве параллельны.* Такое утверждение не всегда верно для прямых уровня. Так, например, горизонтальные и фронтальные проекции двух профильных прямых параллельны (рис. 3.12), но для установления взаимного расположения необходимо построить их профильные проекции или проверить равенство отно-

шений проекций этих отрезков. Анализируя положение проекции, делаем вывод: *если профильные проекции не параллельны, то не параллельны и сами отрезки.*

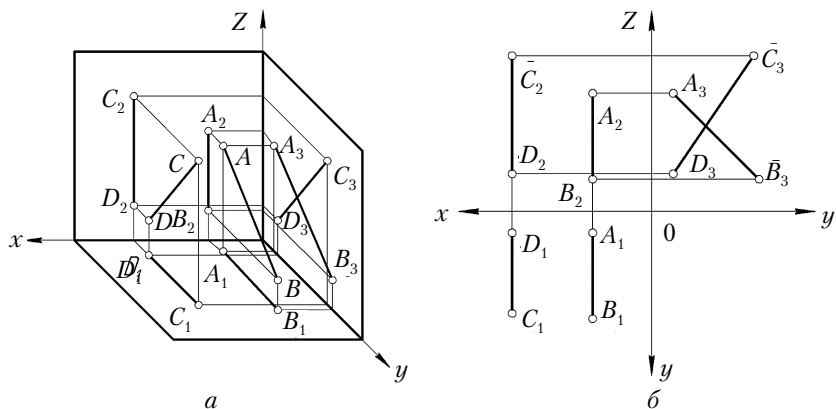


**Рис. 3.10.** Параллельные прямые в пространстве (а) и на чертеже (б)

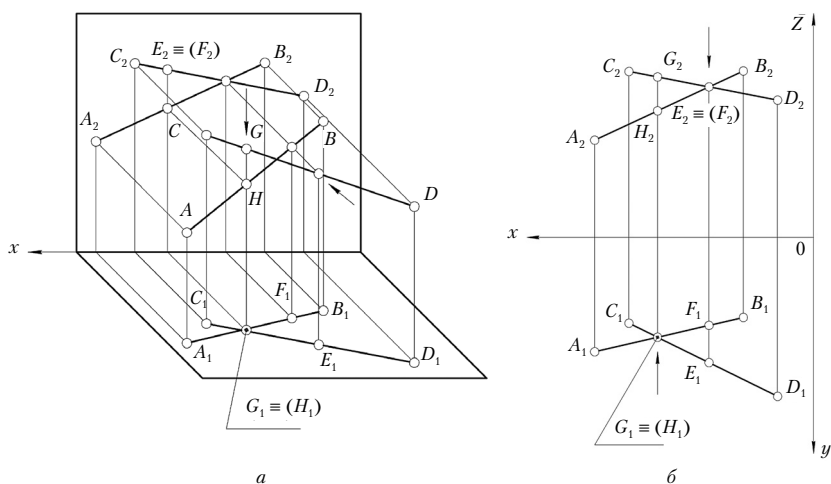


**Рис. 3.11.** Параллельные прямые, лежащие в одной плоскости в пространстве (а) и на чертеже (б)

Если в пространстве прямые не параллельны между собой и не пересекаются, то они называются **скрещивающимися**. *Признаком скрещивающихся прямых* на чертеже является то, что точки пересечения их одноименных проекций не лежат на одной линии связи (рис. 3.13, а, б).



**Рис. 3.12.** Профильные скрещивающиеся прямые в пространстве (а) и на чертеже (б)



**Рис. 3.13.** Скрещивающиеся прямые в пространстве (а) и на чертеже (б)

Из рис. 3.13 видно, что точки пересечения горизонтальных и фронтальных проекции являются совпадающими проекциями двух различных точек. Действительно, фронтальные проекции отрезков пересекаются в точке  $E_2 \equiv (F_2)$ , а горизонтальные — в точке  $G_1 \equiv (H_1)$ , которые лежат на разных линиях связи.

Такие точки называются **конкурирующими** и используются для определения видимости при рассмотрении взаимного располо-

жения двух геометрических фигур, образующих (при построении отсека поверхности). На  $\pi_2$  точка  $E_2$  закрывает собой точку  $F$ , так как она находится ближе к наблюдателю, а на  $\pi_1$  точка  $G_2$  закрывает собой точку  $H$ , так как точка  $G$  находится выше точки  $H$  (направление взгляда показано стрелками).

### *Контрольные вопросы и задания*

1. Какие прямые называются прямыми общего положения?
2. Какие линии относятся к линиям частного положения?
3. Какие линии называют линиями уровня?
4. Какие линии называют горизонталью, фронталью, профильной линией?
5. Какие прямые называют проецирующими?
6. Объясните, как определить натуральный размер отрезка, занимающего общее положение, методом прямоугольного треугольника.
7. Перечислите, какое положение могут занимать линии в пространстве.
8. Как изображают пересекающиеся, параллельные и скрещивающиеся прямые?

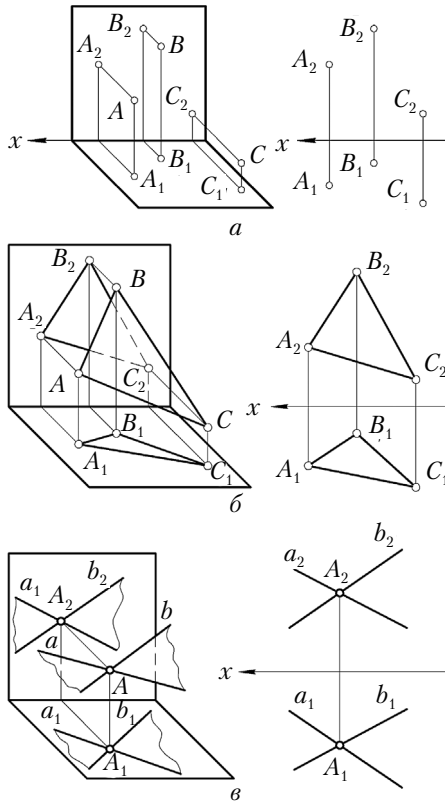


# Глава 4

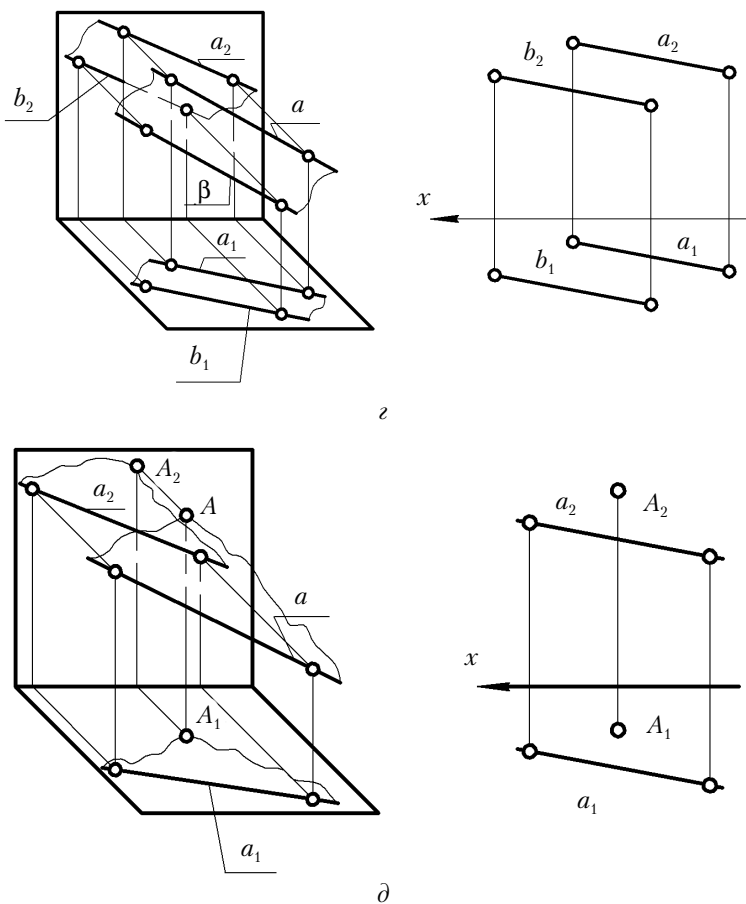
## ПЛОСКОСТЬ НА ЧЕРТЕЖЕ

### 4.1. СПОСОБЫ ЗАДАНИЯ ПЛОСКОСТИ НА ЧЕРТЕЖЕ

Для того чтобы задать плоскость, достаточно задать три ее точки, не лежащие на одной прямой (рис. 4.1, *а*). Поэтому плоскость может быть задана треугольником (рис. 4.1, *б*) (любой плоской геометрической фигурой), двумя пересекающимися прямыми (рис. 4.1, *в*), параллельными прямыми (рис. 4.1, *г*), прямой и точкой, не принадлежащей этой прямой (рис. 4.1, *д*). Все эти способы равноценны, и всегда можно перейти от одного вида задания к любому другому.



**Рис. 4.1** (начало). Задание плоскости в пространстве и на чертеже: *а* — тремя точками; *б* — плоской фигурой; *в* — пересекающимися прямыми;



**Рис. 4.1** (окончание). Задание плоскости в пространстве и на чертеже: *z* — двумя параллельными прямыми; *d* — прямой и точкой

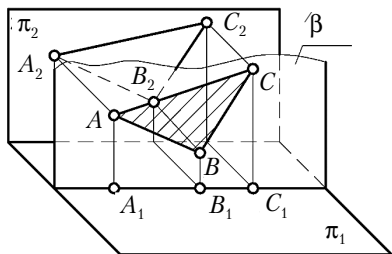
#### 4.2. ПОЛОЖЕНИЕ ПЛОСКОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНО ПЛОСКОСТЕЙ ПРОЕКЦИЙ

Как и прямая, плоскость в пространстве может занимать любое положение относительно плоскостей проекций. Если плоскость произвольно расположена относительно плоскостей проекций, то она называется **плоскостью общего положения** (см. рис. 4.1, *a – d*).

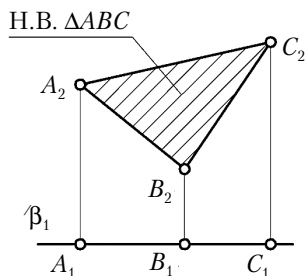
Кроме этого, следует понимать, что плоскость в пространстве может занимать и частное положение. Под **частным** понимают

такое положение, когда заданная плоскость будет параллельна или перпендикулярна какой-либо плоскости проекции. Плоскости, параллельные какой-либо плоскости проекции, называют **плоскостями уровня**.

Существуют три семейства плоскостей уровня: **фронтальные**, **горизонтальные** и **профильные**, т.е. плоскости, параллельные соответственно фронтальной, горизонтальной и профильной плоскостям проекции (рис. 4.2, рис. 4.3).

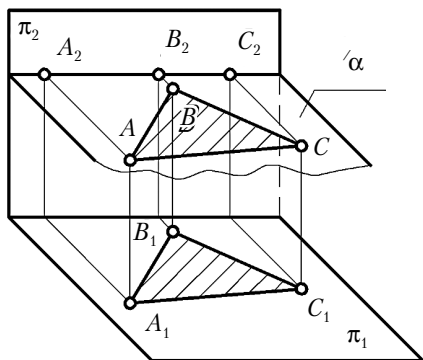


а

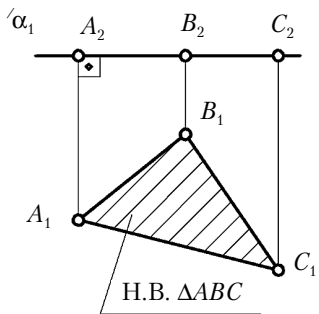


б

**Рис. 4.2.** Фронтальная плоскость уровня в пространстве (а) и на плоскости проекций (б)



а



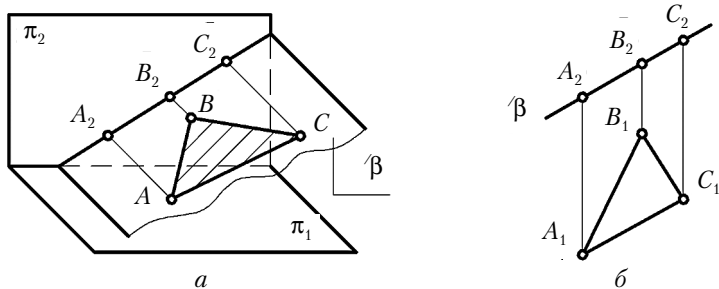
б

**Рис. 4.3.** Горизонтальная плоскость уровня в пространстве (а) и на плоскости проекций (б)

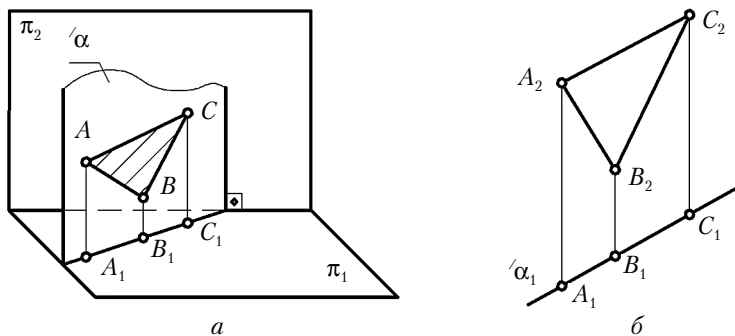
Из этих рис. 4.2, 4.3 следует, что все геометрические элементы, принадлежащие плоскости уровня, проецируются на параллельную ей плоскость проекций в истинную величину, а на другие плоскости

проекций плоскость уровня проецируется в прямые, параллельные соответствующим координатным осям, а также по отношению к непараллельным ей плоскостям проекции плоскость уровня обладает собирательным свойством.

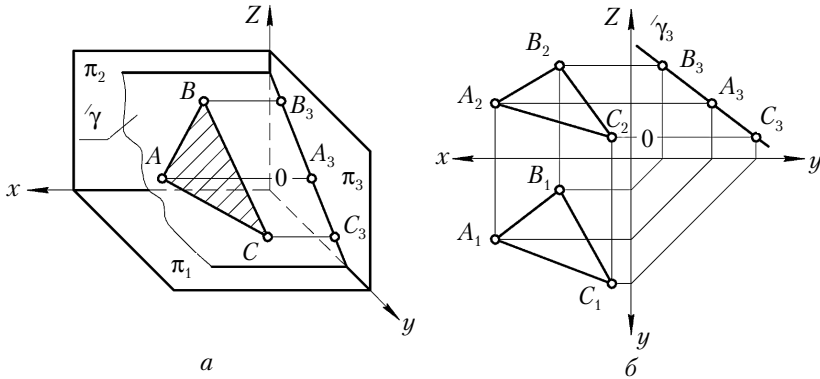
Другим типом плоскостей частного положения являются **проецирующие плоскости**. Под **проецирующими** будем понимать плоскости, перпендикулярные какой-либо плоскости проекций. Их также три семейства: **фронтально-, горизонтально- и профильно-проецирующие** — соответственно плоскости, перпендикулярные фронтальной, горизонтальной и профильной плоскостям проекций. Так, на рис. 4.4–4.6 представлены соответственно фронтально-проецирующая плоскость  $\beta \perp \pi_2$ , горизонтально-проецирующая плоскость  $\alpha \perp \pi_1$  и профильно-проецирующая плоскость  $\gamma \perp \pi_3$ .



**Рис. 4.4.** Фронтально-проецирующая плоскость в пространстве (а) и на плоскости проекций (б)



**Рис. 4.5.** Горизонтально-проецирующая плоскость в пространстве (а) и на плоскости проекций (б)



**Рис. 4.6.** Профильно-проецирующая плоскость в пространстве (а) и на плоскости проекций (б)

Из этих рисунков видно, что проецирующая плоскость:

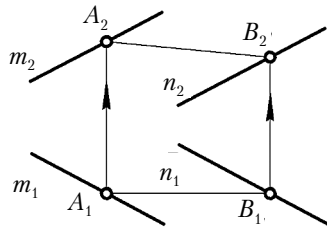
- проецируется на перпендикулярную ей плоскость проекций в прямую линию;
- по отношению к перпендикулярной ей плоскости проекций обладает собирательным свойством;
- проецируется на все поле неперпендикулярных ей плоскостей проекций, а также образует углы с неперпендикулярными ей плоскостями проекции, истинная величина которых видна на перпендикулярной ей плоскости проекций.

#### 4.3. ПРЯМЫЕ И ТОЧКИ, ЛЕЖАЩИЕ В ПЛОСКОСТИ

Если прямая принадлежит плоскости, то все ее точки принадлежат этой плоскости. Для определения такой прямой достаточно установить любые две принадлежащие ей точки. Для этого целесообразнее всего выбирать такие точки, которые лежат на пересечении искомой прямой с какими-либо уже известными прямыми этой плоскости.

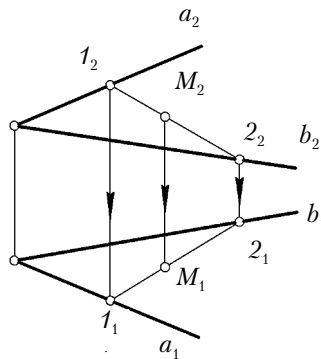
На рис. 4.7 плоскость задана двумя параллельными прямыми  $\alpha (m \parallel n)$ . Для того чтобы провести в этой плоскости произвольную прямую, возьмем две точки  $A$  и  $B$  ( $A \in m, B \in n$ ). Соединяя одноименные проекции этих точек, получим проекции  $A_1B_1$  и  $A_2B_2$  прямой  $AB$ .

Построенная прямая принадлежит данной плоскости, так как имеет с ней две общие точки. Точка принадлежит плоскости, если она принадлежит прямой, лежащей в этой плоскости.



**Рис. 4.7.** Принадлежность прямой и точки плоскости

Рассмотрим пример: построить горизонтальную проекцию точки  $M$ , лежащую в плоскости  $\alpha (a \cap b)$ , если ее фронтальная проекция  $M_2$  задана (рис. 4.8).



**Рис. 4.8.** Построение горизонтальной проекции точки  $M$

Проводим через точку  $M$  прямую  $l_2$ , фронтальная проекция которой  $l_2 2_2$  должна проходить через заданную проекцию точки  $M_2$ . Построив горизонтальную проекцию прямой  $l_1 2_1$ , находим на ней искомую горизонтальную проекцию точки  $M$  —  $M_1$ .

#### 4.4. ГЛАВНЫЕ ЛИНИИ ПЛОСКОСТИ

Среди прямых плоскости выделяют такие, которые занимают особое положение в пространстве, к ним относятся линии уровня и линии наибольшего наклона.

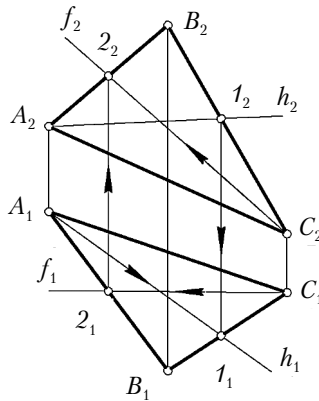
Прямые плоскости, параллельные какой-либо плоскости проекции, называют **главными**, или **линиями уровня плоскости**.

В общем случае плоскость содержит три семейства линий уровня: параллельных соответственно фронтальной, горизонтальной и профильной плоскостям проекций. Поэтому их называют **фронталями**, **горизонталями** и **профильными прямыми плоскости**.

Позиционные свойства таких линий: все прямые одного и того же семейства параллельны друг другу.

Для построения проекций линий уровня необходимо одновременно выполнить два условия: условие параллельности прямой, соответствующей плоскости проекций, и условие принадлежности этой же прямой заданной плоскости.

На рис. 4.9 построены фронталь и горизонталь заданной плоскости  $\beta$  ( $\triangle ABC$ ). Для построения фронтали сначала проводим ее горизонтальную проекцию  $C_1 2_1 - f_1$ , зная, что ее направление всегда перпендикулярно к линии связи  $C_1 C_2$ .



**Рис. 4.9.** Фронталь и горизонталь плоскости

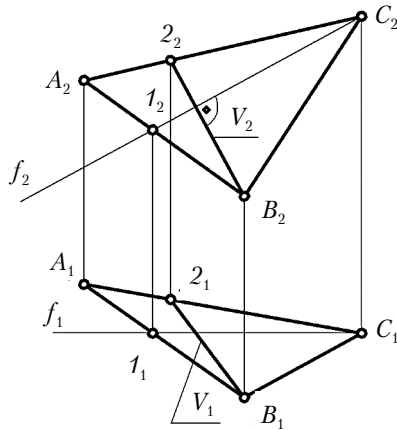
По принадлежности находят фронтальную проекцию точки  $2-2_2$ , принадлежащей стороне  $AB$ , и проводят фронтальную проекцию искомой фронтали  $C_2 2_2 - f_2$ .

Построение горизонтали  $h$  плоскости аналогично построению фронтали, только вначале проводят фронтальную проекцию  $h_2$  перпендикулярно  $A_2 A_1$ , а затем ее горизонтальную проекцию  $h_1$  по принадлежности к стороне  $BC$  плоскости треугольника  $ABC$ .

Прямые плоскости, перпендикулярные ее линиям уровня, называют **линиями наибольшего наклона** плоскости к плоскостям проекций. Существуют три семейства линий наибольшего наклона,

перпендикулярные фронталям, горизонталям и профильным прямым плоскости. Из определения линий наибольшего наклона следует, что для их построения необходимо одновременно выполнить два условия: условие принадлежности заданной плоскости и условие перпендикулярности к соответствующим линиям уровня плоскости.

На рис. 4.10 показано построение линии наибольшего наклона  $\Delta ABC$  к фронтальной плоскости проекций  $\pi_2$ .



**Рис. 4.10.** Линия наибольшего наклона

Проведем фронталь плоскости  $f$  через точку  $C$  ( $f_1 \perp C_1C_2$ ). Так как фронталь параллельна фронтальной плоскости проекций, то на эту плоскость прямой угол между линией наибольшего наклона и фронталью проецируется без искажения. Исходя из этого, построение линии наибольшего наклона начинается с проведения ее фронтальной проекции, которая перпендикулярна фронтальной проекции фронтали ( $2_2B_2 \perp C_2f_2$ ). Горизонтальная проекция линии наибольшего наклона строится по принадлежности точки 2 стороне  $AC$ .

#### 4.5. УГЛЫ НАКЛОНА ПЛОСКОСТИ К ПЛОСКОСТЯМ ПРОЕКЦИЙ

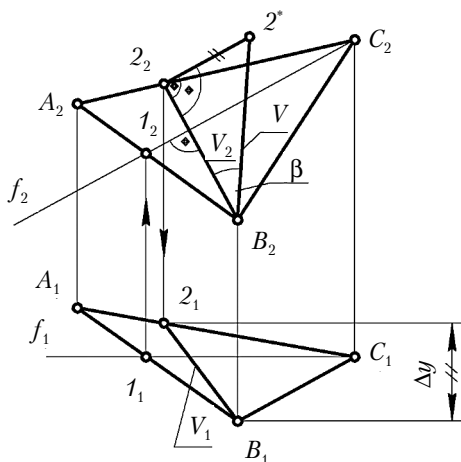
Линия наибольшего наклона плоскости к плоскости проекций, перпендикулярная какой-либо линии уровня плоскости, состав-



ляет наибольший из всех других прямых плоскости угол с соответствующей плоскостью проекций.

Поэтому для определения угла наклона заданной плоскости с соответствующей плоскостью проекций необходимо провести линию наибольшего наклона плоскости к данной плоскости проекций и определить по способу треугольника истинную величину отрезка этой линии. Угол наклона плоскости к данной плоскости проекции будет находиться между истинной величиной отрезка линии наибольшего наклона и ее проекцией на данную плоскость проекций.

На рис. 4.11 угол  $\beta$  определяет наклон плоскости  $\alpha'$  ( $\triangle ABC$ ) к фронтальной плоскости проекций  $\pi_2$ .



**Рис. 4.11.** Угол наклона плоскости к фронтальной плоскости проекций

Проведем фронталь  $f$  ( $f_1 \perp C_1C_2$ ). Построим проекции линии наибольшего наклона  $V$  плоскости треугольника ( $V_2 \perp f_2$ ) через точки  $2$  и  $B$ . По способу прямоугольного треугольника определим истинную величину отрезка  $2B$  линии наибольшего наклона.

#### 4.6. ВЗАИМНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ПРЯМОЙ И ПЛОСКОСТИ

Прямая параллельна плоскости, если она параллельна какой-либо прямой, принадлежащей плоскости. На рис. 4.12 прямая  $a$  параллельна плоскости  $\gamma'$  ( $\triangle ABC$ ), так как она параллельна прямой  $m$  ( $1, 2$ ) этой плоскости ( $m_1(1_1, 2_1) \parallel a_1, m_2(1_2, 2_2) \parallel a_2$ ).

Из курса элементарной геометрии известно: прямая перпендикулярна плоскости, если она перпендикулярна любым двум пересекающимся прямым этой плоскости.

Таким образом, для построения перпендикуляра к плоскости в ней необходимо выбрать две любые пересекающиеся прямые и построить третью прямую, составляющую с каждой из них прямой угол. В качестве таких прямых следует принимать линии уровня заданной плоскости, так как только в этом случае может быть использована теорема о проецировании прямого угла. Из точки  $A$  (см. рис. 4.12) опустим перпендикуляр к плоскости  $\lambda$  ( $a \parallel b$ ). Проведем горизонталь  $h$ ,  $h \supset 1$  ( $h_2 \perp 1_2 1_1$ ) и фронталь  $f$  заданной плоскости  $f \supset 4$  ( $f_1 \perp 4_1 4_2$ ). Проведем проекции нормали  $n$ ,  $n_2 \perp f_2$  и  $n_1 \perp h_1$  плоскости  $\lambda$  как прямую, перпендикулярную  $h$  и  $f$ . Из выполненных построений следует формулировка: прямая перпендикулярна плоскости, если ее горизонтальная проекция перпендикулярна горизонтальной проекции горизонтали, а фронтальная проекция — фронтальной проекции фронтали этой плоскости.

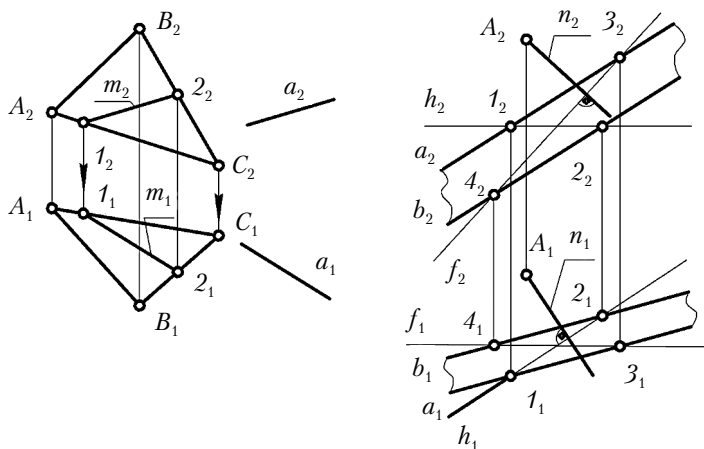
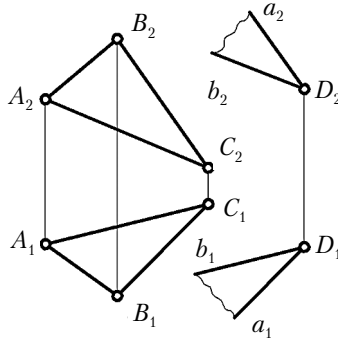


Рис. 4.12. Условие параллельности прямой и плоскости

#### 4.7. ВЗАИМНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ДВУХ ПЛОСКОСТЕЙ

Если две плоскости в пространстве параллельны, то две пересекающиеся прямые одной плоскости соответственно параллельны двум пересекающимся прямым второй плоскости. Через точку  $D$  проведем плоскость  $\sigma$  ( $a \cap b$ ), параллельную  $\lambda$  ( $\Delta ABC$ ) (рис. 4.13).

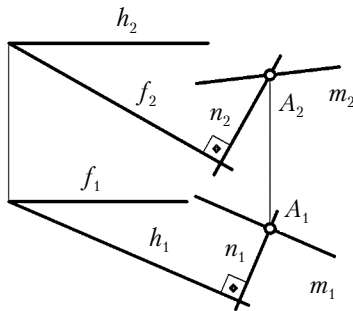


**Рис. 4.13.** Условие параллельности двух плоскостей

Через точку  $D$  проведем прямые  $a$  и  $b$ , соответственно параллельные сторонам  $BC$  и  $AC$ . Так как прямые  $a$  и  $b$  пересекаются в точке  $D$ , то они задают искомую плоскость.

Две плоскости перпендикулярны, если одна из них проходит через перпендикуляр к другой.

Через прямую  $m$  проведем плоскость  $\gamma$ , перпендикулярную плоскости  $\phi$  ( $h \cap f$ ) (рис. 4.14). Вначале через точку  $A$ , лежащую на  $m$ , проводим прямую  $n$ , перпендикулярную плоскости  $\phi$  ( $n_1 \perp h_1$ ,  $n_2 \perp f_2$ ). В свою очередь, пересекающиеся прямые  $m$  и  $n$  определяют искомую плоскость  $\gamma$ .



**Рис. 4.14.** Условие перпендикулярности двух плоскостей

### Контрольные вопросы и задания

1. Поясните, как можно задать плоскость общего положения на чертеже.
2. Какие линии являются главными в плоскостях общего положения?
3. Как построить линию уровня в плоскостях?

4. Какие плоскости частного положения вы знаете и как их показывают на чертеже?
5. Какие линии называют линиями наклона и линиями ската плоскости? Как их изображают?
6. Каково условие принадлежности точки прямой?
7. Объясните условие принадлежности прямой плоскости.
8. Как построить прямую, параллельную плоскости общего положения?
9. Покажите на примере построение прямой, перпендикулярной плоскости общего положения.
10. Как построить на чертеже плоскость общего положения, параллельную другой плоскости общего положения?
11. Постройте на чертеже плоскость общего положения, перпендикулярную другой плоскости общего положения.

## Глава 5

# МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРОЕКЦИЙ

Решение многих позиционных и метрических задач существенно упрощается, если предварительно перевести заданные на чертеже Монжа проекции геометрического объекта из общего положения в частное. Для этого требуется построение новых дополнительных проекций исходя из уже двух заданных. Дополнительные проекции позволяют получить либо вырожденные проекции геометрических объектов, либо проекции в натуральную величину. Построение дополнительных проекций называют **преобразованием чертежа**.

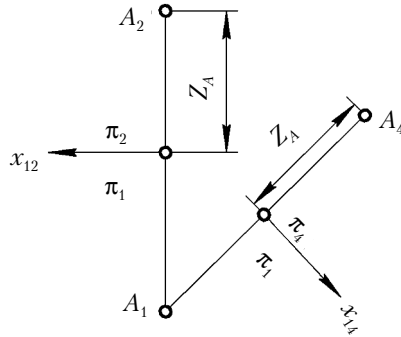
Все многообразие задач, решаемых с использованием различных методов преобразования чертежа, условно сформулировано в четыре основные:

- преобразование прямой общего положения в прямую уровня;
- преобразование прямой общего положения в прямую проецирующую;
- преобразование плоскости общего положения в плоскость проецирующую;
- преобразование плоскости общего положения в плоскость уровня.

### 5.1. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРОЕКЦИЙ СПОСОБОМ ЗАМЕНЫ ПЛОСКОСТЕЙ ПРОЕКЦИЙ

Сущность этого метода заключается в следующем: предмет в пространстве сохраняет свое положение, а плоскости проекций меняют свое положение относительно заданного геометрического объекта, сохраняя взаимную перпендикулярность двух плоскостей проекций (новой и заданной).

Переход от одной системы плоскостей к другой легко проследить на ортогональном чертеже (рис. 5.1). Точка  $A$  задана проекциями  $A_1$  и  $A_2$  в системе плоскостей проекций  $\pi_2/\pi_1$ . Дополнительно построенная ось  $X_{14}$  определяет положение горизонтально проецирующей плоскости  $\pi_4$  и систему плоскостей  $\pi_4/\pi_1$  на чертеже. Проекция  $A_4$  точки  $A$  на плоскости  $\pi_4$  находится на прямой, перпендикулярной оси  $X_{14}$ , на расстоянии  $Z_A$  от нее, равном расстоянию от точки  $A$  до горизонтальной плоскости проекции  $\pi_1$ . Величина  $Z_A$  определяется из основного чертежа.

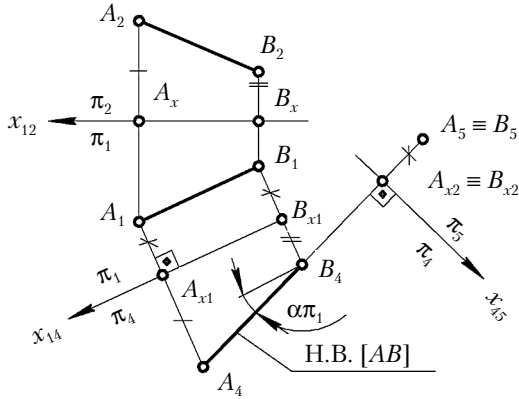


**Рис. 5.1.** Переход от одной системы плоскостей к другой

Замена одной из плоскостей проекций не всегда приводит к окончательному решению поставленной задачи. Иногда придется менять две и более плоскостей проекций, но всегда необходимо выполнять правило: расстояние от новой проекции точки до новой оси должно равняться расстоянию от заменяемой проекции точки до предыдущей оси.

**Задача 1. Преобразовать прямую общего положения в прямую уровня.** Для решения этой задачи плоскость  $\pi_2$  заменена на новую плоскость  $\pi_4$  (рис. 5.2), параллельную отрезку  $AB$  и перпендикулярную плоскости  $\pi_1$ . Новая ось  $X_{14}$  параллельна  $A_1B_1$  — горизонтальной проекции отрезка. Переходим от системы  $\pi_1/\pi_2$  к системе  $\pi_1/\pi_4$ . Проводим от проекций  $A_1$  и  $B_1$  линии связи ортогонально  $X_{14}$ . Расстояния от оси  $X_{14}$  до  $A_4$  и  $B_4$  соответственно равны расстояниям от  $A_2$  и  $B_2$  до предыдущей оси  $X_{12}$ . На плоскость  $\pi_4$  отрезок  $AB$  проецируется в натуральную величину ( $A_4B_4 = Н.В. AB$ ), а угол между  $A_4B_4$  и осью  $X_{14}$  является углом наклона отрезка  $AB$  с плоскостью  $\pi_1$ .

**Задача 2. Преобразовать прямую общего положения в прямую проецирующую.** Эта задача решается в два этапа. Сначала (см. рис. 5.2) прямую общего положения преобразуют в прямую уровня (первый этап), а потом (второй этап) прямую уровня преобразуют в прямую проецирующую. Для этого переходят от системы  $\pi_1/\pi_4$  к системе  $\pi_4/\pi_5$ . Плоскость проекции  $\pi_5$  располагается перпендикулярно  $\pi_4$  и заданному отрезку  $AB$ . Ось  $X_{45}$  проводят перпендикулярно  $A_4B_4$ , и на линии связи откладывают расстояния соответственно  $A_{X2}A_5 = A_{X1}A_1$  и  $B_{X2}B_5 = B_{X1}B_1$ . Так как  $A_{X1}A_1 = B_{X1}B_1$ , то на  $\pi_5$  проекции точек  $A$  и  $B$  совпадают с  $A_5 \equiv B_5$ , т.е. по отношению к плоскости  $\pi_5$  прямая является проецирующей.



**Рис. 5.2.** Решение основных задач преобразования (первая и вторая задачи)

**Задача 3. Преобразовать плоскость общего положения в плоскость проецирующую.** Для того чтобы решить эту задачу, необходимо выполнить два условия: дополнительная плоскость проекций должна быть перпендикулярна заданной плоскости и одной из основных плоскостей проекций. Первое условие будет выполнено тогда, когда дополнительная плоскость проекций будет перпендикулярна одной из главных линий заданной плоскости, расположенных параллельно основной плоскости проекций.

Рассмотрим решение. На рис. 5.3 плоскость задана  $\triangle ABC$ . В этой плоскости через вершину  $A$  проведем горизонталь  $h$  ( $h_2 \perp A_2A_1$ ).

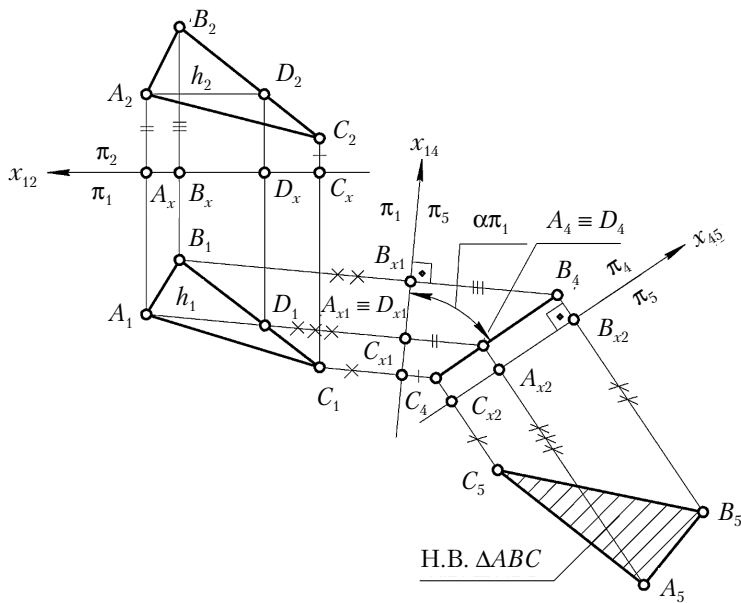
Так как горизонталь является линией уровня, ее легко преобразовать в прямую проецирующую (см. решение задачи № 2). Если  $h$  ( $A, D$ ) будет перпендикулярна новой плоскости проекции  $\pi_4$ , то и плоскость  $\triangle ABC$  будет ей перпендикулярна.

Поэтому переходят от системы  $\pi_1/\pi_2$  к системе плоскостей  $\pi_1/\pi_4$ , где  $\pi_4 \perp \pi_1$  и  $\pi_4 \perp \triangle ABC$ . Для этого в произвольном месте проведем перпендикулярно горизонтальной проекции  $h_1$  горизонтали  $h$  ось  $X_{14}$ .

Проводим через горизонтальные проекции вершин треугольника линии связи, перпендикулярные оси  $X_{14}$ , на них откладываем отрезки от оси  $X_{14}$ , равные  $Z_A, Z_B, Z_C$  ( $A_{X1}A_4 = A_XA_2, B_{X1}B_4 = B_XB_2, C_{X1}C_4 = C_XC_2$ ). Получаем проекцию  $A_4B_4C_4$   $\triangle ABC$  на плоскость  $\pi_4$  в виде прямой линии. На плоскость  $\pi_4$  без искажения проецируется угол  $\alpha\pi_1$ , образованный заданным треугольником с плоскостью  $\pi_1$ .

**Задача 4. Преобразовать плоскость общего положения в плоскость уровня.** Для преобразования чертежа плоскости общего по-

ложения в чертеж плоскости уровня необходимо в начале плоскость общего положения последовательно преобразовать в проецирующую плоскость (см. задачу № 3), а затем проецирующую плоскость — в плоскость уровня, т.е. эта задача решается в два этапа (см. рис. 5.3).



**Рис. 5.3.** Решение основных задач преобразования (третья и четвертая задачи)

Необходимо перейти от системы  $\pi_1/\pi_4$  к системе  $\pi_4/\pi_5$ . Для этого на чертеже вводим новую ось  $X_{45}$ , которая должна быть параллельна той проекции заданной плоскости, которая вырождается в прямую. Через точки  $A_4, B_4, C_4$  проводим линии связи и откладываем на них от  $X_{45}$  отрезки  $A_{x2}A_5 = A_{x1}A_1$ ;  $B_{x2}B_5 = B_{x1}B_1$ ;  $C_{x2}C_5 = C_{x1}C_1$ . Получаем проекцию  $\Delta A_5 B_5 C_5$  на плоскость  $\pi_5$ , которая является натуральной величиной  $\Delta ABC$ .

## 5.2. МЕТОДЫ ВРАЩЕНИЯ

Используя в решении задач методы вращения, следует помнить следующее:

- точки геометрического объекта при вращении двигаются по окружностям;



- плоскости этих окружностей располагаются параллельно основным плоскостям проекций и перпендикулярно осям, относительно которых выполняется поворот;
- положение геометрического объекта в пространстве меняется, а основные плоскости проекции остаются на месте;
- все точки при вращении поворачиваются на один и тот же угол, а точки, лежащие на оси вращения, остаются на месте;
- на плоскости проекций, по отношению к которой ось поворота перпендикулярна проекция, траектории вращения — окружность, а на противоположной плоскости — прямая, расположенная перпендикулярно проекции оси вращения.

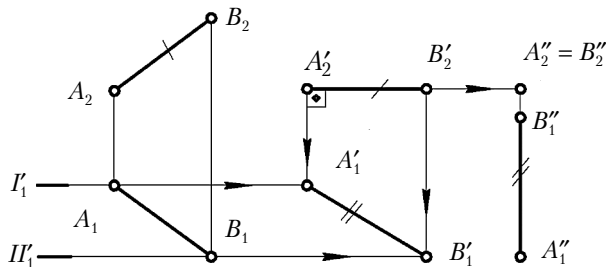
Существует несколько методов вращения. Рассмотрим некоторые из них.

### **5.2.1. Метод плоскопараллельного переноса (метод вращения без указания осей)**

При использовании этого метода перемещение всех точек объекта происходит в плоскостях, параллельных плоскости проекций. В этом случае величина проекции объекта в любом его положении на этой плоскости проекций не изменяется ни по размерам, ни по форме. Он изменяет только свое положение относительно оси проекций. Проекциями траектории вращения точек на другой плоскости проекций являются прямые, параллельные направлению оси проекции. Эти прямые являются проекциями плоскостей уровня, в которых и перемещаются точки заданного геометрического объекта.

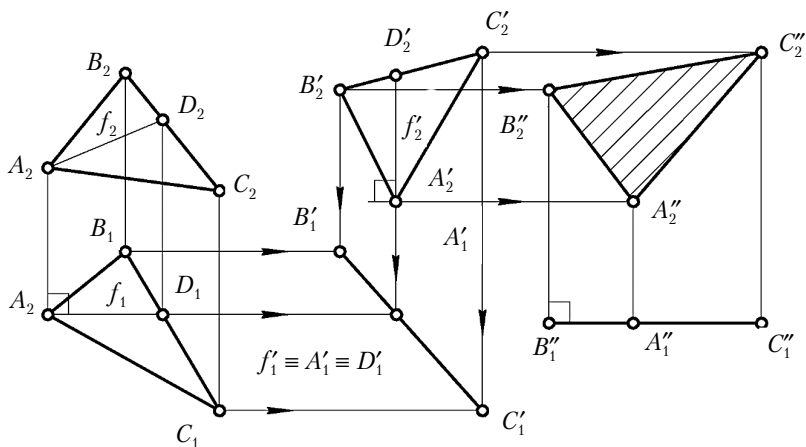
Решение первых двух задач преобразования показано на рис. 5.4. Вращением отрезок  $AB$  приводим в одно из положений, когда он будет параллелен горизонтальной плоскости проекций  $\pi_1$ . Для этого фронтальную проекцию  $A_2B_2$  отрезка  $AB$  располагаем произвольно, но параллельно направлению оси проекций, например в положение  $A'_2B'_2$ . Точки  $A$  и  $B$  отрезка  $AB$  перемещаются соответственно во фронтальных плоскостях  $I'_1$  и  $II'_1$ , горизонтальные проекции  $A'_1$  и  $B'_1$  точек  $A$  и  $B$  данного отрезка определяются по принадлежности к проекциям плоскостей  $I'_1$  и  $II'_1$  в проекционной связи с  $A'_2$  и  $B'_2$ . В результате такого перемещения отрезок  $AB$  проецируется на горизонтальную плоскость проекции  $\pi_1$  в натуральную величину.

Вторым поворотом отрезок прямой из положения уровня переводим в проецирующее. Для этого в свободном месте чертежа строим проекцию  $A''_1$  и  $B''_1$  таким образом, чтобы она располагалась перпендикулярно оси проекций. Важно, чтобы  $A''_1B''_1 = A'_1B'_1$ . На фронтальной плоскости проекции  $A''_2 \equiv B''_2$  — точка.



**Рис. 5.4.** Решение основных задач преобразования (первая и вторая задачи)

Решение третьей и четвертой задач преобразования показано на рис. 5.5. Проводим в плоскости треугольника фронталь  $AD$ . Проекцию  $A_2D_2$  перемещаем в положение  $A'_2D'_2$  так, чтобы она совпала с направлением проецирования. В этом случае фронталь плоскости треугольника перпендикулярна горизонтальной плоскости  $\pi_1$ , а треугольник занимает горизонтально-проецирующее положение. На чертеже проекция  $\Delta A'_2B'_2C'_2 = \Delta A_2B_2C_2$ , а горизонтальная проекция  $\Delta A'_1B'_1C'_1$  будет отрезком прямой.



**Рис. 5.5.** Решение основных задач преобразования (третья и четвертая задачи)

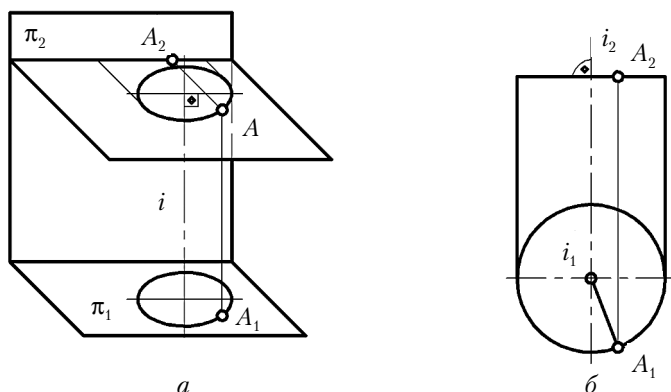
Вторым вращением треугольник располагают параллельно плоскости проекции  $\pi_2$ . Для этого на чертеже проекцию  $A''_1B''_1C''_1$ , равную  $A'_1B'_1C'_1$ , ставят в положение, параллельное направлению оси про-

екций. Новая фронтальная проекция  $\Delta A_2''B_2''C_2''$  будет являться его натуральной величиной.

Далее рассмотрим методы вращения относительно прямых частного положения.

### 5.2.2. Метод вращения вокруг проецирующей оси

Рассмотрим вращение точки вокруг осей, перпендикулярных к плоскости проекций. Из наглядного изображения точки  $A$  (рис. 5.6, *a*), вращающейся относительно оси  $i$ , перпендикулярной плоскости  $\pi_1$ , видно, что она двигается по окружности. Плоскость этой окружности к оси  $i$  располагается перпендикулярно (рис. 5.6).



**Рис. 5.6.** Вращение вокруг проецирующей оси в пространстве (*a*) и на чертеже (*б*)

На плоскость, по отношению к которой ось  $i$  перпендикулярна, проекция траектории вращения проецируется в натуральную величину на  $\pi_1$ , а на противоположную плоскость  $\pi_2$  — в линию, расположенную перпендикулярно второй проекции оси вращения (рис. 5.6, *б*).

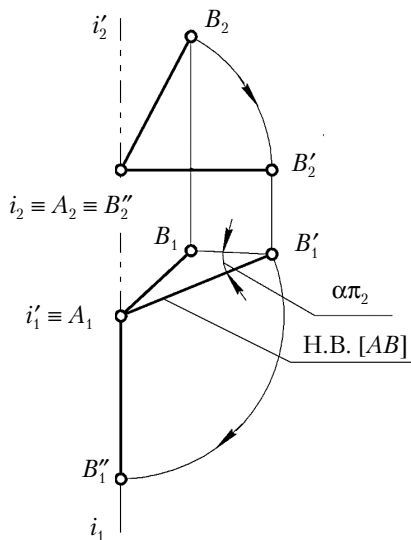
Далее решим четыре основные задачи преобразования методом вращения вокруг проецирующей оси.

**Задача 1. Преобразовать прямую общего положения в прямую уровня.** Поворачиваем отрезок прямой  $AB$  вокруг оси  $i$ , проходящей через точку  $A$  и перпендикулярной к  $\pi_2$ , до положения, параллельного плоскости  $\pi_1$  (рис. 5.7).

Новая фронтальная проекция отрезка  $A_2B_2'$  будет перпендикулярна линиям связи. Траектории движения фронтальной и горизонтальной проекций точки  $B$  показаны на чертеже стрелками ( $B_2$

движется по окружности,  $B_1$  — по прямой, перпендикулярной линии связи). Новая горизонтальная проекция отрезка  $A_1B'_1$  будет являться его натуральной величиной, а угол  $B_1B'_1A_1$  — натуральной величиной угла наклона отрезка с плоскостью  $\pi_2$  ( $\alpha\pi_2$ ).

**Задача 2. Преобразовать прямую общего положения в прямую проецирующую.** Для того чтобы преобразовать прямую общего положения в прямую проецирующую, ее преобразуют в прямую уровня (первый этап, см. рис. 5.7), а затем — в прямую проецирующую. В данном случае отрезок прямой  $AB$  вращают вокруг оси  $i^1$ , перпендикулярной плоскости  $\pi_1$ . После такого поворота горизонтальная проекция отрезка  $A_1B''_1$  будет совпадать с линией связи, а его фронтальная проекция превратится в точку (см. рис. 5.7).

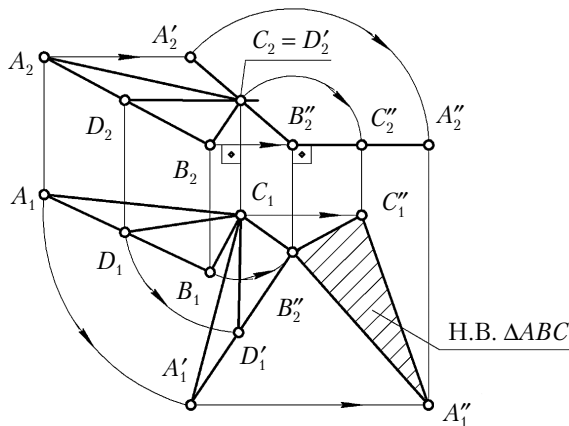


**Рис. 5.7.** Решение основных задач преобразования (первая и вторая задачи)

**Задача 3. Преобразовать плоскость общего положения в плоскость проецирующую.** Преобразование плоскости общего положения в плоскость проецирующую методом вращения вокруг проецирующей оси начинается с проведения линии уровня этой плоскости (такое начало решения задачи было и в случае применения метода перемены плоскостей проекций).

В  $\triangle ABC$  проводим горизонталь  $CD$  (рис. 5.8). Вращением  $\triangle ABC$  вокруг оси, проходящей через точку  $C$ , перпендикулярной  $\pi_1$ , до по-

ложения, когда горизонталь  $CD$  станет фронтально-проецирующей прямой ( $C_1D'_1$  совпадает с линией связи, а  $D'_2$  — с  $C_2$ ). После такого поворота плоскость  $\triangle ABC$  станет плоскостью проецирующей, а ее фронтальная проекция будет прямой линией.



**Рис. 5.8.** Решение основных задач преобразования (третья и четвертая задачи)

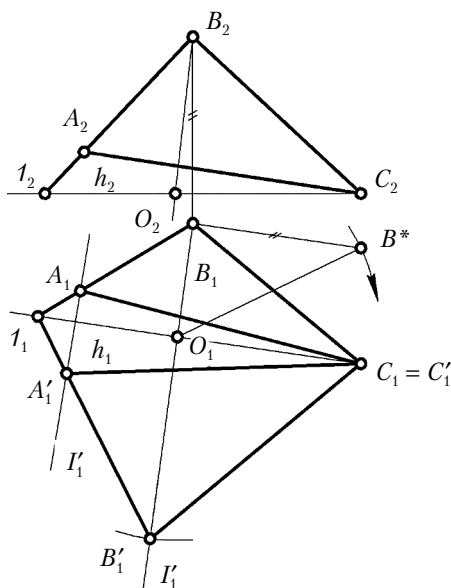
**Задача 4. Преобразовать плоскость общего положения в плоскость уровня.** Для преобразования плоскости общего положения в плоскость уровня необходимо двойное вращение (см. рис. 5.8). Первым вращением плоскость преобразуется в плоскость проецирующую, а вторым вращением — в плоскость уровня. Вокруг оси, проходящей через точку  $B'$  перпендикулярно  $\pi_2$ ,  $\triangle ABC$  поворачивают до положения, параллельного плоскости  $\pi_1$ . Новая фронтальная проекция  $\triangle ABC$  ( $B''_2C''_2A''_2$ ) будет представлять прямую линию, перпендикулярную линии связи, а горизонтальная проекция ( $\triangle A''_1B''_1C''_1$ ) — являться натуральной величиной  $\triangle ABC$ .

### 5.2.3. Метод вращения вокруг линии уровня

Натуральные величины плоскости, находящейся в пространстве, в общем положении удобно определять вращением ее вокруг линии уровня, принадлежащей данной плоскости. В этом случае плоскость одним поворотом вокруг оси можно привести в положение, параллельное плоскости проекций.

В плоскости треугольника  $ABC$  (рис. 5.9) выбираем произвольно ось вращения — горизонталь  $h$ , проходящую через вершину  $C$  треугольника ( $h_2 \perp C_2C_1$ ). Вершины  $A$  и  $B$  треугольника вращаются

вокруг оси  $h$  по окружностям, плоскости которых к  $h$  располагаются перпендикулярно, а вершина  $C$  не изменяет своего положения, так как принадлежит оси вращения.



**Рис. 5.9.** Нахождение натуральной величины плоскости общего положения методом вращения вокруг линии уровня (отрезок  $O_1B^*$  — натуральная величина отрезка  $O_1B$ )

Центром вращения точки  $B$  является точка  $O$  пересечения оси вращения  $h$  с горизонтально проецирующей плоскостью  $I'$  точки  $B$ , перпендикулярной этой оси. Радиус вращения вершины  $B$  определяется отрезком  $OB$ , который находится в общем положении. Истинную величину отрезка можно определить построением прямоугольного треугольника. Эту величину затем откладывают от точки  $O_1$  по направлению траектории вращения и получают  $B'_1$ . Повернутое положение  $A'_1$  точки  $A$  определяют аналогичными построениями. Однако можно исходить из условия, что точка  $A$  лежит на прямой  $B1$ , и проекция точки  $A$  после поворота останется на  $B'_11_1$ .

Построенная проекция  $A'_1B'_1C'_1$  будет определять натуральную величину заданного треугольника  $ABC$ .

### *Контрольные вопросы и задания*

1. Какова цель преобразования проекций?
2. Объясните суть метода замены плоскостей проекций.
3. В чем суть методов вращения: вокруг проецирующей оси, вокруг линии уровня?
4. В чем заключается метод плоскопараллельного перемещения?

# Глава 6

## ПОВЕРХНОСТИ

### 6.1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В начертательной геометрии используют в основном кинематический способ образования поверхности. Это значит, что поверхность рассматривают как непрерывное множество положений перемещающейся в пространстве по определенному закону линии. Эти линии называют **образующими поверхности**. От геометрии образующей и закона ее перемещения в пространстве зависит форма поверхности.

Закон перемещения в пространстве образующей задают неподвижными кривыми, которые называют **направляющими линиями поверхности**.

Для того чтобы задать поверхность на чертеже, необходимо иметь на нем такие элементы поверхности, которые позволяют построить каждую ее точку. Совокупность этих элементов называют **определителем поверхности**. Взаимосвязь образующей с элементами определителя поверхности называют **законом образования поверхности**, или **законом каркаса**.

В общем случае поверхности можно различать по форме образующей (прямая, окружность и т.д.), а также по числу направляющих (одна, две и т.д.).

### 6.2. ЛИНЕЙЧАТЫЕ ПОВЕРХНОСТИ С ОДНОЙ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ

**Линейчатыми поверхностями** называют поверхности, у которых образующая — прямая линия.

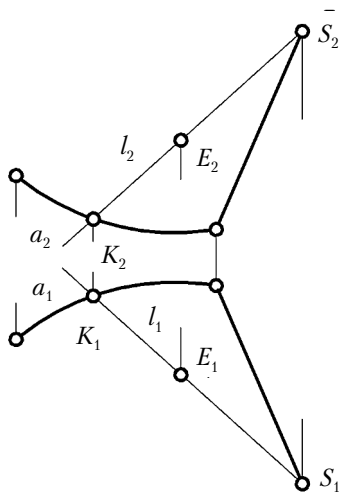
К линейчатым поверхностям с одной направляющей относятся конические, цилиндрические, пирамидальные и призматические поверхности.

Коническая поверхность (рис. 6.1) образуется непрерывным перемещением прямолинейной образующей  $l$  вдоль некоторой пространственной криволинейной направляющей  $a$  и проходящей через одну и ту же точку  $S$ , называемой **вершиной**. Закон образования можно записать в виде  $\alpha(a, S), [l \supset S; l \cap a]$ .

Точка будет принадлежать конической поверхности, если она будет принадлежать какой-нибудь линии этой поверхности. Рас-



смотрим последовательность построения. Сначала задают одну из проекций точки  $E$  (например  $E_1$ ). Через  $E_1$  проводят горизонтальную проекцию образующей  $l$  ( $S_1K_1$ ). Затем проводят линию связи  $K_1K_2$  ( $K_2 \in a_2$ ). Далее соединяют  $S_2K_2$ , получают фронтальную проекцию образующей  $l_2$ , по принадлежности к которой строят  $E_2$  — фронтальную проекцию точки  $E$ .



**Рис. 6.1.** Коническая поверхность

Если способ образования поверхности сохранить, но вместо криволинейной направляющей принять пространственную ломаную  $m$ , то получают пирамидальную поверхность (рис. 6.2). Аналогично и задание точки на этой поверхности. Если пирамидальную поверхность пересечь плоскостью  $\pi_1$ , то тело, ограниченное пирамидальной поверхностью и этой плоскостью, принято называть **пирамидой** (рис. 6.3). Часть плоскости  $\pi_1$ , ограниченная многоугольником  $m$ , называется **основанием пирамиды**. Перпендикуляр  $SO$ , опущенный из вершины  $S$  на основание, называют **высотой пирамиды**, а тело, ограниченное пирамидальной поверхностью и двумя плоскостями, — **усеченной пирамидой**.

Цилиндрическая поверхность (рис. 6.4) образуется в том случае, когда прямолинейная образующая  $l$  перемещается по криволинейной направляющей  $a$ , все время оставаясь параллельной некоторой линии, задающей направление перемещения.

Последовательность построения точки, принадлежащей поверхности, понятна из рис. 6.4.

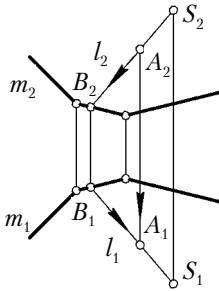


Рис. 6.2. Пирамидальная поверхность

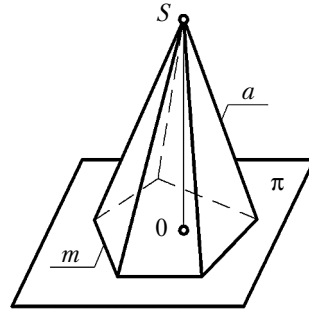


Рис. 6.3. Пирамида

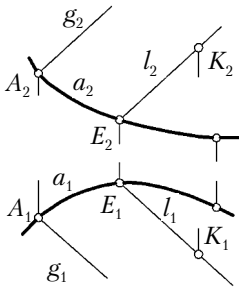


Рис. 6.4. Цилиндрическая поверхность

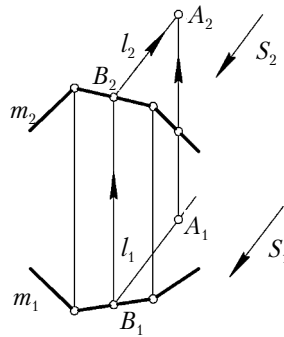


Рис. 6.5. Призматическая поверхность

Призматическая поверхность по закону образования схожа с цилиндрической, если криволинейную направляющую заменить ломаной линией (рис. 6.5). Запишем закон каркаса:  $\varphi(m, s)$ ,  $[l \parallel s; l \cap m]$ . На рис. 6.5 показана схема задания точки на призматической поверхности.

### 6.3. ЛИНЕЙЧАТЫЕ ПОВЕРХНОСТИ С ДВУМА НАПРАВЛЯЮЩИМИ (ПОВЕРХНОСТИ КАТАЛАНА)

*Каталан Э.Ж.* — бельгийский математик, исследовавший свойства этих поверхностей. Поверхности Каталана образуются движением прямой по двум направляющим. **Образующая** — прямая линия — всегда остается параллельной какой-то плоскости, называемой **плоскостью параллелизма**. В группу рассматри-

ваемых поверхностей входят цилиндроиd, коноид и гиперболический параболоид (косая плоскость).

Цилиндроиd образуется в том случае, если в качестве направляющих  $m$  и  $n$  принять гладкие кривые линии (рис. 6.6).

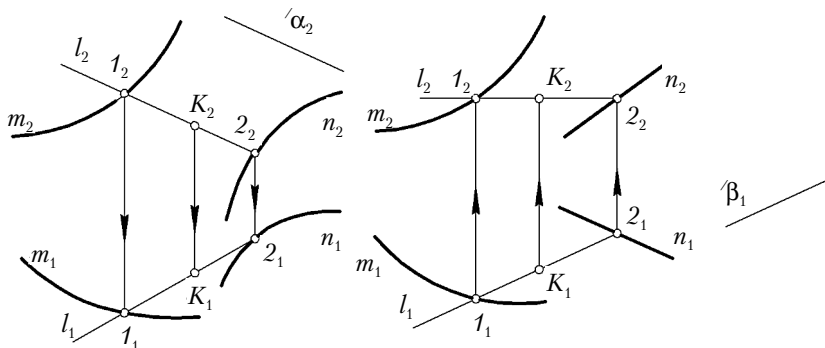


Рис. 6.6. Цилиндроиd

Рис. 6.7. Коноид

Плоскостью параллелизма для цилиндроида является фронтально-проецирующая плоскость  $\alpha$ . Образующие поверхности параллельны этой плоскости. Запишем состав определителя  $\Phi (\cap m, \cap n, \alpha')$  и закон каркаса  $[l \cap \cap m, l \cap \cap n, l \parallel \alpha']$ .

Коноид отличается от цилиндроида только тем, что одна из его направляющих — прямая (рис. 6.7), и тогда  $\alpha (\cap m, n, \beta) [l \cap \cap m, l \cap \cap n, l \parallel \beta]$ .

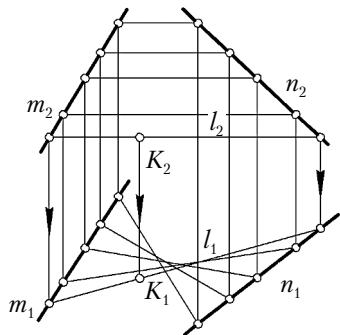


Рис. 6.8. Гиперболический параболоид

Гиперболический параболоид (косая плоскость) может быть образован скольжением образующей прямой  $l$  по двум скрещивающимся прямым направляющим  $m$  и  $n$ , причем  $l$  все время оста-

ется параллельной плоскости параллелизма  $\gamma$ . На рис. 6.8  $\gamma \parallel \pi_1$ . Частным случаем гиперболического параболоида является плоскость, которая образуется в том случае, если направляющие  $m$  и  $n$  пересекаются или параллельны. Таким образом плоскость является частным случаем поверхности.

#### 6.4. ВИНТОВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Винтовые поверхности образуются в результате винтового перемещения образующей  $l$ . Винтовое перемещение является совокупностью двух движений образующей — поступательного перемещения вдоль некоторой оси и вращательного движения вокруг той же оси. На рис. 6.9 приведен чертеж цилиндрической винтовой линии, ось вращения  $i$  которой занимает положение горизонтально проецирующей прямой, горизонтальная проекция этой линии является окружностью радиусом  $r$ , а фронтальная — синусоидой. За один оборот точка  $M$  переместится вдоль оси на величину  $P$ , которая называется *шагом винтовой линии*.

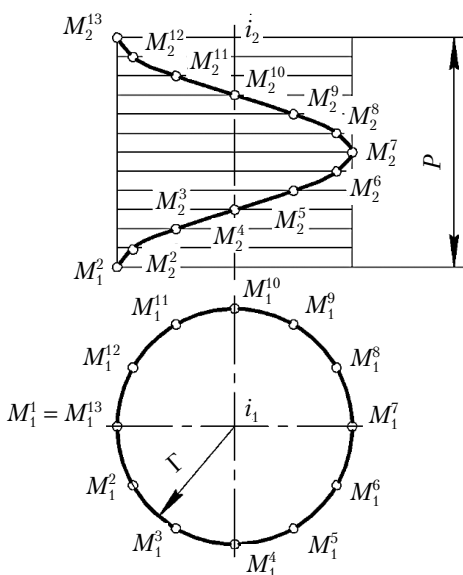


Рис. 6.9. Цилиндрическая винтовая линия

При построении винтовой линии, когда заданы радиус  $r$  и шаг  $P$ , необходимо разделить окружность на равное число частей и шаг  $P$  горизонтальными линиями на такое же число частей. Точка пере-

сечения линий связи, проведенных из горизонтальных проекций точек 1, 2, 3 и т.д., с соответствующими горизонтальными линиями на фронтальной плоскости проекций определяет положение точек винтовой линии 1, 2, 3 и т.д. Соединив их плавной кривой линией, получим фронтальную проекцию цилиндрической винтовой линии.

Винтовые поверхности с прямолинейной образующей и постоянным шагом получили название **геликоидов**.

Если образующая составляет с осью прямой угол, то такой геликоид называют **прямым**, если угол наклона отличен от прямого, то геликоид называют **наклонным**. На рис. 6.10 заданы проекции прямого геликоида, определитель и закон каркаса которого можно записать в виде  $\varphi(i, \Pi m, \pi_1) [l \cap i; l \cap \Pi m; l \parallel \pi_1]$ .

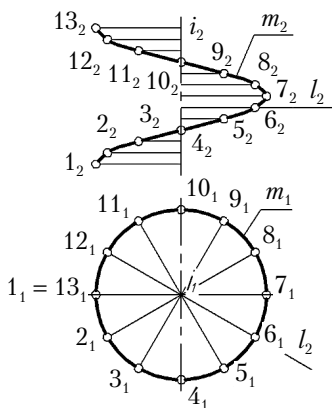


Рис. 6.10. Прямой геликоид

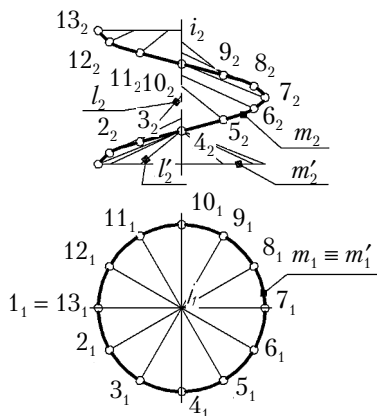


Рис. 6.11. Наклонный геликоид

На рис. 6.11 задан наклонный геликоид  $\varphi(i, \Pi m, \beta) [l \cap i; l \cap m; l \parallel l']$ . Образующие наклонного геликоида составляют с осью  $i$  заданный угол  $\alpha$  и всегда параллельны соответствующим образующим соосной направляющей конической поверхности вращения  $\beta(i, m')$ . Для построения каркаса образующих наклонного геликоида  $\varphi$  его направляющую винтовую линию  $m$  и направляющую конической поверхности  $m'$  делят на равное число частей. Тогда соответствующие образующие геликоида и направляющего конуса, проходящие через точки линий  $m$  и  $m''$  с одинаковыми индексами, будут параллельны (на  $\pi_1$  их проекции совпадают, а на  $\pi_2$  — параллельны).

## 6.5. ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩЕНИЯ

Поверхность вращения можно получить, если некоторую образующую  $l$  вращать вокруг неподвижной оси  $i$ . При этом в качестве образующей  $l$  может быть принята прямая линия, плоская кривая, дуга окружности и т.д.

На рис. 6.12 показана поверхность вращения общего вида, в состав определителя которой входят образующая  $l$  и ось вращения  $i$ .

В процессе образования поверхности каждая точка образующей  $A, B, C, D$  при вращении вокруг оси  $i$  описывает окружность с центром на оси вращения. Эти окружности называют **параллелями**. Наибольшая и наименьшая из этих окружностей получили название соответственно **экватор** и **горло**.

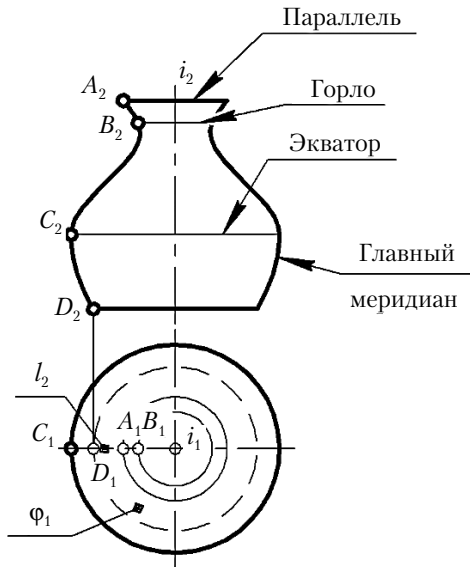


Рис. 6.12. Поверхность вращения общего вида

Плоскости, проходящие через ось вращения, называют **меридиональными**, а линии, по которым они пересекают поверхность, — **меридианами**. Плоскость, параллельную фронтальной плоскости проекций, называют **главной меридиональной плоскостью**, а линию ее пересечения с поверхностью вращения — **главным меридианом**.

Далее рассмотрим наиболее распространенные поверхности.

Если в качестве образующей  $l$  принять отрезок прямой, который пересекается с осью  $i$ , расположенной перпендикулярно плоскости проекций, то при вращении  $l$  относительно  $i$  образуется прямой круговой конус (рис. 6.13). Задание точки на поверхности конуса производится с помощью образующих или параллелей ( $K \in SA$ ,  $M \in m$ ).

Цилиндрическая поверхность (рис. 6.14) образуется в том случае, если прямую образующую  $l$  поворачиваешь вокруг параллельной ей оси  $i$ . Если ось вращения  $i$  располагается перпендикулярно к плоскости проекций, то поверхность будет *проецирующей*. На рис. 6.14  $\alpha_1$  – вырожденная проекция цилиндра.

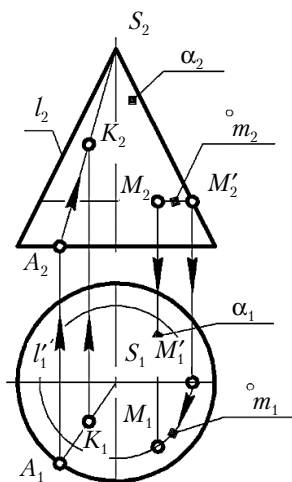


Рис. 6.13. Прямой круговой конус

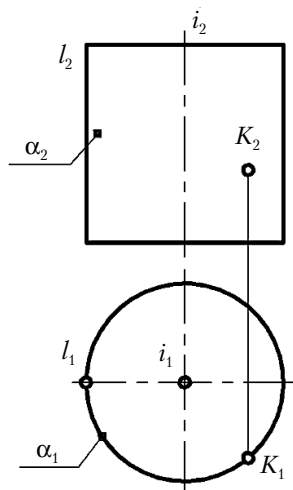


Рис. 6.14. Цилиндрическая поверхность

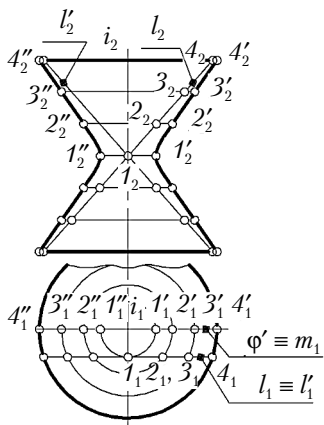
Если вращать прямолинейную образующую  $l$  вокруг скрещивающейся с ней оси  $i$ , то образуется однополостный гиперboloид вращения (рис. 6.15).

От взаимного расположения оси вращения и образующей окружности зависит форма поверхности.

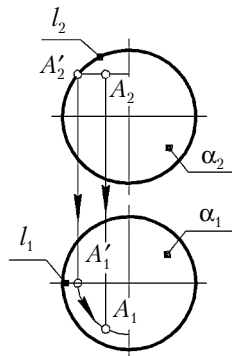
Сфера образуется вращением окружности вокруг оси, проходящей через ее центр (рис. 6.16). Точки на поверхности сферы задают через ее параллели.

Поверхность тора образуется при вращении окружности  $l$  вокруг оси  $i$ , принадлежащей плоскости этой окружности, но не проходящей через ее центр. В зависимости от соотношения величин  $R$  –

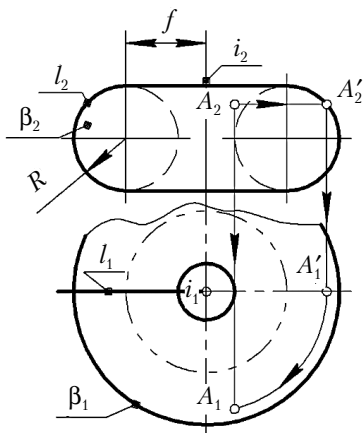
радиуса образующей окружности и расстояния  $t$  от центра окружности до оси вращения поверхность тора может быть открытой (тор кольцо) — при  $R < t$  — окружность не пересекает ось вращения (рис. 6.17) и закрытой — при  $R > t$  — окружность не пересекает ось вращения или касается ее (рис. 6.18).



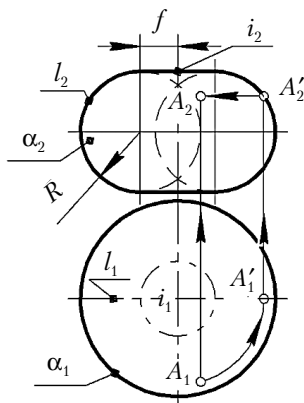
**Рис. 6.15.** Однополостный гиперboloид вращения



**Рис. 6.16.** Сфера



**Рис. 6.17.** Открытый тор



**Рис. 6.18.** Закрытый тор

Точки на поверхности тора, как и на любой поверхности вращения, задаются с помощью параллелей.



### *Контрольные вопросы и задания*

1. Какими способами можно задать поверхность?
2. Что является образующей линейчатой поверхности?
3. Как классифицируют поверхности?
4. Что такое каркас поверхности?
5. Что называют определителем поверхности?
6. Что такое очерк поверхности?
7. Поясните, в чем разница между линейчатыми и нелинейчатыми поверхностями.
8. Как образуются линейчатые поверхности, поверхности вращения, гранные поверхности?
9. Какие поверхности относятся к поверхностям вращения?
10. Перечислите, какие линии поверхностей вращения вы знаете.
11. Какие поверхности относятся к торовым и как они образуются?

## Глава 7

# ПОЗИЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ

**Позиционными** в начертательной геометрии принято называть задачи, в которых требуется определить взаимное положение (принадлежность, параллельность и пересечение) двух или более геометрических объектов.

Задачи на пересечения называют **главными позиционными задачами** (ГПЗ). К первой группе относятся задачи на пересечение линии (прямой или кривой) с поверхностью, а ко второй — задачи на пересечение поверхностей.

Решение главных позиционных задач (алгоритм) зависит от расположения геометрических объектов относительно плоскостей проекций. Рассмотрим три различных случая.

**Первый случай.** Оба геометрических объекта занимают проецирующее положение. В этом случае решение задачи сводится к обозначению проекции искомого геометрического элемента (используется собирательное свойство проецирующих прямых и поверхностей).

**Второй случай.** Один геометрический объект занимает проецирующее положение, а второй — общее. В этом случае решение задачи сводится к обозначению одной проекции искомого геометрического элемента и нахождению второй проекции по принадлежности геометрическому объекту, занимающему общее положение.

**Третий случай.** Оба геометрических объекта занимают общее положение. В этом случае для решения задачи используют вспомогательные поверхности (плоские или сферические), называемые *посредниками*.

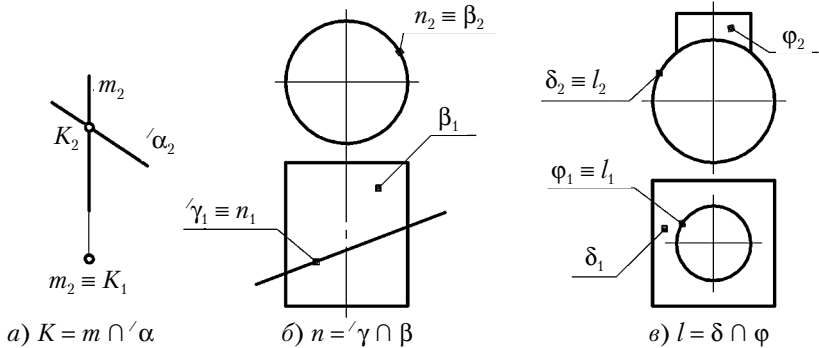
### 7.1. РЕШЕНИЕ ГЛАВНЫХ ПОЗИЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПО ПЕРВОМУ АЛГОРИТМУ

На рис. 7.1 приведены примеры решения позиционных задач, когда оба геометрических объекта занимают проецирующее положение.

Проекция искомого геометрического элемента пересечения заданных геометрических объектов находятся на их вырожденных проекциях. Горизонтальная проекция точки пересечения прямой  $m$  ( $m \perp \pi_1$ ) с плоскостью  $\alpha$  ( $\alpha \perp \pi_2$ ) совпадает с горизонтальной проекцией прямой  $m$  ( $K_1 \equiv m_1$ ), а ее фронтальная проекция — точка

пересечения фронтальных проекций прямой  $m$  и плоскости  $\alpha$  ( $K_2 \equiv m_2 \cap a_2$ ) (рис. 7.1, а).

Аналогично обозначаются проекции линии пересечения проецирующего цилиндра  $\beta$  с горизонтально-проецирующей плоскостью  $\gamma$  ( $n_1 \equiv \gamma_1, n_2 \equiv \beta_2$ ) (рис. 7.1, б) и линии пересечения двух проецирующих цилиндров ( $l_1 \equiv \varphi_1, l_2 \equiv \sigma_2$ ) (рис. 7.1, в).



**Рис. 7.1.** Решение главных позиционных задач по первому алгоритму

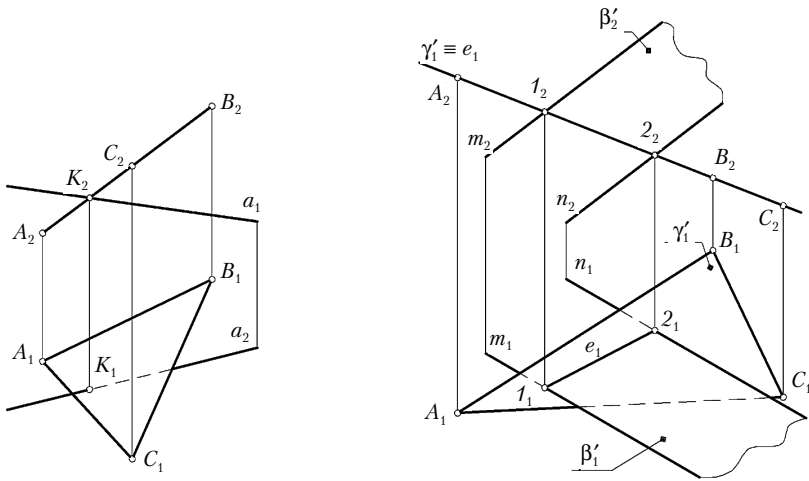
## 7.2. РЕШЕНИЕ ГЛАВНЫХ ПОЗИЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПО ВТОРОМУ АЛГОРИТМУ

На рис. 7.2 показаны задачи, которые решаются по второму алгоритму (один геометрический объект проецирующий, второй — общего положения).

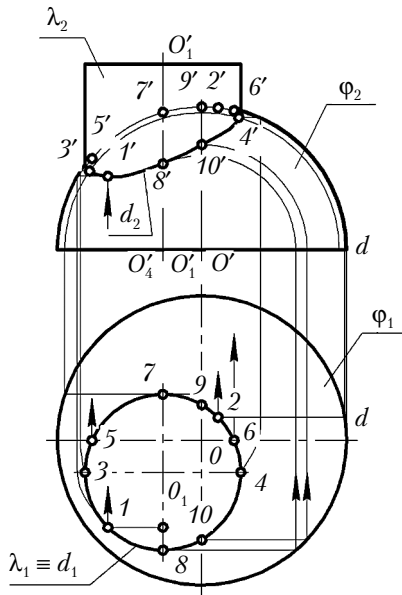
Фронтальная проекция  $K_2$  точки пересечения прямой общего положения  $a$ , с фронтально-проецирующей плоскостью  $\alpha$  ( $\Delta ABC$ ) определена как точка пересечения фронтальной проекции прямой  $a$  с вырожденной проекцией плоскости  $\alpha$  ( $\Delta ABC$ )  $K_2 = A_2B_2C_2 \cap a_2$ . Ее горизонтальная проекция  $K_1$  строится по принадлежности прямой  $a$  (рис. 7.2, а).

Фронтальная проекция  $e_2$  линии пересечения плоскости общего положения  $\beta$  ( $m \parallel n$ ) с фронтально проецирующей плоскостью  $\gamma$  ( $\Delta ABC$ ) (рис. 7.2, б) совпадает с вырожденной проекцией плоскости треугольника  $e_2 \equiv \gamma_2$ . Горизонтальная ее проекция  $e_1$  находится по принадлежности линии  $e$  к плоскости общего положения  $\beta$  ( $m \parallel n$ ).

Аналогично построена линия пересечения  $d$  горизонтально-проецирующего цилиндра  $\lambda$  с шаром  $\varphi$  общего положения (рис. 7.3).



**Рис. 7.2.** Решение главных позиционных задач по второму алгоритму



**Рис. 7.3.** Решение главных позиционных задач по второму алгоритму

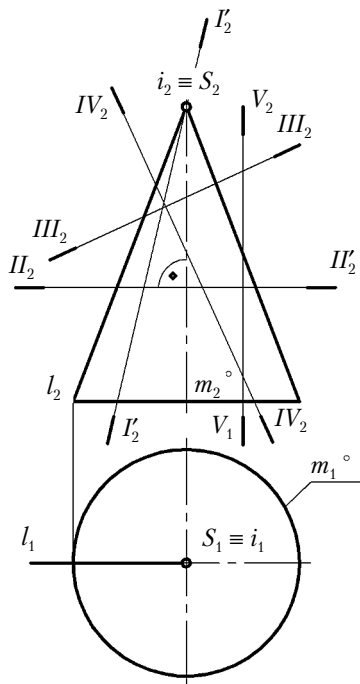
В начале решения задачи обозначена горизонтальная проекция  $d_1$  линии пересечения, которая совпадает с главной вырожденной проекцией цилиндра  $\lambda_1 \equiv d_1$ . Затем по принадлежности к шару  $\phi$

построим фронтальную проекцию линии  $d$ . При построении использовали параллели шара. Опорные точки  $5, 6$  определяют видимость фронтальной проекции линии  $d$ , так как принадлежат экватору шара. Попарно — точки  $3, 4$  и  $7, 8$  показывают соответственно левую и правую, а также верхнюю и нижнюю границы фронтальной проекции линии пересечения.

### 7.3. ПЯТЬ СЕЧЕНИЙ ПРЯМОГО КРУГОВОГО КОНУСА ПЛОСКОСТЬЮ

В результате пересечения конуса плоскостью можно получить треугольник, окружность, эллипс, параболу и гиперболу (рис. 7.4).

- если секущая плоскость I проходит через вершину конуса  $S$  и пересекает основание  $m$ , то его сечением является треугольник;



**Рис. 7.4.** Пять сечений прямого кругового конуса плоскостью

- если секущая плоскость II перпендикулярна оси конуса  $i$ , то его сечением будет окружность (параллель конуса). При этом диаметр окружности будет зависеть от конкретного положения

секущей плоскости II и определяться расстоянием между точками, в которых секущая плоскость пересекает очерковые образующие конуса, и будет находиться в пределах от нуля до величины, равной диаметру основания конуса;

- если секущая плоскость III пересекает все его образующие  $l$  и не перпендикулярна оси, то в сечении будет эллипс;
- если секущая плоскость IV параллельна одной из образующих  $l$ , то сечением конуса будет парабола;
- если секущая плоскость V пересекает конус параллельно его оси  $i$  и не проходит через вершину  $S$ , то сечением будет гипербола.

Перечисленные линии будут проецироваться на  $\pi_2$  в прямые линии, а на  $\pi_1$  соответственно в две прямые, окружность, эллипс, параболу, гиперболу.

#### 7.4. РЕШЕНИЕ ГЛАВНЫХ ПОЗИЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПО ТРЕТЬЕМУ АЛГОРИТМУ

Рассмотрим решения задач с применением плоских посредников. В качестве плоского посредника может быть плоскость частного положения (проецирующая или уровня), а также плоскость общего положения.

Основное требование к выбору посредника — пересечь заданные геометрические объекты по графически простым линиям (прямым или окружностям).

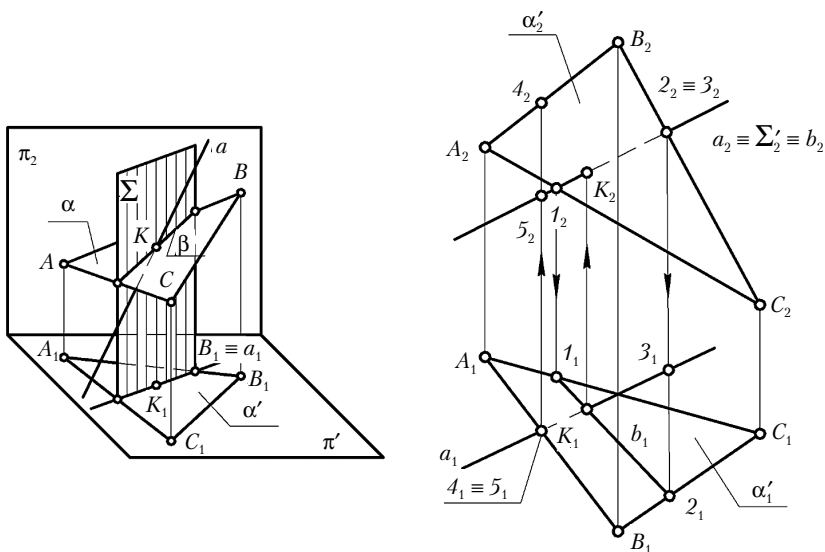
**Построение точки пересечения прямой и плоскости общего положения.** Решение этой задачи показано на рис. 7,5, а, б. Если прямая пересекается с плоскостью, то у них существует общая точка, которую принято называть *точкой встречи прямой с плоскостью*.

Для ее определения через прямую  $a$  (см. рис. 7.5, а) проводят плоскость частного положения, чаще всего проецирующую  $\Sigma$ . Находят линию пересечения в заданной плоскости  $\alpha$  ( $\Delta ABC$ ) с плоскостью — посредник  $\Sigma$ , а затем на пересечении прямых  $a$  и  $b$  получают точку встречи  $K$  прямой  $a$  с плоскостью  $\alpha$ .

На чертеже Монжа решение этой задачи показана на рис. 7.5, б.

Через прямую  $a$  проводим фронтально-проецирующую плоскость  $\Sigma_2$ . На рис. 7.5, б  $a_2 \equiv \Sigma_2$ . Далее обозначаем проекции линии  $b$  ( $1, 2$ )  $b_2$  ( $1_2, 2_2$ ) как результат пересечения  $\Sigma$  с  $\alpha$  ( $\Delta ABC$ ). По принадлежности к  $\Delta ABC$  строим  $b_1$  ( $1_1, 2_1$ )  $\Rightarrow 1 \in AC \Rightarrow (1_1 \in A_1C_1), 2 \in BC \Rightarrow (2_1 \in B_1C_1)$ .

После этого сначала находим горизонтальную проекцию искомой точки  $K$  ( $K_1$ ) как точку пересечения  $b_1$  и  $a_1$ , а затем по принадлежности определяем проекцию  $K_2$ .



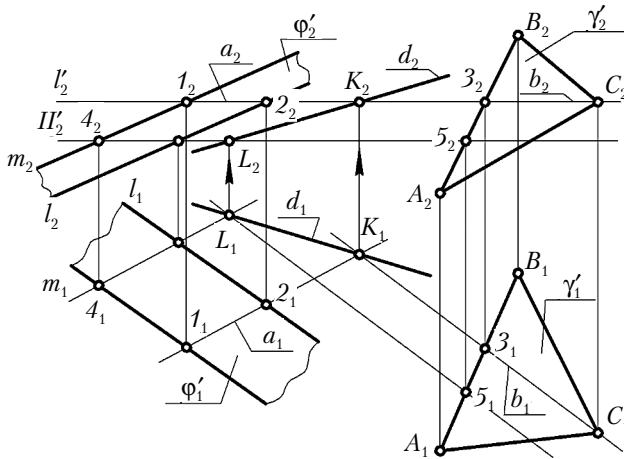
**Рис. 7.5.** Решение главных позиционных задач по третьему алгоритму в пространстве (а) и на чертеже (б)

По окончании построения точки встречи определяют видимость проекций, считая при этом треугольник непрозрачным. Для этого используют метод конкурирующих точек. Видимость на  $\pi_1$  определяют с помощью точек 4, 5 ( $4_1 \equiv 5_1$ ). Пусть  $4 \in AB$ ,  $5 \in a$ . Точка 4 выше, чем 5, следовательно, 4 закрывает 5, а это означает, что на  $\pi_1$  прямая  $a$  от точки 5 до  $K$  невидимая. Видимость на  $\pi_2$  определяется с помощью точек 2 и 3 ( $2 \in BC$ ,  $3 \in a$ ). Точка 2 ближе, чем 3, а это значит, что на  $\pi_2$  прямая общего положения  $a$  от точки 2 до  $K$  будет не видна.

**Построение линии пересечения двух плоскостей.** Линией пересечения двух плоскостей является прямая, которую в пространстве определяют двумя точками. Следовательно, для решения задачи необходимо построить две общие (для двух заданных плоскостей) точки, которые строят при помощи вспомогательных плоскостей частного положения. На рис. 7.6 показано построение линии пересечения двух плоскостей общего положения. Плоскость  $\varphi$  задана параллельными прямыми  $\varphi' (m \parallel l)$  и плоскостью  $\gamma' (\triangle ABC)$ .

Проводим горизонтальную плоскость уровня  $I'_2$ . Находим линии пересечения этой плоскости с плоскостями  $\varphi'$  и  $\gamma'$  (линии 1, 2 и 3,  $C$ ). Фронтальные проекции этих линий  $1_2, 2_2$  и  $3_2, C_2$  совпадают с фронтальной проекцией плоскости  $I'$ , горизонтальные проекции опре-

деляем по принадлежности плоскостям  $\phi'$  и  $\gamma'$ . Точка пересечения горизонтальных проекций линий  $12$  и  $3C$  ( $K_1 = 1_2 2_1 \cap 3_1 C_1$ ) является горизонтальной проекцией точки, определяющей прямую линию пересечения двух заданных плоскостей. Проводя линию связи через  $K_1$  до  $l'_2$ , находим  $K_2$ . Для нахождения второй общей точки  $L$  проводим еще одну горизонтальную плоскость уровня  $\Pi$ . Проекции точки  $L$  находим аналогично. Точки  $K$  и  $L$  определяют искомую линию пересечения плоскостей.



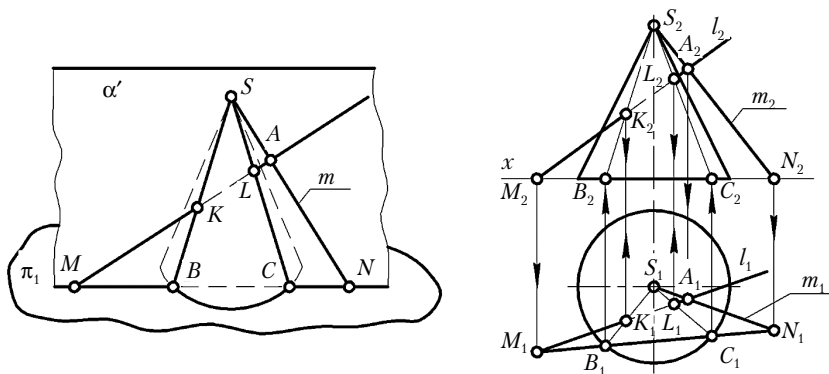
**Рис. 7.6.** Построение линии пересечения двух плоскостей

Применение плоскостей частного положения в качестве посредников не всегда удобно при решении главных позиционных задач, и поэтому применяют плоскости общего положения.

Рассмотрим применение плоских посредников общего положения для *определения точек пересечения прямой с конусом* (рис. 7.7, а, б).

Известно, что наиболее простым сечением конической поверхности является треугольник, который образуется в том случае, когда секущая плоскость проходит через вершину заданной поверхности. Таким образом зададим секущую плоскость  $\alpha$ , которая проходила бы через заданную прямую  $l$  и вершину  $S$  конуса. Эту плоскость можно задать двумя пересекающимися прямыми: заданной  $l$  и  $m$  — проходящей через вершину  $S$  и пересекающей прямую  $l$  в некоторой произвольной точке  $A$ . Линии  $l$  и  $m$  пересекают плоскость  $\pi_1$ , на которой стоит основание, в точках  $M$  и  $N$ .





**Рис. 7.7.** Определение точек пересечения прямой с конусом в пространстве (а) и на чертеже (б)

Поэтому основание конуса и линия  $MN$  пересекаются в точках  $B$  и  $C$ . Значит точки  $B, C$  и  $S$  лежат в одной плоскости  $\alpha$  и, следовательно,  $SB$  и  $SC$  являются образующими, по которым вспомогательная плоскость  $\alpha$  пересекает конус.

Построив проекции образующих ( $S_1B_1, S_2B_2$  и  $S_1C_1, S_2C_2$ ), находим точки пересечения прямой с конусом  $K$  и  $L$ . Нахождение проекций точек  $K$  и  $L$  ( $K_1, K_2$  и  $L_1, L_2$ ) показано на рис. 7.7, б.

Определим видимость участков прямой. Фронтальной границей видимости для конуса является линия его главного меридиана. Обе точки  $K$  и  $L$ , как это следует из положения их горизонтальных проекций, находятся перед плоскостью главного меридиана, поэтому их фронтальные проекции будут видимы. Следовательно, невидимой будет тот участок фронтальной проекции прямой, который проходит внутри конуса (между  $L_2$  и  $K_2$ ).

Горизонтальной границей видимости для конуса является его основание. Следовательно, горизонтальные проекции всех точек, принадлежащих поверхности конуса, будут видимы. Тогда невидимой будет только часть проекции  $l_1$  от  $L_1$  до  $K_1$ .

Плоские посредники общего положения применяются при *определении точек пересечения прямой общего положения  $l$  с цилиндрической поверхностью  $\beta$* , находящейся так же в общем положении.

Наиболее простым сечением цилиндрической поверхности являются параллельные прямые, поэтому секущую плоскость целесообразно задать так, чтобы она пересекала цилиндрическую поверхность по параллельным прямым (образующим цилиндра).

Такую плоскость следует задавать прямой  $l$  и произвольной  $m$ , параллельной образующим цилиндра (рис. 7.8, а, б).



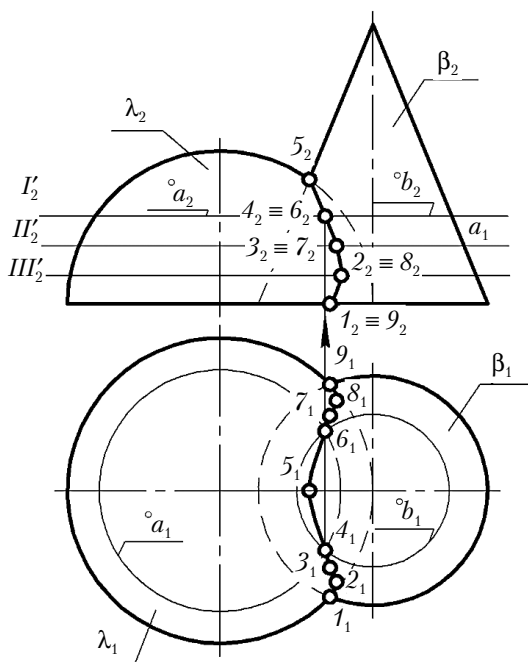
кривыми (в случае пересечения многогранных поверхностей линия их пересечения является ломаной линией).

Линию пересечения поверхностей строят по отдельным точкам. При этом учитываются в первую очередь опорные точки. Если этого не выполнить, то линия пересечения построена не будет. К опорным точкам относятся все характерные точки очерков поверхностей: точки на ребрах, экстремальные точки (самые высокие или низкие), точки, расположенные на осях симметрии, и т.д. Во вторую очередь учитывают дополнительные точки, число которых определяется требуемой точностью построения.

В качестве посредника могут быть использованы различные поверхности, но чаще всего — плоскости частного положения, а также концентрические сферы.

**Способ плоскостей посредников частного положения.** Данный способ применяется, когда обе поверхности можно пересечь семейством плоскостей частного положения по графически простым линиям.

На рис. 7.9 показано построение линии пересечения конуса вращения и сферы, оси которых перпендикулярны плоскости  $\pi_1$ .



**Рис. 7.9.** Построение линии пересечения конуса вращения и сферы

Наиболее просто эта задача будет решаться, если в качестве посредников использовать горизонтальные плоскости уровня: они будут пересекать обе поверхности по окружностям, на пересечении которых и будут находиться принадлежащие линии пересечения точки. В качестве опорных в данном случае выступают только экстремальные по высоте точки.

Поскольку обе заданные поверхности имеют общую плоскость симметрии, параллельную фронтальной плоскости проекций  $\pi_2$ , то их главные меридианы пересекаются в точке 5, которая и является самой высокой точкой линии пересечения поверхностей. Ее фронтальная проекция  $5_2$  будет находиться на пересечении фронтальных очерков заданных поверхностей, а горизонтальная проекция  $5_1$  — на горизонтальной проекции общей плоскости симметрии. Так как основания заданных поверхностей принадлежат одной и той же горизонтальной плоскости, то они пересекаются в точках 1 и 9, которые и являются самыми низкими точками линии пересечения заданных поверхностей. Их горизонтальные проекции  $1_1$  и  $9_1$  будут находиться на горизонтальных проекциях оснований полусферы и конуса, а фронтальные проекции  $1_2$  и  $9_2$  — на фронтальной проекции этих оснований.

Далее строим промежуточные точки. Вспомогательные точки расположим равномерно между точками  $5_2$  и  $1_2 \equiv 9_2$ .

Плоскость-посредник I пересекает обе поверхности по параллелям  $a$  и  $b$ , которые в свою очередь пересекаются в точках 4 и 6. При этом вначале определим горизонтальные проекции  $4_1$  и  $6_1$  этих точек, как результат пересечения горизонтальной проекции  $a_1$  и  $b_1$  параллелей  $a$  и  $b$ , а затем — их фронтальные проекции  $4_2$  и  $6_2$ . Аналогично построим дополнительные точки 2 и 8, а также 3 и 7.

Соединив полученные точки, с учетом их видимости, плавной кривой, получим проекции искомой линии пересечения  $l$ .

Горизонтальной границей видимости для линии пересечения является линия оснований полусферы и конуса. А поскольку вся линия пересечения  $l$  находится выше этой границы, то вся горизонтальная проекция  $l_1$  будет видимой.

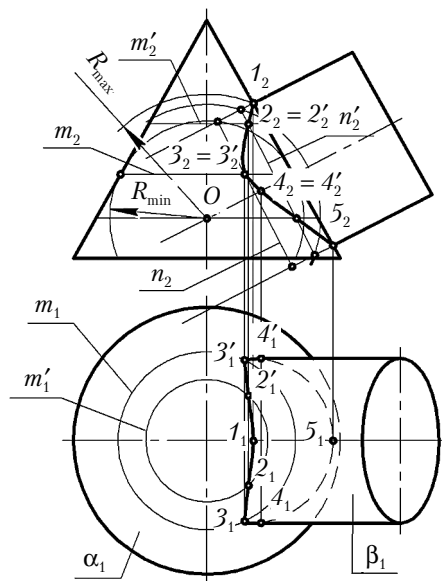
Фронтальной границей видимости для линии пересечения будет линия главных меридианов заданных поверхностей, а так как часть линии пересечения от точки 1 до точки 5 находится перед этой границей, то фронтальная проекция этой части линии пересечения будет видимой.

**Способ вспомогательных концентрических сфер.** Использование в качестве поверхностей-посредников секущих сфер основано на следующем свойстве: *две любые соосные (имеющих общую*

ось) поверхности вращения пересекаются по окружностям, плоскости которых перпендикулярны общей оси заданных поверхностей и проходят через точки пересечения их меридианов.

Для того чтобы одна и та же сфера пересекала две поверхности вращения по окружностям, необходимо, чтобы ее центр находился в точке пересечения осей заданных поверхностей.

На рис. 7.10 показан пример построения линии пересечения конуса и цилиндра вращения. Заданные поверхности имеют общую плоскость симметрии, параллельную фронтальной плоскости проекций. Поэтому их фронтальные очерки пересекаются в точках 1, 5, которые и принимаются в качестве опорных.



**Рис. 7.10.** Построение линии пересечения конической и цилиндрической поверхностей

Для построения дополнительных точек используем в качестве поверхностей-посредников секущие сферы. Центром секущих сфер является точка  $O$  пересечения осей заданных поверхностей. Далее определяем сферы максимального и минимального радиуса.

В качестве максимального радиуса  $R_{\max}$  секущих сфер необходимо принимать расстояние от их центра до наиболее удаленной точки 1 пересечения очерков заданных поверхностей. Вписывать ее нет необходимости, так как ее применение приведет к опреде-

лению только одной, и к тому же известной и принятой в качестве опорной, наиболее удаленной от центра сфер точки пересечения очерков заданных поверхностей.

Для определения минимального радиуса  $R_{\min}$  секущих сфер необходимо из их центра опустить перпендикуляры к поверхности конуса и цилиндра и взять больший из них.

В качестве минимального радиуса  $R_{\min}$  секущих сфер следует принять перпендикуляр, опущенный из центра секущих сфер на очерк конуса. Такая сфера касается конуса по окружности  $m$ . Цилиндрическую поверхность эта сфера пересекает по окружности  $n$ . Пресечение этой поверхности определяет точки  $3$  и  $3'$

Сфера минимального радиуса дает предельное положение точек линии пересечения заданных поверхностей, поэтому ее необходимо использовать обязательно.

Между сферами максимального и минимального радиусов лежит область так называемых рабочих, или промежуточных сфер, т.е. таких сфер, которые дают промежуточные точки линии пересечения поверхностей. На рис. 7.10 приведена промежуточная сфера, пересекающая конус по окружности  $m'$  ( $m'_2, m'_1$ ) и цилиндр по окружности  $n'$  ( $n'_2$ ). Пересечение этих окружностей определяют точки  $2$  и  $2'$ . Вначале находим фронтальные проекции этих точек, а потом горизонтальные — по принадлежности конической поверхности.

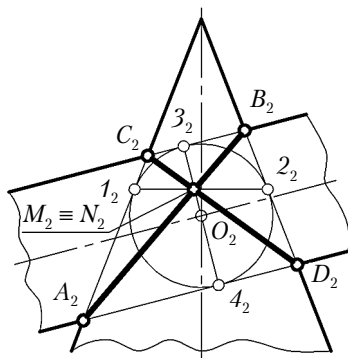
Видимость линии пересечения определена следующим образом. Так как заданные поверхности симметричны относительно плоскости главного меридиана, следовательно, симметрична и линия их пересечения относительно той же плоскости. Поэтому на  $\pi_2$  проекции видимой и невидимой частей линии пересечения совпадут.

На горизонтальной проекции линии пересечения границу видимости определяют точки  $4$  и  $4'$ , лежащих на очерковых образующих цилиндрической поверхности. Сначала обозначают фронтальные проекции этих точек ( $4_2 \equiv 4'_2$ ), которые находятся на пересечении фронтальной проекции линии пересечения с осью фронтальной проекции цилиндрической поверхности. Их горизонтальные проекции ( $4_1$  и  $4'_1$ ) находят на верхней и нижней очерковых образующих горизонтальной проекции цилиндрической поверхности.

**Особые случаи пересечения поверхностей.** Если в процессе решения задачи выясняется, что в две заданные пересекающиеся поверхности вращения можно вписать или описать вокруг них третью поверхность вращения, то для построения их линии пересечения используют следующее положение, известное как теорема Монжа:

*Если две поверхности второго порядка описаны около третьей поверхности второго порядка (или вписаны в нее), то линия их пересечения распадается на две плоские кривые второго порядка.*

На рис. 7.11 показано построение линии пересечения конической и цилиндрической поверхностей.



**Рис. 7.11.** Построение линии пересечения конической и цилиндрической поверхностей (теорема Монжа)

При выборе  $R_{\max}$  и  $R_{\min}$ , сфер максимального и минимального радиусов соответственно выяснили, что сфера с  $R_{\min}$  касается конуса в точках 1, 2 и цилиндра в точках 3, 4. Через эти точки проходят окружности, которые пересекаются в точках  $M$  и  $N$ . Эти точки называются *точками двойного прикосновения* конической и цилиндрической поверхностей, так как в этих точках у этих поверхностей будет общая касательная плоскость. Из этого следует, что линия их пересечения распадается на пару плоских кривых второго порядка. В рассматриваемом примере линия пересечения распадается на два эллипса, фронтальные проекции которых изображаются отрезками прямых  $A_2B_2$  и  $C_2D_2$ .

Горизонтальные проекции строят по принадлежности к одной из заданных поверхностей.

#### Контрольные вопросы и задания

1. К какому классу задач относятся задачи на пересечение?
2. Расскажите о решениях ПЗ.
3. Какие плоскости применяются в качестве секущих?
4. Объясните суть метода секущих плоскостей.
5. В чем суть метода секущих сфер?
6. Какие сферы называются концентрическими и когда их применяют?
7. Объясните теорему Монжа. Когда ее применяют?

## Глава 8

# РАЗВЕРТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Развернуть поверхность** — значит совместить ее с плоскостью без складок и разрывов. При этом длины линий, величины углов и площадей, взятые на поверхности, должны быть равны таким же элементам, взятым на плоскости. Фигуру, полученную при совмещении развертываемой поверхности с плоскостью, называют **разверткой**.

Поверхности, допускающие такие преобразования, принято называть развертываемыми. К ним относятся все гранные поверхности, а также линейчатые поверхности с одной направляющей — торсы, конические и цилиндрические поверхности.

Все остальные поверхности относятся к неразвертываемым.

Развертки поверхностей обладают следующими свойствами:

1. Каждой точке (фигуре) на поверхности соответствует точка (фигура) на развертке, и наоборот.

2. Прямой на поверхности соответствует прямая на развертке. Обратное свойство не сохраняется.

3. Угол между линиями на поверхности равен углу между этими линиями на развертке.

4. Площадь фигуры на поверхности равна ее площади на развертке.

5. Параллельным линиям на поверхности соответствуют также параллельные линии на развертке.

6. Геодезические кривые на поверхности (линии, определяющие кратчайшее расстояние между двумя точками, лежащими на поверхности) на развертке всегда являются прямыми линиями.

### 8.1. РАЗВЕРТКА ПОВЕРХНОСТИ МНОГОГРАННИКОВ

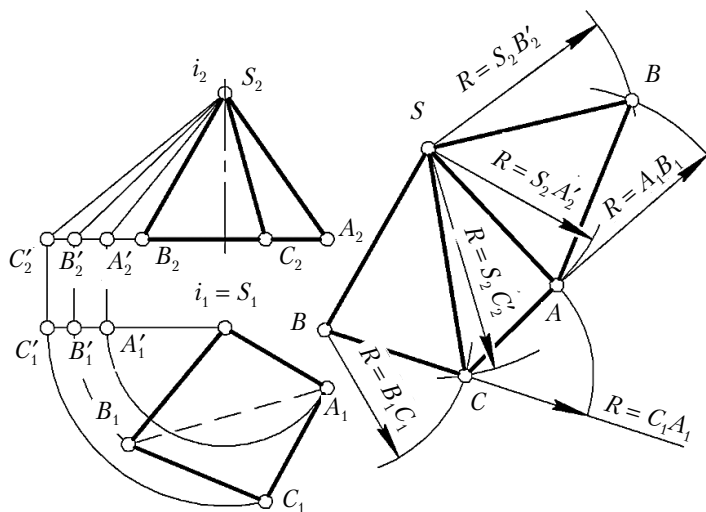
Существует три способа построения развертки поверхностей многогранников:

- *первый* — способ треугольников (триангуляции). Он применяется, как правило, при построении разверток пирамидальных поверхностей, но может использоваться и для призматических поверхностей, так как четырехугольник (боковая грань призмы) легко превращается в два треугольника;
- *второй* — способ нормального сечения;
- *третий* — способ раскатки.



Два последних способа применяются для построения развертки призматических поверхностей. Рассмотрим каждый из этих способов.

Пример построения развертки боковой поверхности пирамиды  $SABC$  способом треугольников показан на рис. 8.1. Сначала определяют натуральные величины ребер пирамиды. Здесь удобно использовать метод вращения вокруг проецирующей оси ( $i \supset S, i \perp \pi_1$ ). После определения натуральных величин ребер пирамиды ( $S_2A'_2, S_2B'_2, S_2C'_2$ ) строят развертку из трех треугольников, построенных по трем сторонам ( $SA = S_2A'_2, SB = S_2B'_2, AB = A_1B_1, BC = B_1C_1, CA = C_1A_1$ ).

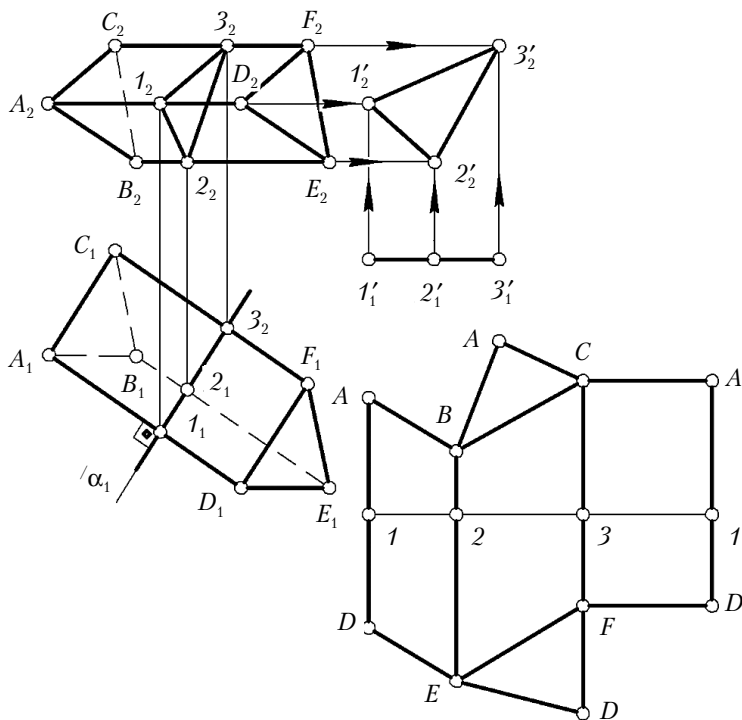


**Рис. 8.1.** Способ треугольников

Построение развертки призмы способом нормального сечения показано на рис. 8.2. Ребра призмы  $AD, BE$  и  $CF$  параллельны плоскости  $\pi_1$ , поэтому на эту плоскость они проецируются без искажения. Если ребра призмы занимают общее положение, то сначала, применив один из способов преобразования проекций, переводят их в положение, параллельное какой-либо плоскости проекций.

Строим сечение  $123$  призмы горизонтально-проецирующей плоскостью  $\alpha$ , перпендикулярной ее боковым ребрам. Способом параллельного переноса определяем натуральную величину треугольника  $123$  и, следовательно, величины его сторон.

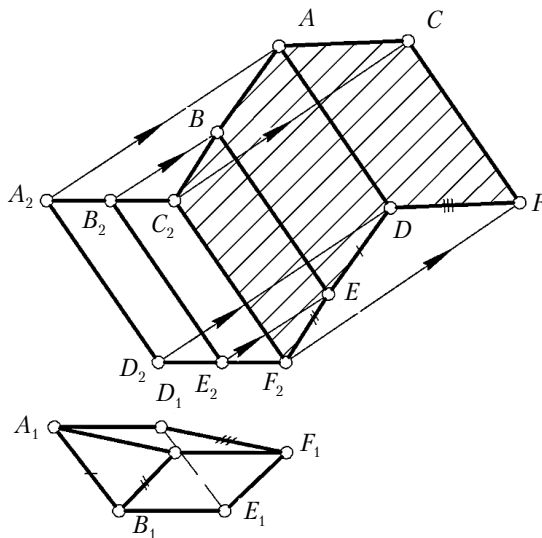
Проводим горизонтальную линию, на которой откладываем отрезки:  $12 = 1'_2 2'_2$ ,  $23 = 2'_2 3'_2$  и  $31 = 3'_2 1'_2$ . Через точки  $1, 2, 3, 1$  проводим перпендикулярные прямые, на которых откладываем отрезки  $1A = 1_1 A_1$ ,  $ID = I_1 D_1 \dots$ . Концы ребер соединяем отрезками прямых. Полученный многоугольник  $ABCADFED$  представляет собой развертку боковой поверхности призмы.



**Рис. 8.2.** Способ нормального сечения

Способ раскатки является частным случаем способа нормальных сечений. Он применяется для построения развертки поверхности призмы, когда основание призмы параллельно какой-либо одной плоскости проекций, а ее ребра параллельны другой плоскости проекций. Сущность метода раскатки состоит в том, что грани призмы последовательным вращением вокруг ее боковых ребер совмещаются с какой-либо плоскостью. Полученная таким образом фигура является разверткой боковой поверхности призмы. На рис. 8.3 показано построение развертки боковой поверхности призмы способом раскатки.

Боковые ребра призмы являются фронталями, а ее основания — горизонтальными плоскостями. Примем за первую ось вращения ребро  $CF$ . Вращением вокруг него совмещаем грань  $CBEF$  с фронтальной плоскостью, проходящей через ребро  $CF$ . Для нахождения совмещенного с фронтальной плоскостью положения ребра  $BE$  из точки  $B_2$  проводим прямую, перпендикулярную к  $B_2E_2$ . После этого засекаем на ней точку  $B$  дугой радиуса  $R_{C_1B_1}$ , проведенной из центра  $C_2$ . Через полученную точку проводим прямую  $BE$ , параллельную  $C_2F_2$ . Затем последовательным вращением вокруг осей  $BE$  и  $AD$  совмещаем с фронтальной плоскостью грани  $ABED$  и  $ACFD$ .



**Рис. 8.3.** Способ раскатки

Положения точек  $E$ ,  $D$  и  $F$  на развертке легко найдены в пересечении прямых  $BE$  и  $E_2E$ ,  $AD$  и  $D_2D$ ,  $CF$  и  $F_2F$ , параллельных соответственно прямым  $C_2F_2$  и  $B_2B$ .

## 8.2. ПОСТРОЕНИЕ РАЗВЕРТОК КОНИЧЕСКОЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Построение развертки прямого кругового цилиндра известно из курса средней школы и сводится к построению прямоугольника по сторонам, равным высоте цилиндра и длине окружности основания цилиндра.

Также просто выполняется развертка прямого кругового конуса, которая является сектором радиуса, равного образующей конуса, и угол которого  $\varphi = 2\pi R/L$ , где  $R$  — радиус окружности основания конуса;  $L$  — длина образующей конуса.

Для построения разверток наклонных или прямых, но не круговых конусов и цилиндров, рекомендуется поступать следующим образом: коническую или цилиндрическую поверхность аппроксимируют вписанными в них многогранными (пирамидальной или призматической) поверхностями; строят развертку пирамиды или призмы так, как было описано выше, концы ребер на развертке соединяют плавными кривыми. Примеры построения разверток наклонных конуса и цилиндра показаны соответственно на рис. 8.4 и 8.5.

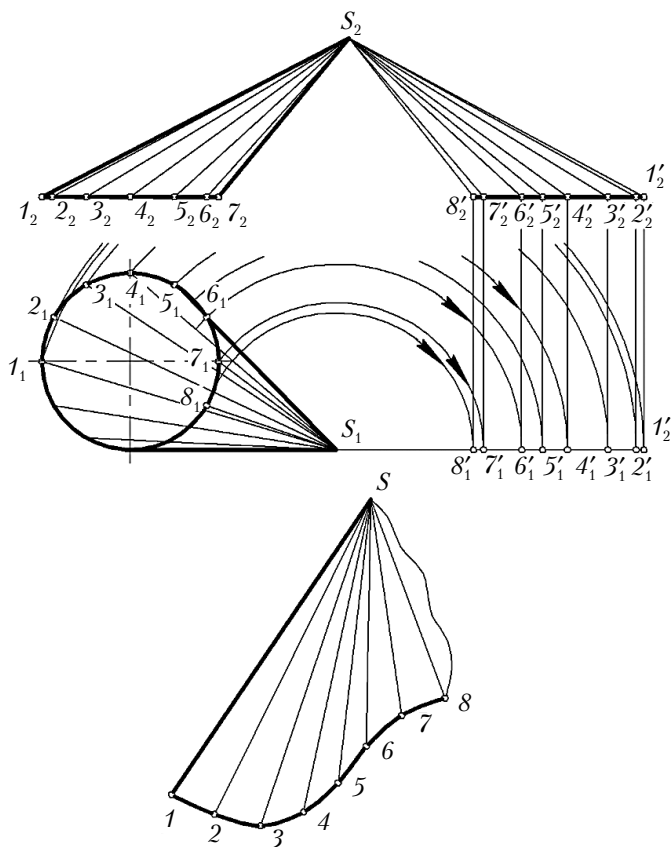


Рис. 8.4. Построение развертки конуса

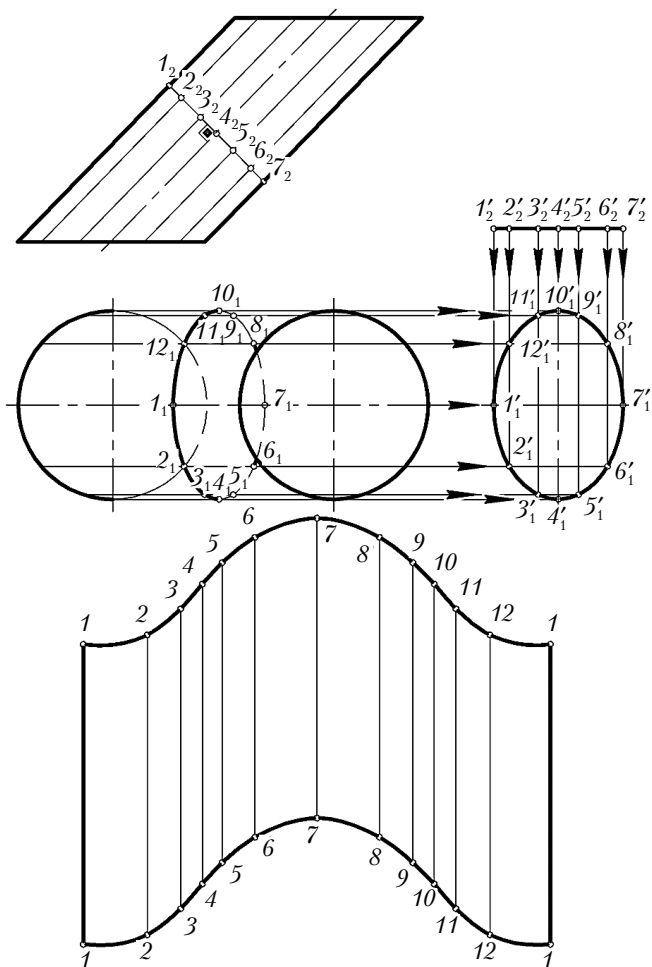


Рис. 8.5. Построение развертки цилиндра

### 8.3. ПРИБЛИЖЕННАЯ РАЗВЕРТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ

Приближенные развертки осуществляют для неразвертывающихся поверхностей. В этом случае заданная неразвертывающаяся поверхность аппроксимируется развертывающимися поверхностями — гранными, цилиндрическими или коническими. После аппроксимации развертку осуществляют одним из способов, рассмотренных выше.

*Контрольные вопросы и задания*

1. Что такое развертка поверхности?
2. Какие основные свойства развертки поверхностей вы знаете?
3. Назовите основные способы построения разверток поверхностей.
4. Какие развертываемые поверхности вы знаете?

# ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

## Глава 9 ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

### 9.1. ОБЩИЕ ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ

Перед началом выполнения чертежей каждый студент должен ознакомиться с действующими в настоящее время стандартами (ГОСТами), устанавливающими правила оформления конструкторской документации. Познакомимся с основными правилами.

#### 9.1.1. Форматы

Форматы листов определяются размерами внешней рамки — ГОСТ 2.301–68 (СТ СЭВ 1181–78). Обозначения и размеры основных форматов должны соответствовать указанным ниже (табл. 9.1).

Таблица 9.1

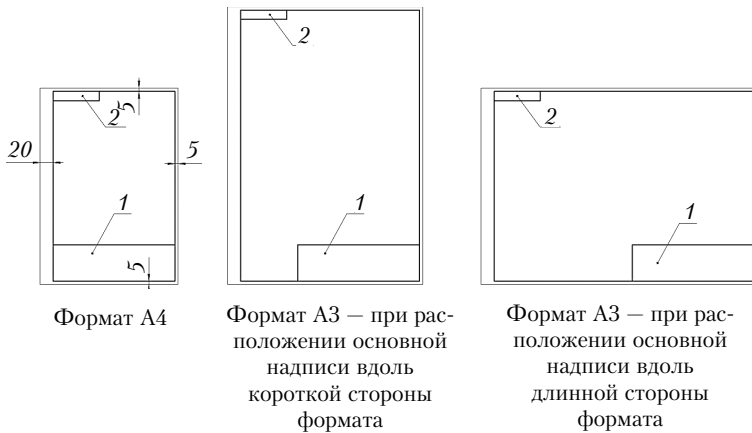
#### Основные форматы

Обозначение формата	A0	A1	A2	A3	A4
Размеры сторон формата	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297
При необходимости допускается применение формата A5 (148×210 мм)					

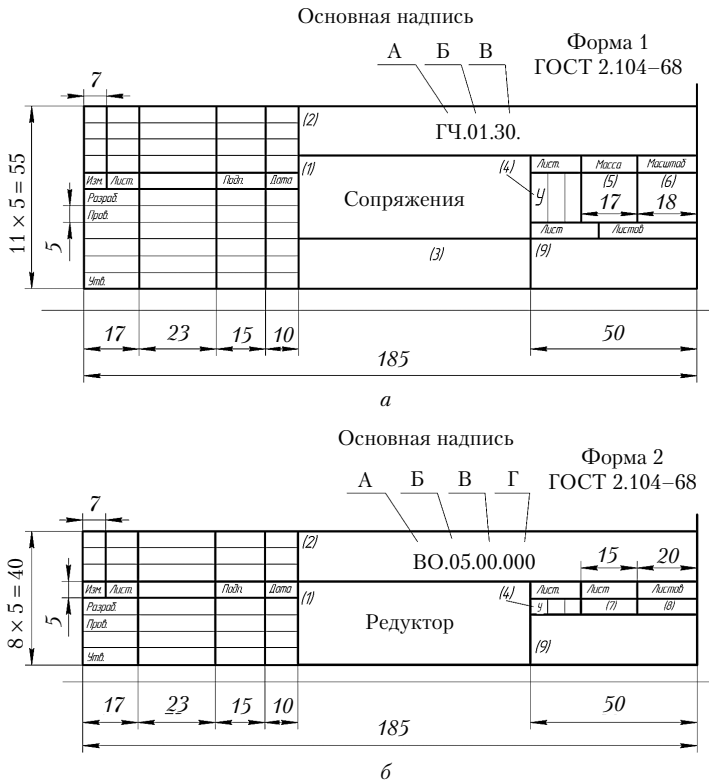
Оформление форматов, заполнение основных, дополнительных надписей и граф выполняется в соответствии с ГОСТ 2.104–68 (СТ СЭВ 140–74, СТ СЭВ 365–76).

Ниже показаны оформление листа рамкой и расположение основной 1, дополнительной надписей 2 (рис. 9.1), размеры основной надписи по форме 1 и 2 и заполнение их граф (рис. 9.2, а, 9.2, б).

Форму 1 используют для чертежей и схем, а форму 2 — для текстовых документов. Для учебных чертежей рекомендуют в графах 1, 2 использовать шрифт № 7; в графах 4, 5, 6, 9 — шрифт № 5, в остальных — шрифты № 3,5 и 2,5.



**Рис. 9.1.** Оформление листа



**Рис. 9.2.** Заполнение граф



Графа 2 заполняется шифром конструкторского документа:

- А — название изучаемой темы;
- Б — порядковый номер темы;
- В — номер варианта;
- Г — обозначения изделия.

Шифры тем, изучаемых в курсе инженерная графика:

- ГЧ.01. — геометрическое черчение;
- ПЧ.02. — проекционное черчение;
- СД.03. — соединения деталей;
- Э.04. — эскизирование деталей;
- ВО.05. — чертеж общего вида;
- Д.06. — детализование чертежа общего вида;
- СЭ.07. — схемы электрические.

### 9.1.2. Масштабы

*Масштаб* — отношение линейных размеров предмета, изображаемого на чертеже, к его натуральным размерам. В зависимости от сложности и величины изображаемых изделий масштабы согласно ГОСТ 2.302–68\* выбирают из следующего ряда:

Масштабы 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; уменьшения 1:100 и т.д.

Натуральная  
величина 1:1

Масштабы 2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 75:1 100:1  
увеличения

При выборе масштаба следует руководствоваться, прежде всего, удобством пользования чертежом. Искажение масштаба в чертеже допускают в случаях, когда некоторые элементы изображения трудно вычерчивать или желательнее усилить их зрительное восприятие.

### 9.1.3. Линии



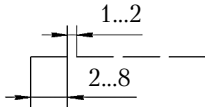

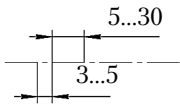
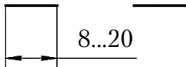
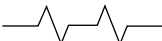
ГОСТ 2.303–68\* (СТ СЭВ 1178–78) устанавливает начертания и основные назначения линий на чертежах.

Толщина линий должна быть одинакова для всех изображений на данном чертеже, вычерчиваемых в одинаковом масштабе, а также у них должны быть четкие начало и окончание (табл. 9.2).

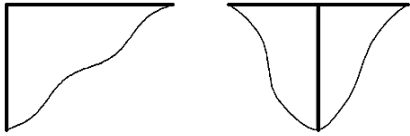
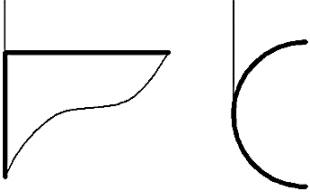
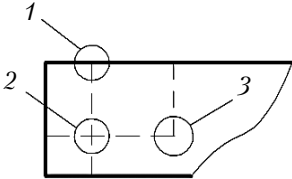
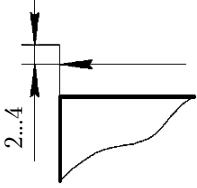
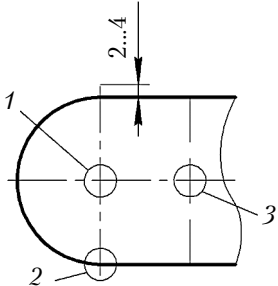
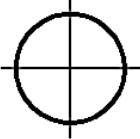
Линии на чертеже следует проводить следующим образом (табл. 9.3).

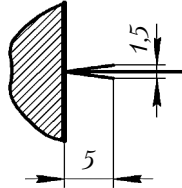
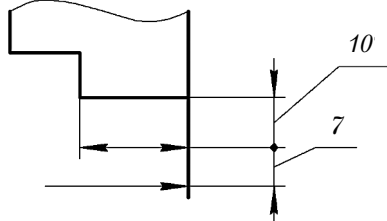
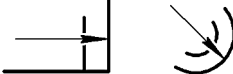
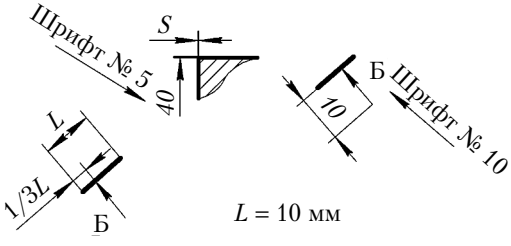
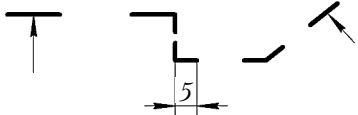
Таблица 9.2

## Линии на чертеже

Наименование и начертание	Толщина линии по отношению к толщине основной линии	Основное назначение
Сплошная толстая — основная 	$s = 0,5...1,4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• линии видимого контура;</li> <li>• линии перехода, видимые;</li> <li>• линии контура сечения (вынесенного и входящего в состав разреза)</li> </ul>
Сплошная тонкая 	$s/3... s/2$	Линии контура наложенного сечения. Линии размерные и выносные. Линии штриховки
Штриховая 	$s/3... s/2$	Линии невидимого контура
Сплошная волнистая 	$s/3... s/2$	Линии обрыва. Линии разграничения вида и разреза
Штрихпунктирная тонкая 	$s/3... s/2$	Линии осевые и центровые. Линии сечений, являющиеся осями симметрии для наложенных или вынесенных сечений
Разомкнутая 	$s...1,5s$	Линии сечений
Сплошная тонкая с изломами 	$s/3... s/2$	Длинные линии обрыва

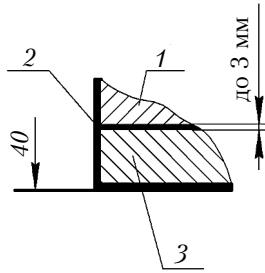
## Начертание линий

<p>Стыки линий должны быть четкими</p>	
<p>Выносные линии проводят как продолжение наружного края контура</p>	
<p>Штриховые линии начинать у контура штрихами (1). При встрече штриховых линий их штрихи пересекаются (2) или образуют прямой угол (3)</p>	
<p>Выносные линии выходят за концы стрелок на 2...4 мм</p>	
<p>Осевые линии пересекать штрихами (1), (3). Штрихи осевой пересекают контуры (2), выходят за их пределы на 2...4 мм</p>	
<p>Осевые, длина которых менее 20 мм, точек не имеют</p>	

Стрелки размерных линий выполнять как показано на рисунке	
Расстояние между контурной и размерной, между размерными во всех случаях не менее	
Разрыв контурной линии по стрелки обязателен во <b>всех</b> случаях	
Разомкнутая линия. Размеры элементов соблюдать до формата А1. Положение букв независимо от направления разомкнутых линий постоянно	
Изменение направления разомкнутой линии	

На сборочных чертежах и чертежах общего вида линии выноски позиций не должны пересекаться между собой, совпадать с направлением штриховки или осевыми линиями (рис. 9.3). Числа позиций должны быть на номер шрифта больше размерных чисел.

На эскизах линии рекомендуется проводить одним движением, не повторяя их многократно, используя листы в клетку (5×5 мм). Чертеж выполняется без линейки, допускается проводить окружность циркулем с последующей обводкой от руки. Требования по графике выполнения эскиза такие же, как и для чертежей, выполняемых на формате чертежной бумаги.



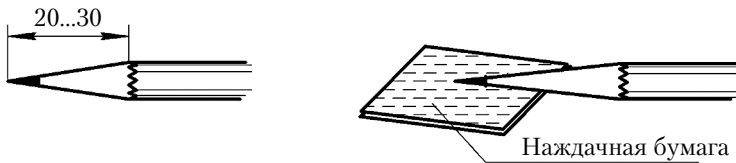
**Рис. 9.3.** Линии выноски позиций:  
1 — прокладки любого материала; 2,3 — положения линий

### 9.1.4. Подготовка карандаша к работе

Для выполнения чертежей используют граненые графитные карандаши различной твердости. Твердость карандаша выбирают в зависимости от назначения и характера проводимых линий.

Практически наиболее удобными являются карандаши *2Т*, *ТМ*, *М* или *2Н*, *НВ*.

Заточка карандашей показана на рис. 9.4.

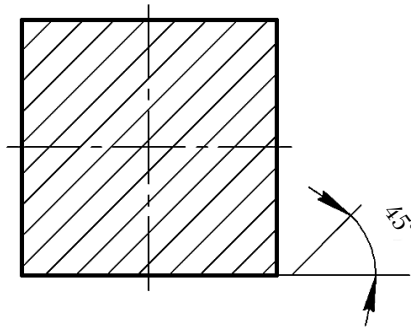


**Рис. 9.4.** Заточка карандаша

### 9.1.5. Графическое обозначение материалов

Общее графическое обозначение материала в сечении независимо от его вида — равномерная штриховка сплошными тонкими линиями. Линии штриховки проводят под углом  $45^\circ$  к линии контура изображения, или к его оси, или к линиям рамки чертежа (рис. 9.5). Если линии контура или осевые расположены под углом  $45^\circ$  к линиям рамки чертежа, то линии штриховки проводят под углом  $30^\circ$  или  $60^\circ$ , как показано на рис. 9.6.

Линии штриховки наносят с наклоном влево или вправо, но в одну и ту же сторону на всех сечениях, относящихся к одной детали, независимо от числа листов, на которых эти сечения расположены. Расстояния между линиями штриховки выбирают от 1 до 10 мм в зависимости от площади.

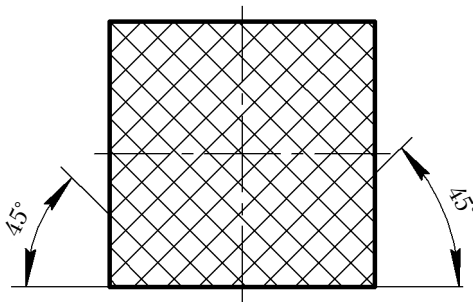


**Рис. 9.5.** Линии штриховки



**Рис. 9.6.** Линии штриховки под иным углом

Изделия, изготовленные из неметаллических материалов, в разрезах и сечениях изображают штриховкой в двух направлениях под углом  $45^\circ$  (рис. 9.7).



**Рис. 9.7.** Штриховка в двух направлениях

### 9.1.6. Шрифты чертежные

Чертежные шрифты, применяемые для нанесения всех надписей на чертежах и других технических документах, установлены ГОСТ 2.304–81\* (табл. 9.4).

Таблица 9.4

## Чертежные шрифты

№ п/п	Параметры шрифта	Обозначение	Относительный размер	Размер шрифта, мм				
1. 1.1.	Прописные буквы и цифры. Высота букв и цифр	$h$	$(10/10) h$	$10d$	3,5	5,0	7,0	10,0
1.2.	Ширина букв А, Д, М, Х, Ы, Ю	9	$(7/10) h$	$7d$	2,4	3,5	4,9	7,0
1.3.	Ширина букв Б, В, И, Й, К, Л, Н, О, П, Р, Т, У, Ц, Ч, Ъ, Э, Я и цифры 4	9	$(6/10) h$	$6d$	2,1	3,0	4,2	6,0
1.4.	Ширина букв Г, Е, З, С и цифр 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 0	9	$(5/10) h$	$5d$	1,7	2,5	3,5	5,0
1.5.	Ширина букв Ж, Ф, Ш, Ъ	9	$(8/10) h$	$8d$	2,8	4,0	5,6	8,0
1.6.	Ширина цифры 1	9	$(3/10) h$	$3d$	1,0	1,5	2,1	3,0
2. 2.1.	Строчные буквы. Высота букв, кроме б, в, д, р, у, ф	$c$	$(7/10) h$	$7d$	2,5	3,5	5,0	7,0
2.2.	Высота букв б, в, д, р, у, ф	$c$	$(10/10) h$	$10d$	3,5	5,0	7,0	10,0
2.3.	Ширина букв, кроме ж, з, м, с, т, ф, ш, щ, ы, ю	9	$(5/10) h$	$5d$	1,7	2,5	3,5	5,0
2.4.	Ширина букв з, с	9	$(4/10) h$	$4d$	1,4	2,0	2,8	4,0
2.5.	Ширина букв м, ы, ю	9	$(6/10) h$	$6d$	2,1	3,0	4,2	6,0
2.6.	Ширина букв т, ж, ф, ш, щ	9	$(7/10) h$	$7d$	2,4	3,5	4,9	7,0
3.	Расстояние между буквами и цифрами	$a$	$(2/10) h$	$2d$	0,7	1,0	1,4	2,0
4.	Расстояние между основаниями строк	$d$	$(17/10) h$	$17d$	6,0	8,5	12,0	17,0
5.	Минимальное расстояние между словами	$e$	$(6/10) h$	$6d$	2,1	3,0	4,2	6,0

№ п/п	Параметры шрифта	Обозначение	Относительный размер		Размер шрифта, мм			
			$(1/10)h$	$1d$	0,35	0,5	0,2	1,0
6.	Толщина линии шрифта	$d$	$(1/10)h$	$1d$	0,35	0,5	0,2	1,0

*Примечание.* Ширина букв «ц» и «щ» дана в табл. 9.4 без отростков.

Основные требования к выполнению надписей: точная разливка (проведение строчных линий под надписи) и одинаковый наклон букв  $75^\circ$  (рис. 9.8) (табл. 9.5).

RXYZN<sup>o</sup>φ

0123456789 3

Прописные буквы

АБВГДЕЖЗИЙКЛМНОПР  
СТУФХЦЧШЩЪЫЬЭЮЯ

Строчные буквы

абвгдежзийклмнопрст  
уфхцчшщъыьэюя

**Рис. 9.8.** Русский алфавит. Шрифт типа А с наклоном



Таблица 9.5

**Конструкция, размеры и названия знаков**

Конструкция	Название	Конструкция	Название
	Диаметр		Конусность
	Квадрат		Проценты
	Радиус		Дуга
	Уклон		Шероховатость
	Повернуто		Развернуто

**9.1.7. Нанесение размеров**

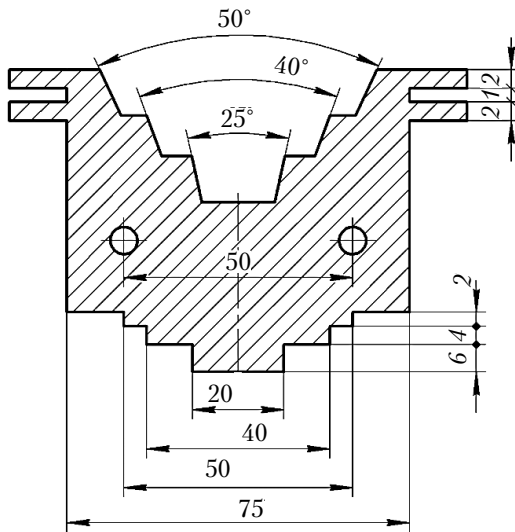
Общее число размеров на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля изделия.

Основанием для определения величины изображенного изделия и его элементов служат размерные числа, нанесенные на чертеже (ГОСТ 2.307–68\*, СТ СЭВ 1976–79, СТ СЭВ 2180–80). Различают

*размеры рабочие* (исполнительные), каждый из которых используют при изготовлении изделия и его приемке (контроле), и *справочные* (отмечают знаком \*), указываемые только для большего удобства пользования чертежом.

Не допускается повторять размеры одного и того же элемента на изображениях, в технических требованиях, основной надписи и спецификации. Размеры на чертежах указывают размерными числами и размерными линиями, ограничиваемыми с одного или обоих концов стрелками или засечками.

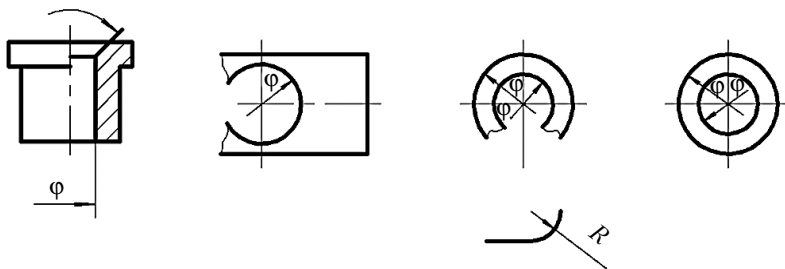
Размерные линии проводят параллельно отрезку, размеры которого указывают, а выносные линии — перпендикулярно к размерным (рис. 9.9).



**Рис. 9.9.** Размеры на чертежах

Минимальные расстояния между параллельными размерными линиями — 7 мм, а между размерной и линией контурной — 10 мм.

На чертеже не допускается использование в качестве размерных — контурных, основных, центровых и выносных линий, а также пересечение размерных линий. Выполнение размерных линий с одной стрелкой показано на рис. 9.10. Такие линии применяют для указания радиусов скруглений, при изображении деталей, вычерченных не полностью, при недостатке места. Конец размерной линии без стрелки следует продлевать за центр или за осевую.



**Рис. 9.10.** Размерные линии с одной стрелкой

Выносные линии должны выходить за концы стрелки или засечек на 1–5 мм. Размерные числа наносят над размерной линией как можно ближе к ее середине. При нанесении размера диаметра внутри окружности размерные числа смещают относительно середины размерных линий.

Величина стрелок размерных линий зависит от толщины линии видимого контура (для учебных чертежей рекомендуется 5–7 мм), высота размерных чисел – 5 мм. Между цифрами и размерной линией оставляют промежутки в 0,5–1,0 мм.

При недостатке места для стрелок на размерных линиях, расположенных цепочкой, стрелки заменяют засечками, наносимыми под углом 45° к размерным линиям. При нанесении нескольких параллельных или концентрических размерных линий на небольшом расстоянии друг от друга размерные числа располагают в шахматном порядке.

### **9.1.8. Методические указания по выполнению и оформлению альбомов чертежей с заданиями**

1. Выполнение чертежей согласно выданным заданиям осуществляется на листах формата А3 и А4.
2. Титульный лист оформляется в соответствии с примером на рис. 9.11.
3. Для выполнения чертежей используются следующие инструменты: линейки, карандаши, циркули и др.

## **9.2. СОПРЯЖЕНИЯ**

**Сопряжением** называют плавный переход одной линии в другую. Общую точку, в которой осуществляется плавный переход, называют **точкой сопряжения**. *Непременное условие плавного перехода – существование в точке сопряжения общей касательной.*

*Российский государственный аграрный  
 университет – МСХА имени К.А. Тимирязева  
 Кафедра инженерной и компьютерной графики  
 Работа по инженерной графике  
 Студента 1 курса 15 группы энергетического факультета  
 Уткина Евгения Николаевича*

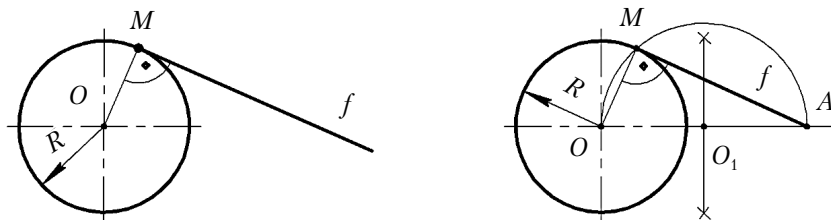
*Содержание*

- 1. – Геометрическое черчение – листов – 3.*
- 2. – Проекционное черчение – листов – 5.*
- 3. – Соединение деталей – листов – 1.*

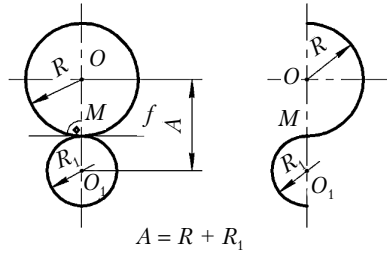
*Москва 20... г.*

**Рис. 9.11.** Образец титульного листа

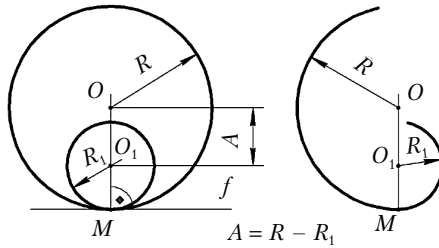
Для решения этих задач необходимо уметь строить касательную в данной точке окружности, проводить из внешней точки прямую, касательную к окружности (рис. 9.12), помнить, что центры окружностей, соприкасающихся внешним образом, находятся на расстоянии суммы их радиусов (рис. 9.13, а), а внутренним образом – на расстоянии разности их радиусов (рис. 9.13, б), причем точка касания (сопряжения) всегда лежит на прямой, проходящей через их центры. Изложенное позволяет легко уяснить последовательность решений задач на сопряжения, приведенных на рис. 9.14, 9.15.



**Рис. 9.12.** Касательная

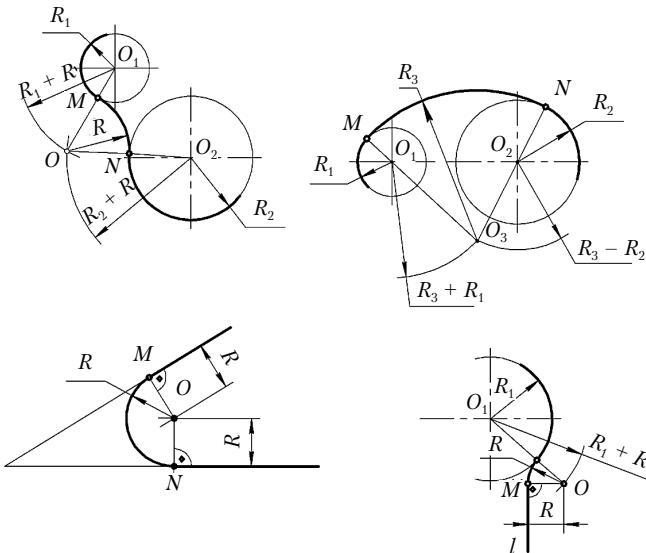


*a*



*b*

**Рис. 9.13.** Центры окружностей, соприкасающиеся внешним образом (*a*) и внутренним образом (*b*)



**Рис. 9.14.** Последовательность решений задач на сопряжения

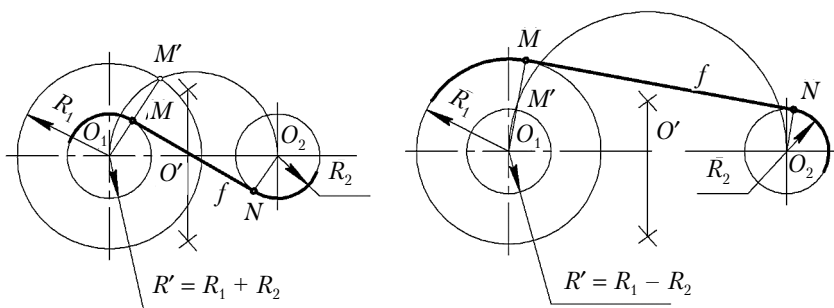


Рис. 9.15. Сопряжения

### 9.3. ДЕЛЕНИЕ ОКРУЖНОСТИ НА РАВНЫЕ ЧАСТИ

При выполнении чертежей некоторых деталей машин и приборов необходимо вычерчивать элементы, равномерно расположенные по окружностям. Поэтому необходимо знать правило деления окружности на равное число частей.

**Деление окружности на три, шесть и двенадцать равных частей.** Для нахождения точек, делящих окружность радиуса  $R$  на три равные части, достаточно из любой точки окружности, например точки  $A$ , провести дугу радиусом  $R$ . Пересечения дуги с окружностью дают две искомые точки 2 и 3, третья точка деления будет находиться на пересечении оси окружности, проведенной из точки  $A$ , с окружностью (рис. 9.16, *а*).

Разделить окружность на три равные части можно также угольником с углами  $30^\circ$  и  $60^\circ$  (рис. 9.16, *б*), гипотенуза угольника должна проходить через центр окружности.

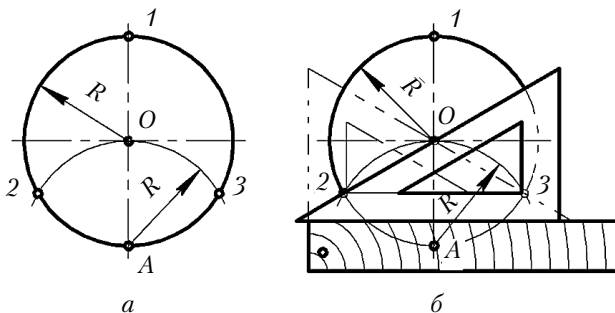
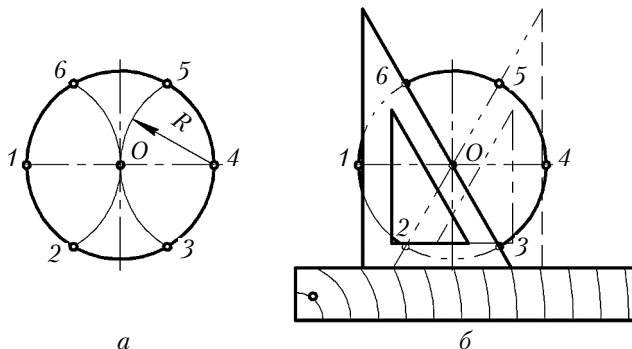


Рис. 9.16. Деление окружности на три части при помощи дуги (*а*) и угольника (*б*)

На рис. 9.17, *а*, показано деление окружности циркулем на шесть равных частей. В этом случае выполняется то же построение, что на рис. 9.16, *а*, но дуги радиусом  $R$  следуют описывать не один, а два раза — из точек 1 и 4 радиусом  $R$ , равным радиусу окружности.

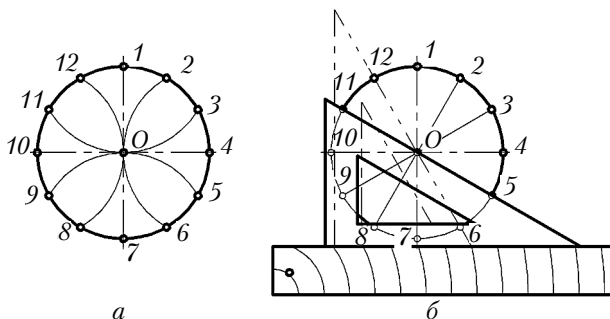
Разделить окружность на шесть равных частей можно и угольником с углами  $30^\circ$  и  $60^\circ$  (рис. 9.17, *б*).



**Рис. 9.17.** Деление окружности на шесть равных частей при помощи циркуля (*а*) и угольника (*б*)

При делении окружности на 12 равных частей с помощью циркуля можно использовать тот же прием, что и при делении окружности на шесть равных частей, но дуги радиусом  $R$  следует описывать четыре раза из точек 1, 7, 4 и 10 (рис. 9.18, *а*).

Используя угольник с углами  $30^\circ$  и  $60^\circ$  с последующим поворотом его на  $180^\circ$ , делят окружность на 12 равных частей (рис. 9.18, *б*).



**Рис. 9.18.** Деление окружности на двенадцать равных частей при помощи циркуля (*а*) и угольника (*б*)

**Деление окружности на четыре и восемь равных частей.** Если необходимо разделить окружность на восемь равных частей, то это

можно сделать с помощью угольника с углами  $45^\circ$  (рис. 9.19, б), гипотенуза угольника должна проходить через центр окружности, или построением.

Два взаимно перпендикулярных диаметра окружности делят ее на четыре равные части (точки 1, 3, 5, 7 на рис. 9.19, а). Для того чтобы разделить окружность на восемь равных частей, применяют известный прием деления прямого угла с помощью циркуля на две равные части. Получают точки 2, 4, 6, 8.

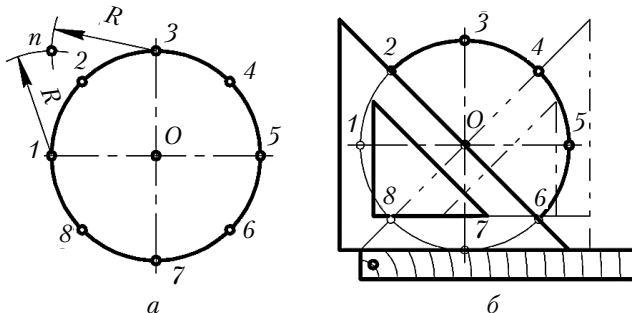


Рис. 9.19. Деление окружности на четыре (а) и восемь (б) равных частей

### Деление окружности на пять, десять и семь равных частей.

Для того чтобы разделить окружность на пять равных частей, необходимо через намеченный центр  $O$  (рис. 9.20) провести осевые линии и из точки  $O$  циркулем построить окружность заданного диаметра. Из точки  $A$  радиусом  $R$ , равным радиусу данной окружности, проводят дугу, которая пересечет окружность в точке  $N$ .

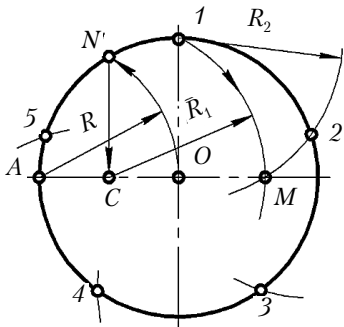


Рис. 9.20. Деление окружности на пять равных частей

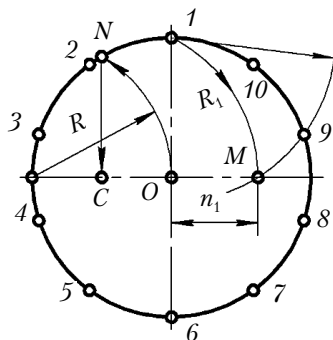
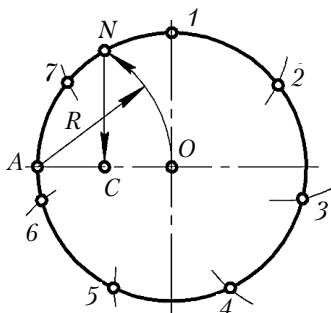


Рис. 9.21. Деление окружности на 10 равных частей





**Рис. 9.22.** Деление окружности на семь частей

Из точки  $N$  опускают перпендикуляр на горизонтальную осевую линию, получают точку  $C$ . Из точки  $C$  радиусом  $R_1$ , равным расстоянию от точки  $C$  до точки  $1$ , проводят дугу, которая пересечет горизонтальную осевую линию в точке  $M$ . Из точки  $1$  радиусом  $R_2$ , равным расстоянию от точки  $1$  до точки  $M$ , проводят дугу, пересекающую окружность в точке  $2$ .

Дуга  $12$  является  $\frac{1}{5}$  длины окружности. Точки  $3, 4$  и  $5$  находят, откладывая циркулем отрезки, равные  $M1$ .

При делении окружности на 10 равных частей следует применить то же построение, что и при делении окружности на пять частей (см. рис. 9.20). Отрезок  $n_1$  будет равняться хорде, которая делит окружность на 10 равных частей (рис. 9.21).

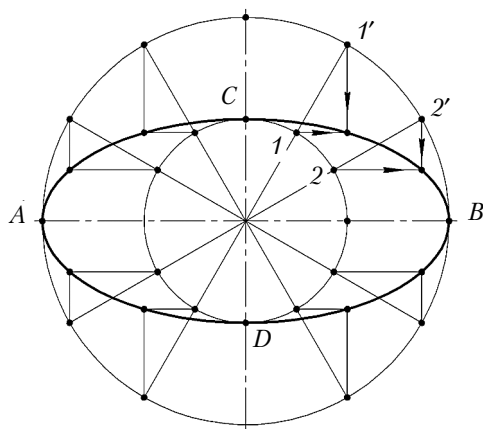
Деление окружности на семь равных частей показано на рис. 9.22. Из точки  $A$  проводится вспомогательная дуга радиусом  $R$ , равным радиусу данной окружности, которая пересечет окружность в точке  $N$ . Из точки  $n$  опускают перпендикуляр на горизонтальную осевую линию. Из точки  $1$  радиусом, равным отрезку  $NC$ , делают по окружности семь засечки  $2$  и  $7$ . Далее из полученных точек делают по окружности засечки радиусом, равным отрезку  $NC$ , и получают семь искомых точек.

#### **9.4. ПОСТРОЕНИЕ ЦИРКУЛЬНЫХ И ЛЕКАЛЬНЫХ КРИВЫХ**

**Построение эллипса по двум его осям** (рис. 9.23). На заданных осях эллипса — большой  $AB$  и малой  $CD$  построить как на диаметрах две концентрические окружности. Одну из них разделить на 8...12 равных или не равных частей и через точки деления центр  $O$  провести радиусы до их пересечения с большой окружностью. Через точки  $1, 2, \dots$  деления большой окружности провести прямые, па-

параллельные малой оси  $CD$ , а через точки  $1, 2, \dots$  деления малой окружности — прямые, параллельные большой оси  $AB$ .

Точки пересечения соответствующих прямых принадлежат искомому эллипсу. Полученную совокупность точек, включая точки на большой и малой осях, последовательно соединить от руки плавной кривой, которую затем обвести по лекалу.



**Рис. 9.23.** Построение эллипса

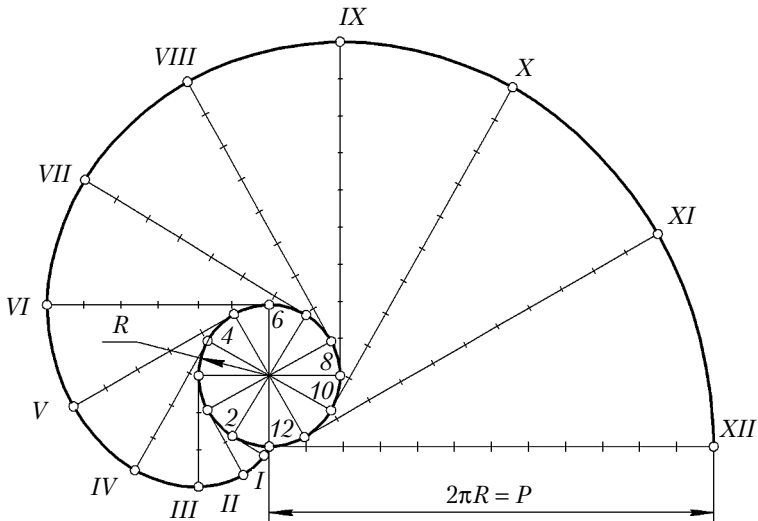
**Построение эвольвенты (развертки) окружности по заданному диаметру** (рис. 9.24). Исходную окружность с центром  $O$  разделить на произвольное число равных частей ( $n = 12$ ). В точках деления  $1, 2, \dots, 12$  провести касательные к окружности, направленные в одну сторону. Касательную, проведенную из последней точки деления, ограничить отрезком, равным длине окружности ( $2\pi R$ ), и разделить этот отрезок на то же число равных частей.

Последовательно отмечая на всех касательных точки, соответствующие определенному числу делений длины окружности: на первой — одному делению, на второй — двум и т.д., нужно соединить их плавной кривой линией.

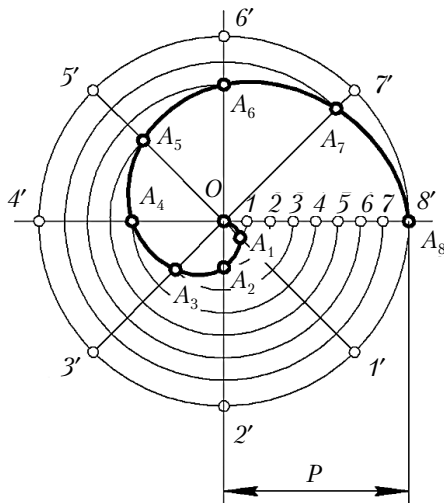
**Построение спирали Архимеда** (рис. 9.25). Спираль Архимеда — плоская кривая, описываемая точкой, движущейся по радиус-вектору, который вращается в плоскости вокруг неподвижной точки  $O$ .

Построим спираль Архимеда по заданному шагу  $P$ . Шаг спирали  $A_8$  делим на несколько частей, например на восемь. Из точки  $O$  как из центра проводим окружность радиуса  $R$ , равного шагу, делим ее тоже на восемь частей и проводим радиусы-векторы  $01', 02', 03', \dots$

$08'$ . Дугами, проведенными из центра  $O$ , переносим точку  $1$  с шага на радиус-вектор  $01'$ , точку  $2$  — на  $02'$ , точку  $3$  — на  $03'$  и т.д. Через полученные точки  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_8$  проводим кривую линию-спираль Архимеда (один оборот).

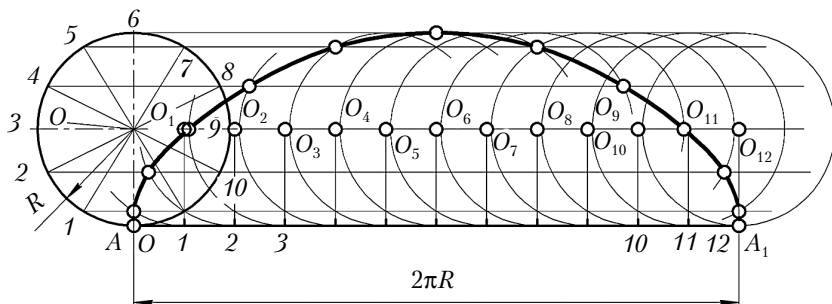


**Рис. 9.24.** Построение эвольвенты



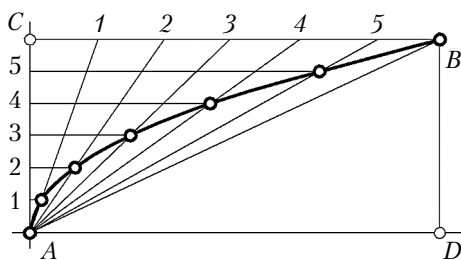
**Рис. 9.25.** Построение спирали Архимеда

**Построение циклоиды** (рис. 9.26). *Циклоидой* называют траекторию движения точки на окружности, перекатываемой без проскальзывания по прямой линии. Для построения циклоиды от начальной точки  $A$  окружности провести направляющую прямую, ограничив ее длину отрезком  $AA_1$ , равным длине заданной окружности ( $2\pi R$ ). Далее разделить отрезок  $AA_1$  и окружность на одинаковое число равных частей ( $n = 12$ ).



**Рис. 9.26.** Построение циклоиды

Через точки деления окружности  $1, 2, \dots$  провести ряд прямых параллельно направляющей прямой  $AA_1$ , а через точки деления прямой — перпендикуляры, которые при пересечении с осевой линией, продолженной из центра начальной окружности, обозначат ряд последовательно расположенных центров  $O_1, O_2, \dots$  перекатываемой окружности. Описывая из этих центров дуги радиусом  $R$ , последовательно отметить точки их пересечения с соответствующими прямыми, параллельными  $AA_1$ , как точки, принадлежащие циклоиде.

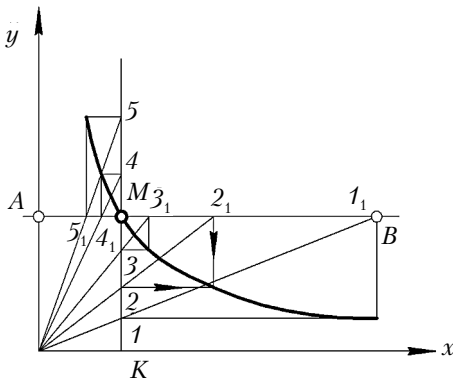


**Рис. 9.27.** Построение параболы

**Построение параболы по заданным вершине, оси и одной из точек параболы** (рис. 9.27). Из точек  $A$  и  $B$  провести взаимно

перпендикулярные прямые до пересечения в точке  $C$ . Отрезки  $AC$  и  $BC$  разделить на одинаковое число равных частей. Из вершины  $A$  провести лучи в точки деления на отрезке  $BC$ , а из точек деления на отрезке  $AC$  — прямые, параллельные оси параболы. Точки другой ветви параболы симметричны относительно оси параболы.

**Построение гиперболы по заданной точке  $M$  в системе координат  $OXY$**  (рис. 9.28). Через данную точку  $M$  провести вспомогательные оси  $AM$  и  $MK$ , параллельные соответственно  $OX$  и  $OY$ . На оси  $MK$  выбрать произвольные точки  $1, 2, \dots$  через которые провести горизонтальные лучи. Из начала координат  $O$  провести через те же точки ряд лучей до пересечения со вспомогательной осью  $AM$  в точках  $1_1, 2_1, \dots$ . Опуская из этих точек перпендикуляры на горизонтальные лучи соответствующих номеров, отметить ряд точек, принадлежащих гиперболе.



**Рис. 9.28.** Построение гиперболы

**Построение синусоиды по заданному диаметру начальной окружности** (рис. 9.29). Выбрать начало координат для построения синусоиды, совпадающее с точкой  $A$  на окружности заданного радиуса  $R$ , и на продолжении оси  $OA$  отложить отрезок  $AA_1 = 2\pi R$  (равный длине окружности). Разделить окружности и отрезок  $AA_1$  на одинаковое число равных частей и пронумеровать точки деления. Через точки деления окружности провести ряд прямых, параллельных  $AA_1$ , а из точек деления прямой  $AA_1$  — ряд прямых, перпендикулярных  $AA_1$ . На пересечении этих вспомогательных прямых, имеющих одноименные номера, отметить точки синусоиды.

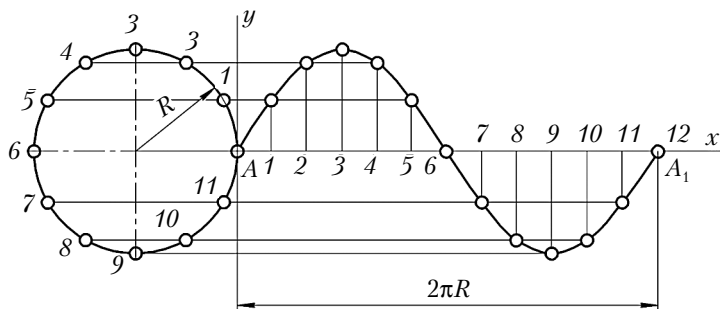


Рис. 9.29. Построение синусоиды

### 9.5. УКЛОН И КОНУСНОСТЬ

**Уклон** характеризует наклон одной линии по отношению к другой. Обозначение его наклонной стороны содержит знак, острый угол которого направлен в сторону уклона. Для проведения прямой под заданным уклоном к горизонтальной прямой, например 1:3 (рис. 9.30, а), на горизонтальной прямой от точки  $O$  откладывают три единичных длины. В полученной точке  $A$  проводят перпендикуляр и откладывают на нем одну единицу длины. Уклон прямой  $OB$  относительно прямой  $OA$  равен 1:3.

Если уклон задается в процентах (например, 25%), то линия уклона строится как гипотенуза прямоугольного треугольника. На рис. 9.30, б построен треугольник, у которого вертикальный катет  $AB$  равен 25%, а горизонтальный катет  $OA$  — 100%.

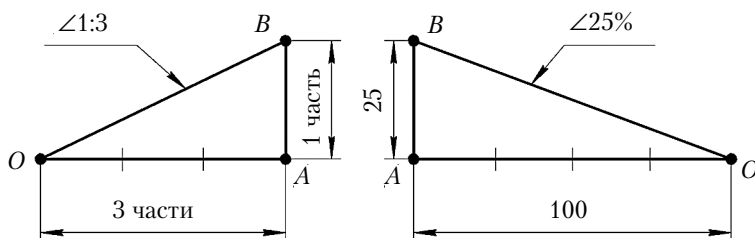


Рис. 30. Уклон:  
а — 1:3; б — в процентах

Уклоны необходимо строить при вычерчивании многих деталей, в частности при выполнении чертежей профилей двутавровых балок, швеллеров и т.п. (табл. 9.6, 9.7).

Таблица 9.6

## Балки двутавровые (ГОСТ 8239–72), мм

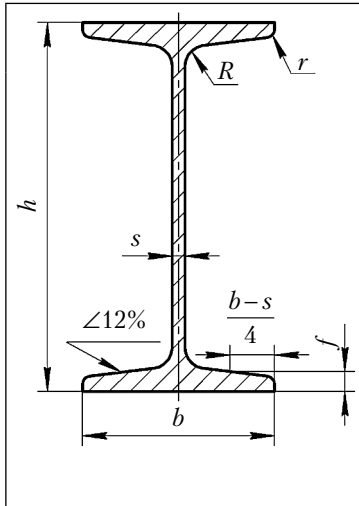
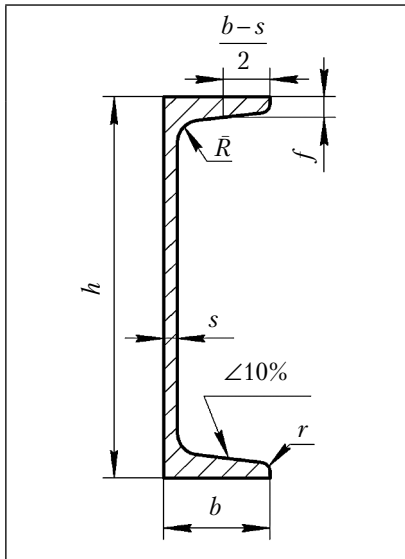
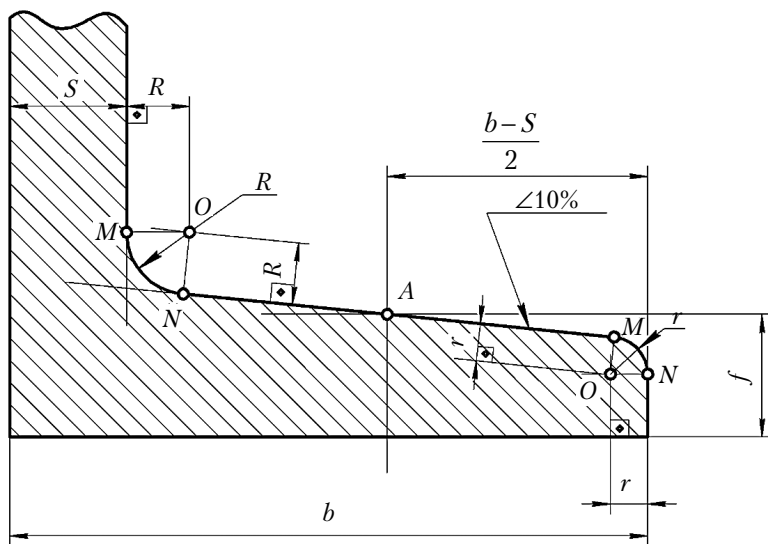
	Номер профиля	$h$	$b$	$s$	$t$	$R$	$r$
	10	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	
18a	180	100	5,1	8,3	9,0	3,5	
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	
20a	200	110	5,2	8,6	9,5	4,0	
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	
22a	220	120	5,4	8,9	10,0	4,0	
24	240	150	5,6	9,5	10,5	4,0	
24a	240	125	5,6	9,8	10,5	4,0	
27	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	
27a	270	135	6,0	10,2	11,0	4,5	

Таблица 9.7

## Швеллеры (ГОСТ 8240–72), мм

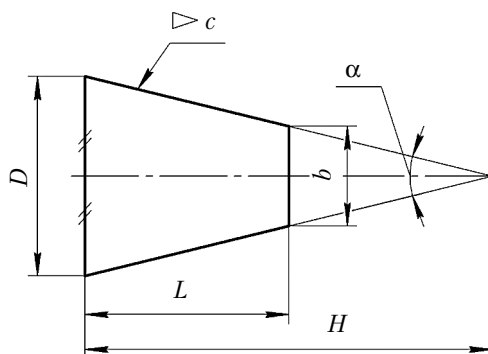
	Номер швел- лера	$h$	$b$	$s$	$t$	$R$	$r$
	5	50	32	4,4	7,0	6,0	2,5
6,5	65	36	4,4	7,2	6,0	2,5	
8	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	
10	100	46	4,5	7,6	7,0	3,0	
12	120	52	4,8	7,8	7,5	3,0	
14	140	58	4,9	8,1	8,0	3,0	
14a	140	62	4,9	8,1	8,0	3,0	
16	160	64	5,0	8,4	8,5	3,5	
16a	160	68	5,0	9,0	8,5	3,5	
18	180	70	5,1	8,7	9,0	3,5	
18a	180	74	5,1	9,3	9,0	3,5	
20	200	76	5,2	9,0	9,5	4,0	
20a	200	80	5,2	9,7	9,5	4,0	
22	220	82	5,4	9,5	10,0	4,0	
22a	220	87	5,4	10,2	10,0	4,0	

Построение уклона по заданным в общем виде параметрам показан на рис. 9.31.



**Рис. 9.31.** Построение уклона по заданным параметрам

**Конусность** называется отношение диаметра окружности основания прямого конуса к его высоте:  $C = D/H$  (рис. 9.32) или отношение разности диаметров двух поперечных сечений прямого кругового конуса к расстоянию между ними:  $C = (D - d) / L$ .



**Рис. 9.32.** Конусность



Числовое значение конусности записывают на полке линии-выноски или на оси конуса. Перед размерным числом конусности ставится знак конусности — равнобедренный треугольник, вершина которого направлена в сторону вершины конуса.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Назовите основные форматы чертежей.
2. В каких пределах должна быть толщина сплошной толстой основной линии?
3. Какая толщина принята для штриховой, штрихпунктирной тонкой и сплошной линии в зависимости от толщины сплошной толстой основной линии?
4. Какие установлены размеры шрифта и чем определяется размер шрифта?
5. Могут ли пересекаться на чертеже размерные линии?
6. Сформулируйте понятие «сопряжение».
7. Как определяются точки сопряжения?
8. Что называется уклоном и как определить величину уклона?
9. Что называется конусностью?
10. Назовите основные требования, которые необходимо соблюдать при нанесении размеров на чертежах.

## Глава 10

# ПРОЕКЦИОННОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

**Проекция** — изображение предмета на плоскости проекций со всеми его видимыми и невидимыми наблюдателю подробностями.

Предметы на технических чертежах изображают по методу прямоугольного проецирования на взаимно перпендикулярные плоскости проекций. При этом предполагается, что изображаемый предмет расположен между наблюдателем и соответствующей плоскостью проекций.

Чертеж любого изделия содержит графические изображения видимых и невидимых его поверхностей.

Изображением является любой чертеж, который может быть видом, разрезом или сечением, выполненный установленным способом проецирования, как правило, в определенном масштабе, и служащий для выявления формы и всех необходимых размеров предмета.

В инженерной графике изображения предметов в ортогональных проекциях называют **видами**.

В зависимости от содержания изображения подразделяют на **виды, разрезы, сечения**.

### 10.1. ВИДЫ

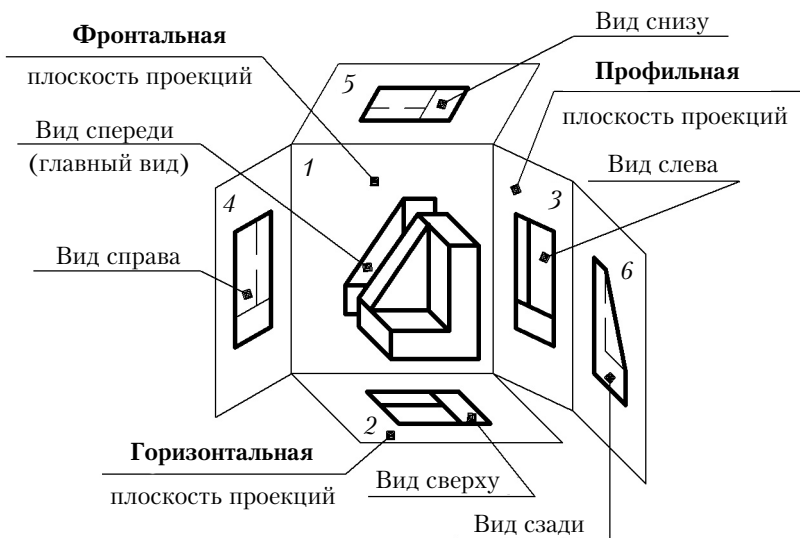
**Вид** — изображение обращенной к наблюдателю видимой части поверхности предмета. Для уменьшения числа изображений на видах допускается показывать необходимые невидимые части поверхности предмета штриховыми линиями.

Применение штриховых линий в отдельных случаях позволяет уменьшить число необходимых изображений, не нарушая ясности чертежа.

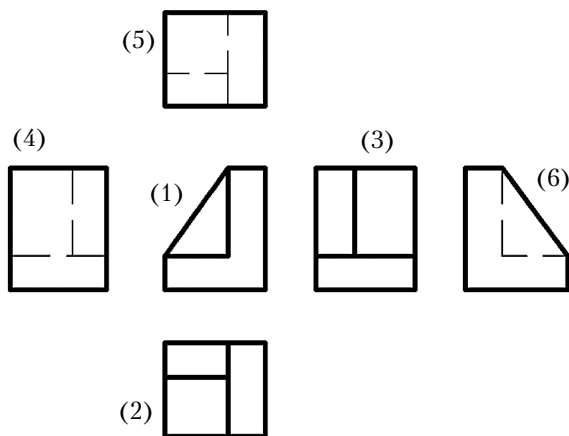
За основные плоскости проекций принимают шесть граней куба, на которые может быть спроецирован любой предмет (грани 1–6, рис. 10.1). Совмещение этих граней с фронтальной плоскостью обеспечивает получение определенного взаимоположения шести проекций изображаемого предмета. При этом предмет располагают таким образом, чтобы изображение на фронтальной плоскости давало наиболее полное представление о его форме и размерах, и это изображение принимается на чертеже в качестве главного.

Остальные проекции располагаются относительно главного изображения так, как показано на рис. 10.2. Грань 6 допускается располагать рядом с гранью 4.

Число изображений на чертежах должно быть наименьшим, обеспечивающим полное представление о предмете.



**Рис. 10.1.** Расположение предмета относительно основных плоскостей проекций



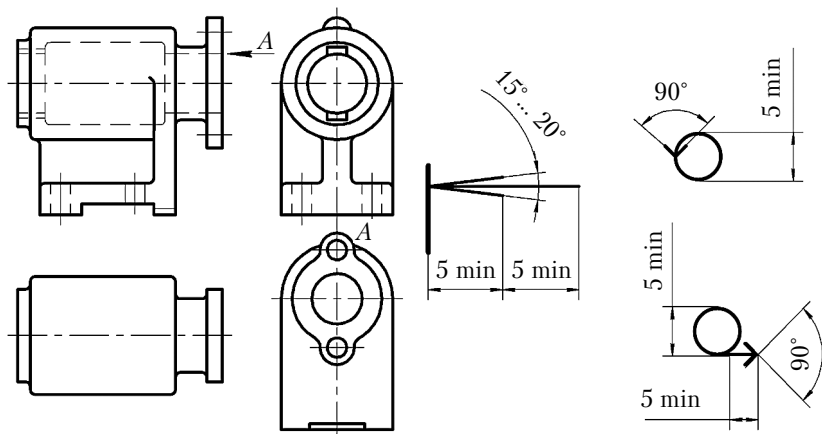
**Рис. 10.2.** Расположение основных видов

ГОСТ 2.305–68 устанавливает названия основных видов, получаемых на основных плоскостях проекции:

- 1 — вид спереди (главный вид);
- 2 — вид сверху;
- 3 — вид слева;
- 4 — вид справа;
- 5 — вид снизу;
- 6 — вид сзади.

Деталь следует располагать таким образом, чтобы главный вид давал наиболее полное представление о форме и размерах. Вопрос о том, какие из основных видов следует применить на чертеже изделия, должен решаться так, чтобы при наименьшем числе видов в совокупности с другими изображениями чертеж полностью отражал конструкцию изделия.

В целях более рационального использования поля чертежа ГОСТ 2.305–68 допускает располагать виды вне проекционной связи с главным видом на любом месте поля чертежа. Так, например, на рис. 10.3 вид справа расположен не слева от главного вида, а размещен вне проекционной связи с главным видом. В этом случае у связанного с видом изображения наносится стрелка, указывающая направление взгляда. Размеры и форму стрелки определяет ГОСТ 2.305–68 (рис. 10.4). Сам вид обозначается прописной буквой русского алфавита (см. рис. 10.3).

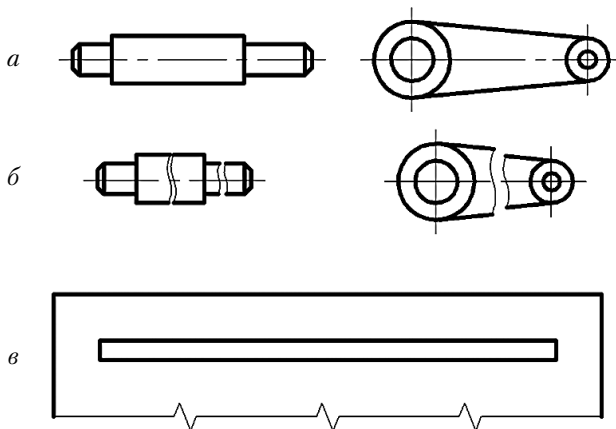


**Рис. 10.3.** Рациональное использование поля чертежа

**Рис. 10.4.** Размер и форма стрелки

Размер шрифта букв, обозначающих вид, должен быть в два раза больше цифр размерных чисел (ГОСТ 2.316–68). Главный вид и другие основные виды должны быть рационально расположены на поле чертежа с учетом нанесения размеров и других обозначений.

Если длинные предметы (рис. 10.5, *а*) имеют участки с постоянным или закономерно изменяющимся поперечным сечением, допускается изображать их с разрывами (рис. 10.5, *б*). Разрыв выполняют сплошной тонкой волнистой линией. Длинные линии обрыва выполняют сплошной тонкой линией с изломами (рис. 10.5, *в*).



**Рис. 10.5.** Изображение длинных предметов:  
*а* — без обрывов; *б* — с обрывами; *в* — линия с изломами

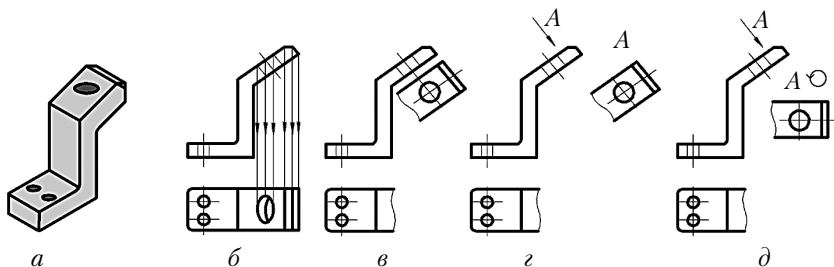
### 10.1.1. Дополнительные виды

Если при выполнении чертежей невозможно какую-либо часть изделия показать на основных видах без искажения формы и размеров, то применяют дополнительные виды.

**Дополнительный вид** получается проецированием изделия на плоскость, не параллельную ни одной из основных плоскостей проекций.

На рис. 10.6, *а* изображена деталь с наклонной боковой площадкой. На виде сверху эта площадка с отверстием изображается в искаженном виде (рис. 10.6, *б*). В таких случаях наклонные элементы детали проецируют на параллельные им плоскости. Например, если спроецировать наклонную площадку детали (рис. 10.6, *в*) на плоскость, ей параллельную, то получим действи-

тельное изображение и размеры этой площадки. Полученный дополнительный вид, когда на нем изображена только часть предмета, является местным, поэтому он ограничен тонкой сплошной линией.



**Рис. 10.6.** Дополнительный вид:

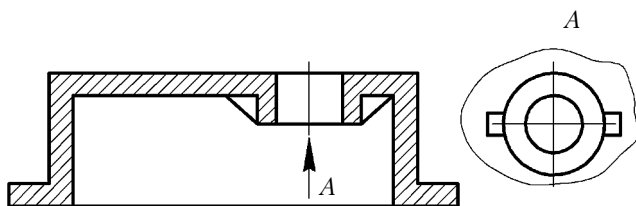
*a* — деталь; *б* — в искаженном виде; *в* — действительное изображение; *г* — указание стрелкой и обозначение буквой; *д* — изображение повернуто

Если дополнительный вид располагается не в проекционной связи (смещен), то направление взгляда должно быть указано стрелкой и обозначено буквой, а над изображением выносного элемента ставят ту же букву (рис. 10.6, *г*). Дополнительный вид допускается поворачивать. В этом случае над повернутым изображением с правой стороны буквы изображают знак, обозначающий, что изображение повернуто (рис. 10.6, *д*). Форма и размеры знака показаны на рис. 10.4 (см. табл. 9.5).

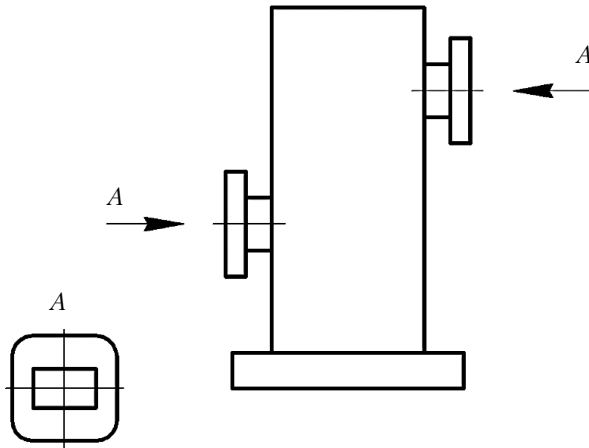
### 10.1.2. Местный вид

Изображение отдельного, ограниченного места поверхности предмета называют **местным видом**.

Местный вид может быть ограничен линией обрыва — по возможности в наименьшем размере (*A* на рис. 10.7) или не ограничен (*A* на рис. 10.8). Местный вид отмечают на чертеже подобно дополнительному виду.

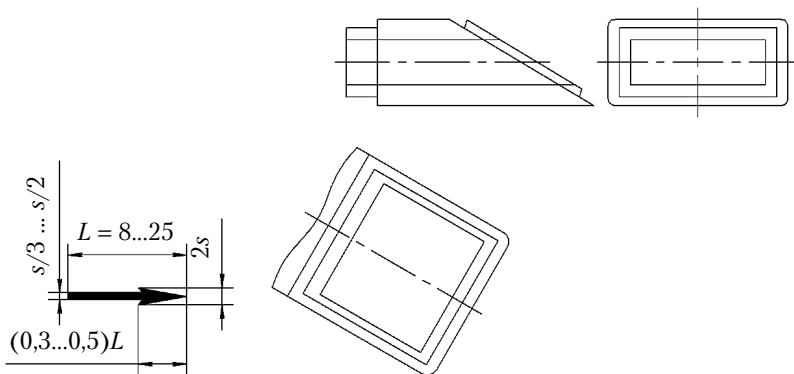


**Рис. 10.7.** Местный вид ограничен линией обрыва



**Рис. 10.8.** Местный вид не ограничен линией обрыва

Местный и дополнительный вид отмечают на чертеже надписью типа А (рис. 10.6 г, д), а у связанного с дополнительным видом изображения предмета ставят стрелку, указывают направление взгляда с соответствующими буквенными обозначениями. Соотношение размеров для вычерчивания стрелок приведено на рис. 10.9. Когда дополнительный вид расположен в непосредственной проекционной связи с соответствующим изображением, стрелку и надпись над видом не наносят (рис. 10.10).



**Рис. 10.9.**  
Соотношение размеров  
для вычерчивания  
стрелок

**Рис. 10.10.** Отсутствие стрелки и надписи

## 10.2. СЕЧЕНИЯ

**Сечение** — изображение фигуры при мысленном рассечении предмета плоскостью. В сечении показывают только то, что попало в секущую плоскость.

**Назначение сечения** — выявление формы и размеров предмета, которые читаются неоднозначно или требуют простановки размеров.

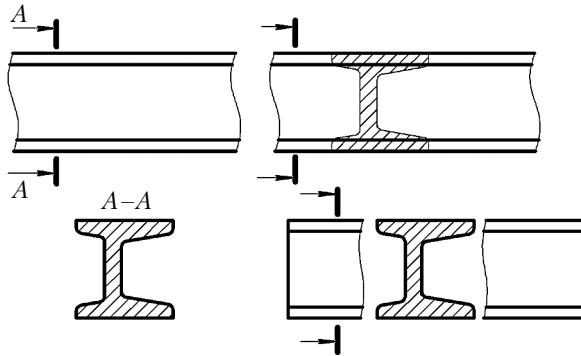
Классификация сечений:

- **наложенные** — сечения, изображенные на проекции предмета;
- **вынесенные** — сечения, расположенные на свободном поле чертежа или в разрыве изображения предмета.

Контур вынесенного сечения, а также сечения, входящего в состав разреза, изображают сплошными основными линиями, а контур наложенного сечения — сплошными тонкими линиями, причем контур изображения в месте расположения наложенного сечения не прерывают.

Для несимметричных сечений линию сечения обозначают разомкнутой линией с указанием стрелок направления взгляда. При этом для вынесенного сечения ее обозначают одинаковыми прописными буквами русского алфавита, а изображение сечения надписывают (рис. 10.11, *а*).

Для таких же сечений, наложенных (рис. 10.11, *б*) или расположенных в разрыве (рис. 10.11, *в*), линию сечения проводят со стрелками, но буквами не обозначают.



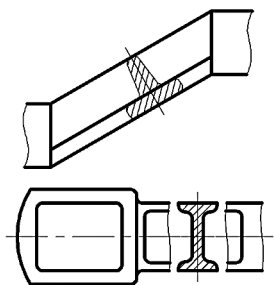
**Рис. 10.11.** Сечение:

*а* — обозначение одинаковыми прописными буквами; *б* — изображение контура вынесенного сечения; *в* — изображение контура, расположенного в разрыве

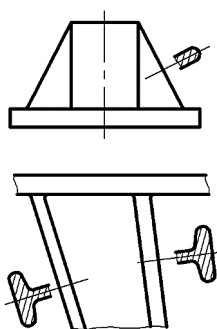
У симметричных сечений, наложенных или вынесенных (рис. 10.12, *а, б*), ось симметрии указывают штрихпунктирной тонкой линией без обозначения буквами и стрелками и линию сечения не проводят.



Сечение по построению и расположению должно соответствовать направлению, указанному стрелками (см. рис. 10.11). Допускается располагать сечение на любом поле чертежа. Секущие плоскости выбирают так, чтобы получить нормальные поперечные сечения (рис. 10.13). Сечения строят вращением нормального поперечного сечения до положения, параллельного какой-либо плоскости проекций.

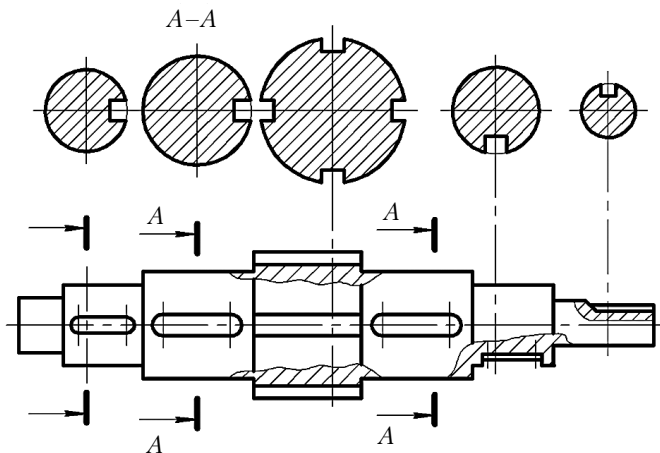


**Рис. 10.12.** Ось симметрии:  
*a* — наложенное сечение;  
*б* — вынесенное сечение



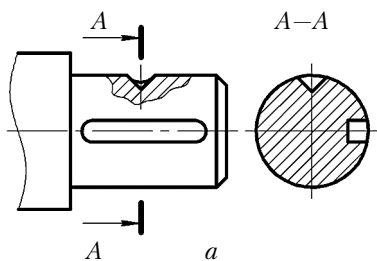
**Рис. 10.13.** Секущие плоскости:  
*a, б* — нормальные поперечные сечения

Для нескольких одинаковых сечений, относящихся к одному предмету, линию сечения обозначают одной буквой и вычерчивают одно сечение, например, сечение *A — A* на рис. 10.14.

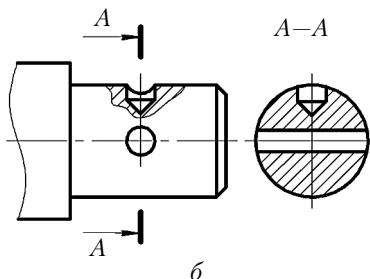


**Рис. 10.14.** Одинаковые сечения

Если секущая плоскость проходит через ось поверхности вращения, ограничивающей отверстие или углубление, то контур отверстия или углубления в сечении показывают полностью. Например, в сечениях  $A - A$  на рис. 10.15,  $a$  в соответствии с этим требованием изображено коническое углубление, на рис. 10.15,  $b$  — цилиндрические сквозное и глухое отверстия.

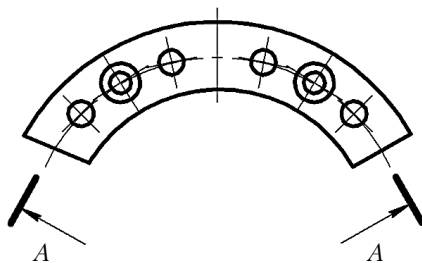
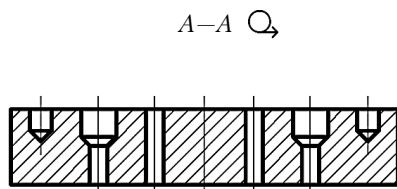


$a$



$b$

**Рис. 10.15.** Сечение  $A - A$ :  
 $a$  — коническое углубление;  
 $b$  — цилиндрические сквозное и глухое  
отверстия



**Рис. 10.16.** Цилиндрическая  
поверхность

Допускается в качестве секущей применять цилиндрическую поверхность, развертываемую затем в плоскость (рис. 10.16). В этом случае рядом с обозначением сечения указывают  $\odot$ .

### 10.3. РАЗРЕЗЫ

Значительное число штриховых линий, примененных для изображения контуров невидимых поверхностей, может затруднить чтение чертежа. В этих случаях для лучшего чтения чертежа можно применять разрезы.

**Разрез** — изображение предмета, мысленно рассеченного плоскостью (или несколькими плоскостями). В разрезе показывают то,

что попало в плоскость сечения и что находится за секущей плоскостью.

На чертежах положение секущей плоскости разреза обозначают разомкнутой линией со стрелками и прописными буквами русского алфавита. Стрелки указывают направление взгляда при проецировании. Над разрезом делают надпись по типу  $A - A$  (см. рис. 10.15). Толщину штрихов разомкнутой линии обычно выполняют  $(1,2...1,5) s$ , где  $s$  — толщина линии видимого контура чертежа; длина штрихов  $10...15$  мм (рис. 10.17). Буквы ставят у начала и конца линии сечения, т.е. так, чтобы стрелки размещались между буквой и изображением. При этом наклон букв ориентируют по линии рамки.

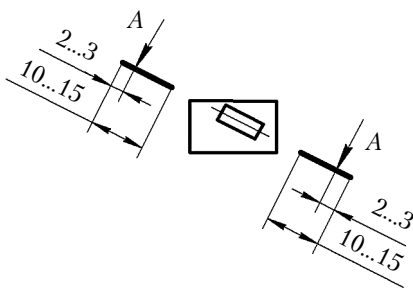


Рис. 10.17. Надпись по типу  $A - A$

Разрезы разделяют в зависимости:

- от положения секущей плоскости — на **горизонтальные**, **вертикальные** и **наклонные**;
- от числа секущих плоскостей — на **простые** (при одной секущей плоскости) и **сложные** (при нескольких секущих плоскостях), а также на **местные** (или **частичные**) и **развернутые**.

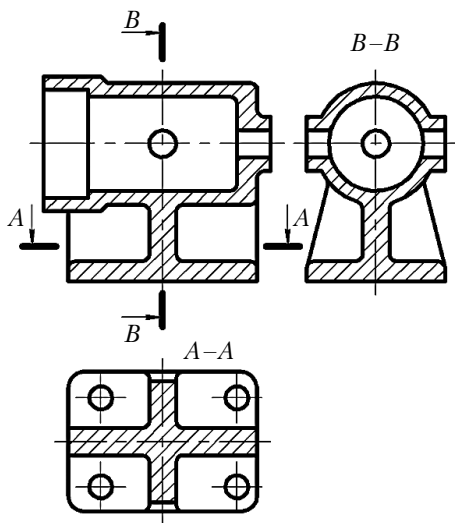
### 10.3.1. Простые разрезы

В зависимости от положения секущей плоскости относительно горизонтальной плоскости проекций простые разрезы разделяют:

- на **горизонтальные** — секущая плоскость параллельна горизонтальной плоскости проекций (см., например, *разрез  $A - A$*  на рис. 10.18);
- **вертикальные** — секущая плоскость перпендикулярна горизонтальной плоскости проекций (см., например, *разрез  $B - B$*  на рис. 10.18);
- **наклонные** — секущая плоскость составляет с горизонтальной плоскостью проекций угол, отличный от прямого, или секущая

плоскость которого не параллельна ни одной из основных плоскостей проекций (см., например, разрез  $A - A$  на рис. 10.19, 10.20).

Вертикальный разрез называют **фронтальным**, если секущая плоскость параллельна фронтальной плоскости проекций, и **профильным**, если секущая плоскость параллельна профильной плоскости проекций.



**Рис. 10.18.** Простые разрезы:  
 $A - A$  — горизонтальный;  $B - B$  — вертикальный

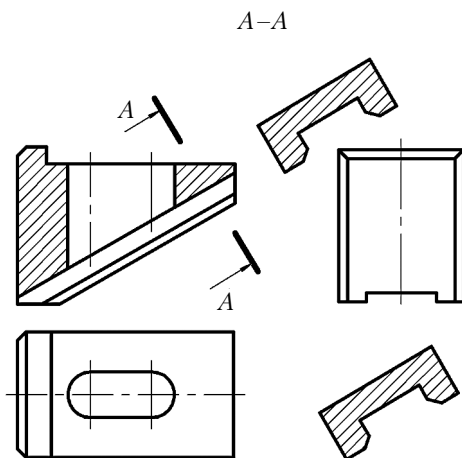
На рис. 10.18 приведены изображения детали, представляющие собой горизонтальный, профильный и фронтальный разрезы. Эти разрезы расположены на месте соответствующих основных видов (на месте вида сверху, вида слева и вида спереди), что допускает ГОСТ 2.305–68.

Разрез сопровождают надписью, которая состоит из соответствующих букв, обозначающих положение секущей плоскости и написанных через тире (например:  $A - A$ ,  $B - B$ ,  $B - B$  и т.д.). Надпись помещают над разрезом. Для обозначения разрезов применяют стрелки и буквы тех же размеров, что и для обозначения видов.

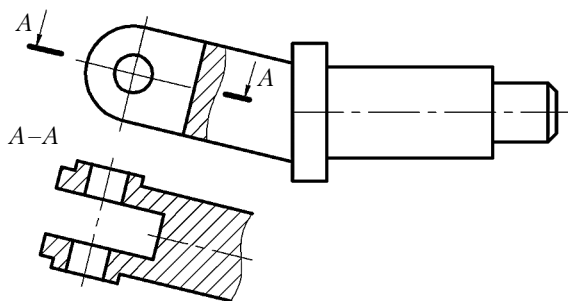
### 10.3.2. Наклонные разрезы

В ряде случаев особенности конструкции той или иной детали могут быть пояснены применением наклонного разреза. На-

клонный разрез осуществляется секущей плоскостью, наклоненной к горизонтальной плоскости проекций под углом, отличным от  $90^\circ$ . На рис. 10.19 конструктивные особенности детали выявлены наклонным разрезом  $A - A$ . Наклонный разрез строят и располагают на чертеже в соответствии с направлением, указанным стрелками на линии сечения (см. рис. 10.19). Наклонный разрез допускается располагать в любом месте поля чертежа (см. рис. 10.20).



**Рис. 10.19.** Конструктивные особенности:  
 $A - A$  — наклонный разрез



**Рис. 10.20.** Расположение наклонного разреза

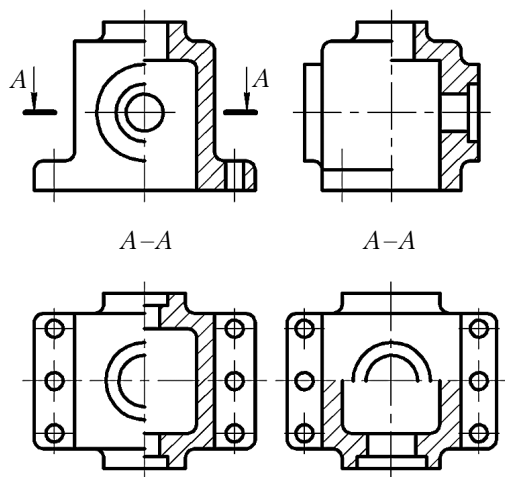
### 10.3.3. Смешанные азрезы

Если вид и разрез представляют собой симметричные фигуры (рис. 10.21), то можно соединить половину вида и половину разреза, разделяя их штрихпунктирной тонкой линией, являющейся

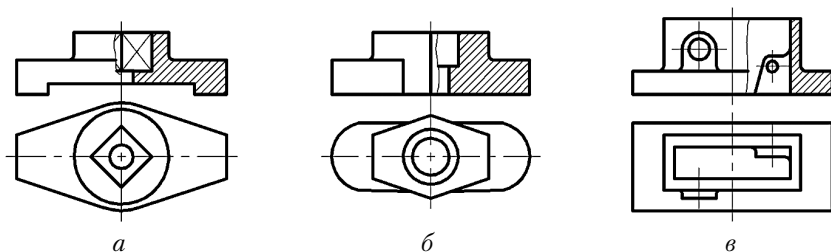
осью симметрии. Часть разреза обычно располагают справа от оси симметрии, разделяющей часть вида с частью разреза, или снизу от оси симметрии. Линии невидимого контура на соединяемых частях вида и разреза обычно не показываются (рис. 10.21).

Если с осью симметрии совпадает проекция какой-либо линии, например ребра, при соединении симметричных частей вида и разреза, то вид от разреза отделяется сплошной волнистой линией, проводимой левее (рис. 10.22, *а*) или правее (рис. 10.22, *б*) оси симметрии.

При соединении на одном изображении вида и разреза, представляющих несимметричные фигуры, часть вида от части разреза отделяется сплошной волнистой линией (рис. 10.22, *в*).



**Рис. 10.21.** Симметричные фигуры



**Рис. 10.22.** Соединение симметричных частей вида и разреза:

*а* — сплошная волнистая линия слева; *б* — сплошная волнистая линия справа;  
*в* — несимметричные фигуры

### 10.3.4. Местный разрез

Разрез, служащий для выявления формы предмета лишь в отдельном, ограниченном месте, называют **местным**. Местный разрез отделяют от вида сплошной волнистой линией. Эта линия не должна совпадать с какими-либо другими линиями изображения (рис. 10.23, *a, б*).

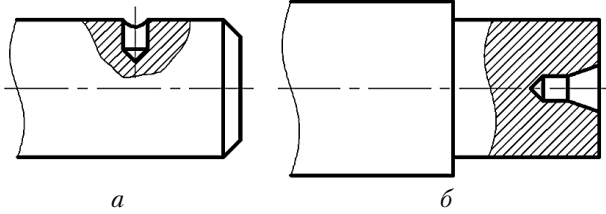


Рис. 10.23. Местный разрез:  
*a, б* — несовпадающие линии

### 10.3.5. Сложные разрезы

В зависимости от положения секущих плоскостей различают **ступенчатые** и **ломаные** разрезы. **Ступенчатыми** называют разрезы, когда секущие плоскости параллельны (например, фронтальный разрез *A — A* на рис. 10.24 при трех секущих плоскостях).

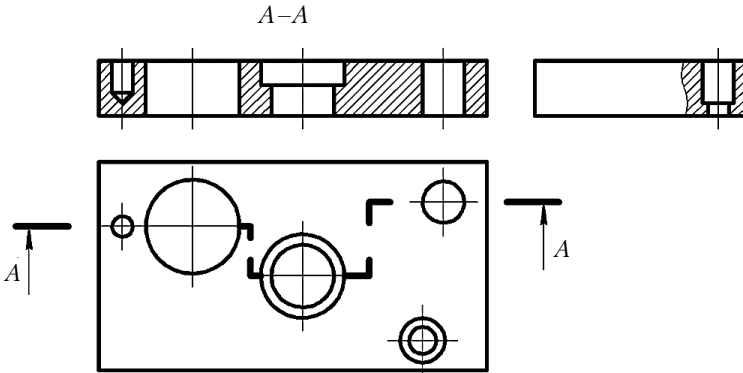


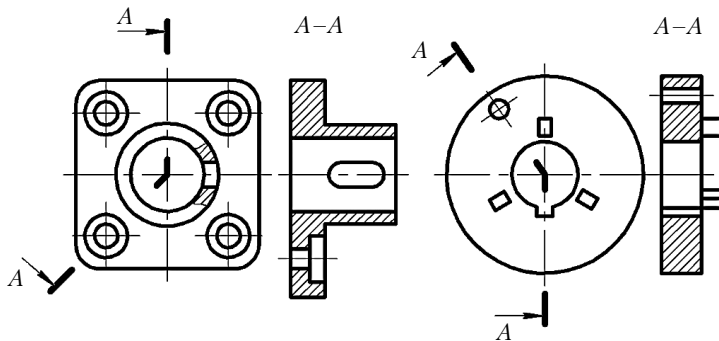
Рис. 10.24. Ступенчатый разрез

**Ломаными** называют разрезы, когда секущие плоскости пересекаются (например, разрез *A — A* на рис. 10.25, *a* и *б*).

При ломаных разрезах секущие плоскости условно поворачивают до совмещения в одну плоскость (см. разрез *A — A* на рис. 10.25, *a*).

Если совмещенные секущие плоскости окажутся параллельными одной из основных плоскостей проекций, то ломаный разрез допускается помещать на месте соответствующего вида (см. разрез  $A - A$  на рис. 10.25).

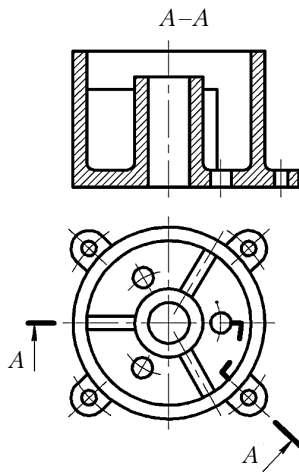
При повороте секущей плоскости элементы предмета, расположенные за ней, вычерчивают так, как они проецируются на соответствующую плоскость, до которой производится совмещение (см., например, положение верхнего выступа на рис. 10.25, б).



**Рис. 10.25.** Ломаный разрез:

$a$  — совмещение в одну плоскость;  $b$  — положение верхнего выступа

Наряду с рассмотренными ступенчатыми и ломаными разрезами применяют сложные разрез по типу, приведенному на рис. 10.26.



**Рис. 10.26.** Сложный разрез



### 10.3.6. Расположение видов на формате

Виды, независимо от их числа, должны располагаться в центре поля чертежа и занимать большую его часть. Правила расположения трех проекций показаны на рис. 10.27.

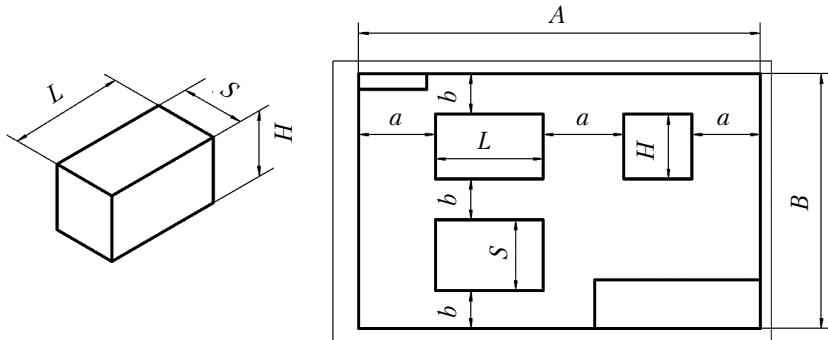


Рис. 10.27. Схема расположения трех проекций:

$$L, S, H — \text{габаритные размеры}; a = \frac{A - (L + S)}{3}; b = \frac{B - (H + S)}{3}$$

Чертежи, имеющие более трех проекций, требуют специальной предварительной компоновки листа. Подбор формата и его поворот (горизонтальное или вертикальное расположение) являются важным начальным этапом работы. Подбирая формат, необходимо знать габариты предмета. При этом следует помнить, что мелкие и сложные по форме детали увеличивают, а крупные и простые уменьшают, используя масштабы по ГОСТ 2.302–68. Предпочтение отдается масштабу 1:1.

Для определения поворота листа сравнивают суммы габаритных размеров. При  $L + H > H + S$  — лист располагают горизонтально, при  $L + H < H + S$  — вертикально ( $L, H, S$  — габаритные размеры). При равенстве сумм следует учитывать число размеров длин и высот.

### 10.3.7. Построение третьей проекции и сечений

В основе построения третьей проекции лежит метод преобразования комплексного чертежа — введение новой плоскости проекции. Третью плоскость проекции  $\pi_3$  располагают перпендикулярно к двум заданным (рис. 10.28, а).

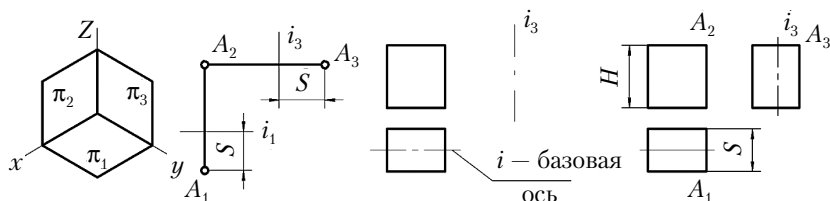
Ориентация видов предмета в пространстве осуществляется их осями, которые располагают параллельно плоскостям проекций. Такие оси являются *базовыми*. От них ведется отсчет размеров.

Преобразование комплексного чертежа, т.е. построение проекции предмета в третьем поле, проводят как показано на рис. 10.28, б.

Последовательность построения третьей проекции:

1. В данных проекциях определяют базовые оси и проводят ось в третьем поле  $\pi_3$  (рис. 10.28, в).

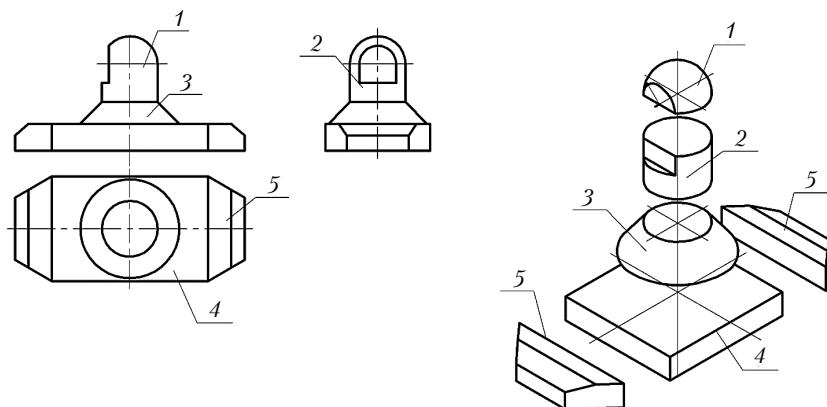
2. Очертание профиля (вида слева) определяется величинами высот  $H$  и глубинами  $B$ , которые видны соответственно на главной проекции и проекции вида сверху (рис. 10.28, з).



**Рис. 10.28.** Третья проекция:

*a* — расположение перпендикулярно к двум заданным; *б* — построение проекции предмета в третьем поле; *в* — определение базовых осей; *з* — главная проекция и проекция вида сверху

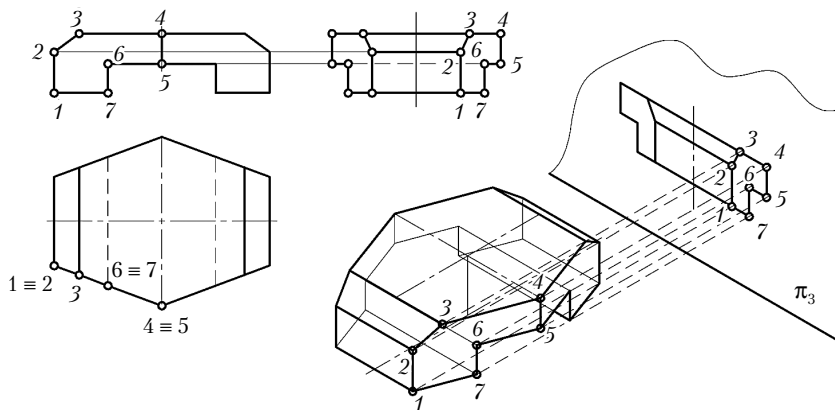
Построению третьей проекции должен предшествовать анализ формы детали, т.е. мысленно следует разложить сложную деталь на составляющие ее простейшие геометрические формы (рис. 10.29).



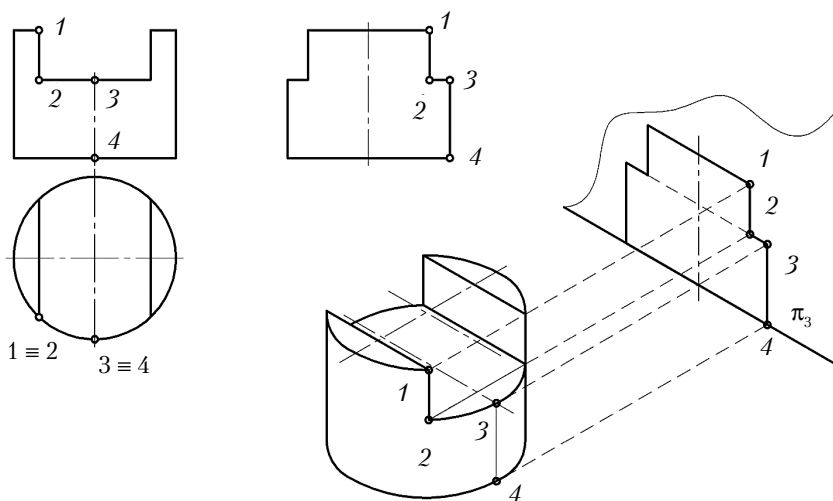
**Рис. 10.29.** Расположение сложной детали на составляющие ее простейшие геометрические формы:

1 — сфера; 2 — цилиндр вращения; 3 — конус вращения; 4 — призма;  
5 — пирамида

На рис. 10.30–10.32 показано построение вырезов и срезов на призме, цилиндре, сфере, конусе.



**Рис. 10.30.** Построение вырезов и срезов на призме



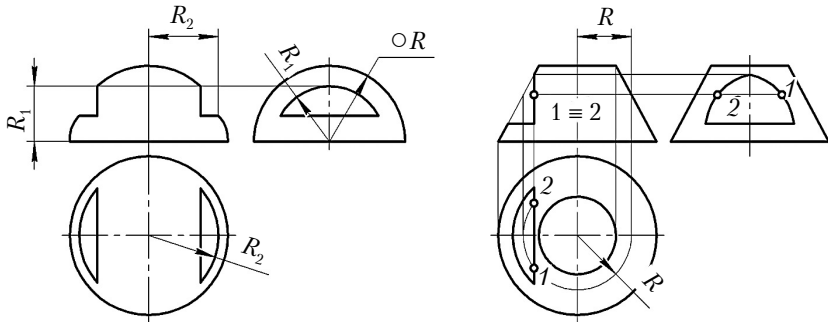
**Рис. 10.31.** Построение вырезов и срезов на цилиндре

Порядок построения наклонных сечений.

1. Выполнить разомкнутую линию. Определить направление взгляда на секущую плоскость.

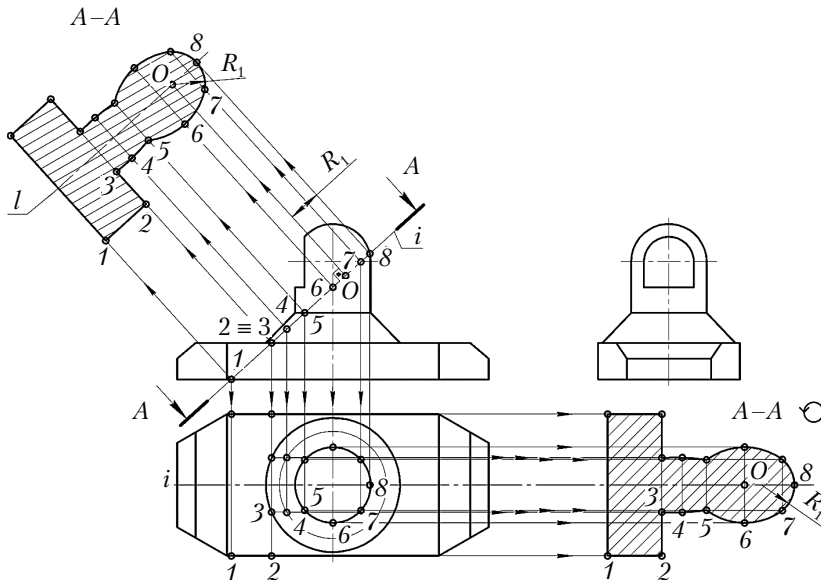
2. Определить место сечения и его ориентацию (повернуто, не повернуто).

3. Отметить характерные точки сечения.
4. Проводить построение точек сечения как объясняется ниже.



**Рис. 10.32.** Построение вырезов и срезов на сфере и конусе

Определите, какие поверхности пересекает секущая плоскость, и представьте форму фигур сечений этих поверхностей. Например, на рис. 10.33 деталь состоит из призмы, конуса, цилиндра и сферы. Призма в сечении имеет прямоугольник, конус — параболу, цилиндр — эллипс, сфера — окружность.



**Рис. 10.33.** Построение сечений

Начинают выполнения сечения с наложенного. Вынесенное сечение повторяет форму наложенного, но растягивается до натуральной величины (см. рис. 10.33). ГОСТ 2.305–2008 рекомендует изображать сечения не повернутыми.

Основной задачей при построении сечений является определение глубин между парами точек. Ось сечения  $i$  совмещают с плоскостью симметрии и проводят параллельно секущей плоскости  $A$  ( $l$  – выбирают произвольно,  $i \parallel l$ ).

Из каждой точки пересечения секущей  $A$  с контурами проекции предмета проводят линии, перпендикулярные оси сечения ( $1, 2...8 \perp A$  –  $A$  и т.д.). Расстояние всех точек  $1$ – $8$  видны на горизонтальной проекции по линии связи.

Если точек на контурах сечения недостаточно, тогда пользуются дополнительными точками, лежащими на поверхностях предмета, например, точка  $4$ , лежащая на поверхности конуса на окружности радиуса, берется от оси конуса до линии его очерка.

#### 10.4. АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

АксонOMETрические проекции используют для иллюстрации трудночитаемых чертежей деталей при конструировании узлов и механизмов, на плакатах, в книжных иллюстрациях.

АксонOMETрическое проецирование состоит в том, что изображаемый предмет вместе с осями прямоугольных координат, к которым отнесена эта система в пространстве, проецируется параллельными лучами на некоторую плоскость. В таком случае плоскость проекций называют **аксонометрической**, или **картинной**.

АксонOMETрические изображения называют **прямоугольными**, если проецирующие лучи направлены под прямым углом к аксонометрической плоскости, и **косогольными**, если лучи направлены под углом, отличным от прямого.

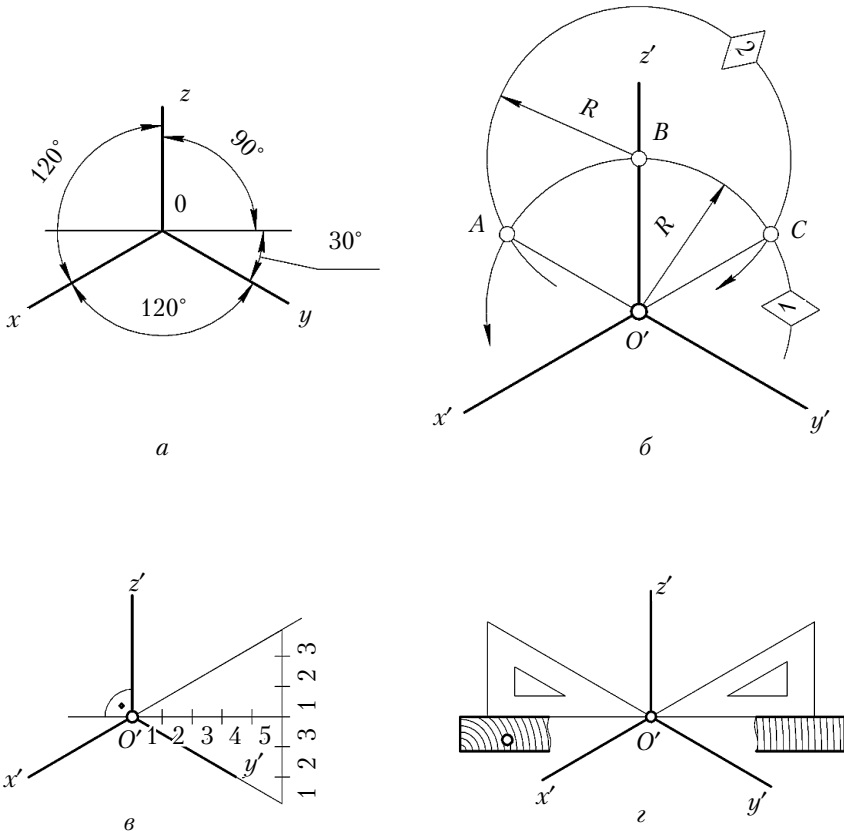
Проекционное черчение предусматривает приобретение умения построения деталей в прямоугольной приведенной изометрии и в прямоугольной приведенной диметрии.

Разница этих видов изображений заключается в проецировании осей координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  на плоскость проекций. Если оси образуют в проекциях углы  $120^\circ$ , аксонометрию называют **изометрической**. Если углы осей составляют в проекциях  $97^\circ$  и  $131^\circ$ , аксонометрию называют **диметрической**.

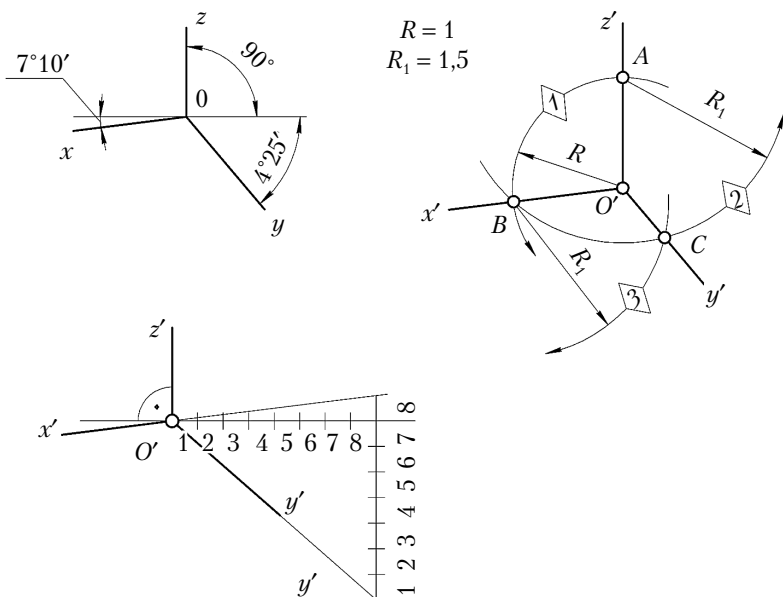
### 10.4.1. Построение осей

АксонOMETрические оси для изометрической и диметрической проекций (рис. 10.34, а, б, в, г) могут быть построены различными приемами, например:

- **изометрия:**
  - геометрическими построениями, последовательность построений указана цифрами;
  - чертежными инструментами (для изометрической проекции);
- **диметрия:** отношением (рис. 10.35).



**Рис. 10.34.** АксонOMETрические оси для изометрической проекции:  
 а — построение транспортиром; б — построение циркулем;  
 в — построение отношением; г — построение чертежными инструментами

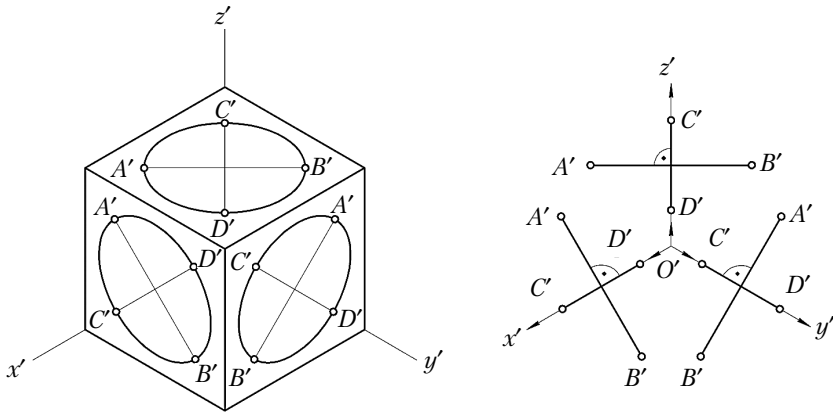


**Рис. 10.35.** Аксонометрические оси для диметрической проекции:  
*a* — построение транспортиром; *б* — построение циркулем;  
*в* — построение отношением

#### 10.4.2. Построение в аксонометрических проекциях окружности

Аксонометрические проекции окружности преобразуются в эллипсы. При построении эллипсов необходимо знать направление их осей к аксонометрическим осям и их отношения к диаметру изображаемой окружности.

**Прямоугольная изометрическая проекция окружности.** Проекции окружностей, расположенных в плоскостях, параллельных плоскостям проекций  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$ , выявляются эллипсами одинаковой формы и размеров (рис. 10.36, *a*). Большие оси  $A'B'$  эллипсов располагаются перпендикулярно осям  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ , а малые —  $C'D'$  с направлением осей  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  (рис. 10.36, *б*). В практике обычно изометрическую проекцию строят без коэффициента искажения, равного 0,82, по осям  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ . В таком случае изображение получается несколько увеличенным, это не отражается на наглядности. Оси эллипсов увеличиваются. Большие оси  $A'B'$  равны 1,22, а малые  $C'D'$  — 0,71 диаметра  $D$  изображаемой окружности.



**Рис. 10.36.** Прямоугольная изометрическая проекция:  
 а — аксонометрические оси; б — изображение окружностей

В практике для упрощения построения при выполнении изображений в прямоугольной изометрической проекции принято эллипсы заменять овалами, имеющими четыре центра, и оси эллипса определять графически.

**Построение овала, заменяющего эллипс в прямоугольной изометрической проекции** (без применения искажения по осям  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  — рис. 10.37).

**Первый способ.** Проводят оси  $x'$  и  $y'$  прямоугольной изометрической проекции. Вычерчивают ромб  $ABCE$ , стороны которого равны диаметру  $d$  заданной окружности. Стороны ромба пересекают оси  $x'$  и  $y'$  в точках 1, 2, 3, 4. Из точек  $A$  и  $B$ , как из центров, радиусом  $A1 = A3 = B2 = B4$  проводят дуги, пересекающие большую диагональ  $AB$  ромба в точках  $O_1$  и  $O_2$  (центрах малых дуг овала). Через точки  $O_1$  и  $O_2$  под углом  $60^\circ$  к большой диагонали  $AB$  проводят прямые, пересекающие направление малой диагонали  $CE$  ромба в точках  $O_3$  и  $O_4$  — в центрах больших дуг овала) и стороны ромба в точках  $M, M_1, M_2, M_3$  — в точках сопряжения (рис. 10.37).

Отрезки  $O_1M = O_1M_1 = O_2M_2 = O_2M_3$  определяют радиусы малых дуг овала, а отрезки  $O_4M = O_4M_2 = O_3M_1 = O_3M_3$  — больших дуг овала. Проведенные этими радиусами дуги дают очерк овала, который заменяет эллипс в прямоугольной изометрической проекции (см. рис. 10.37). Большая ось овала равна 1,22, а малая — 0,17 диаметра  $d$  заданной окружности.

**Второй способ.** Графический прием определения размеров осей эллипса показан на рис.10.38.



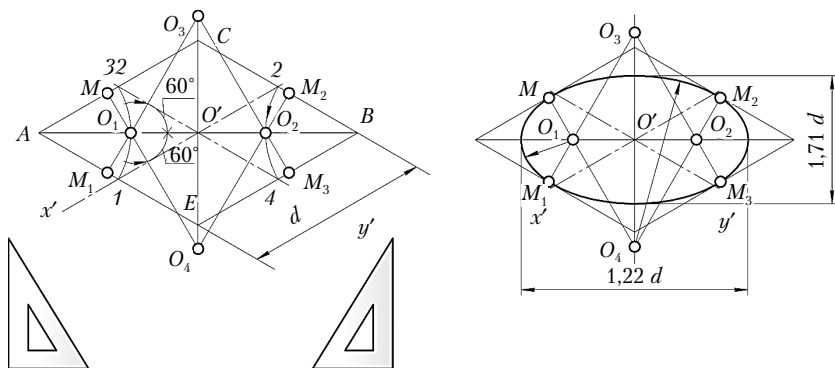


Рис. 10.37. Схема построения эллипса в изометрии (первый способ)

**Построение четырехцентрового овала, приближенно заменяющего изометрическую проекцию окружности** (см. рис. 10.38). Строят овал с осями, равными осям эллипса (большая ось  $AB = 1,22 d$ , малая ось  $CD = 0,71 d$ ).

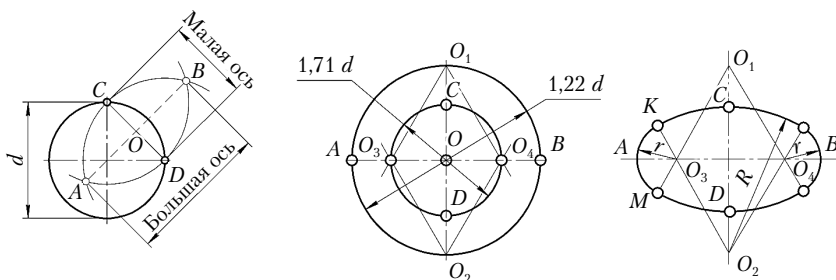


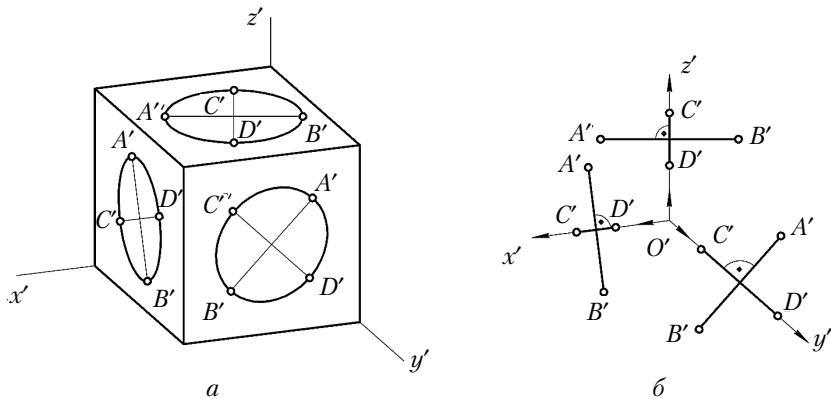
Рис. 10.38. Схема построения эллипса в изометрии (второй способ)

Из точки  $O$  описывают две окружности радиусами  $AB = 1,22d$ , равными полуосям овала. Отмечают точки  $O_1, O_2, O_3, O_4$  — центры сопряженных дуг окружностей, из которых и состоит овал.

**Диметрическая проекция окружности.** Окружности, расположенные в плоскостях  $x'O'y'$  и  $z'O'y'$ , проецируются в виде одинаковых эллипсов, а на плоскости  $x'O'z'$  — эллипсом, по форме приближающимся к окружности (рис. 10.39, а). Направление осей эллипсов такое же, как в изометрической проекции, т.е. большие оси  $A'B'$  эллипсов перпендикулярны осям  $x', y', z'$ , а малые оси  $C'D'$  совпадают с направлением осей  $x', y', z'$  (рис. 10.39, б).

В практике при построении окружностей в диметрической проекции эллипсы заменяют четырехцентровыми овалами. Если

диметрическую проекцию окружности выполняют без искажения по осям  $x'$  и  $z'$ , то большая ось всех эллипсов равна  $1,06$  диаметра окружности, малая ось эллипса, расположенного в плоскости  $x'O'z'$ , —  $0,95$  диаметра окружности, а малая ось эллипса, расположенного в плоскостях  $z'O'y'$  и  $x'O'y'$ , —  $0,35$  диаметра окружности.



**Рис. 10.39.** Прямоугольная диметрическая проекция:  
 а — аксонометрические оси; б — изображение окружностей

**Построение овала, приближенно заменяющего диметрическую проекцию окружности, расположенной в плоскостях  $\pi_1$  и  $\pi_3$**  (рис. 10.40). Строят овал с осями, равными соответствующим осям эллипса (большая ось  $AB = 1,06 D_{\text{окр}}$ , малая ось  $CD = 0,35 D_{\text{окр}}$ ).

Откладывают большую и малую оси овала. Далее находят центры (точки  $O_1, O_2$  и  $O_3, O_4$ ) сопряженных дуг окружностей, из которых состоит овал.

**Построение овала, приближенно заменяющего диметрическую проекцию окружности, расположенной в плоскостях  $\pi_2$**  (рис. 10.41). Строят овал с осями, равными соответствующим осям эллипса (большая ось  $AB = 1,06 D_{\text{окр}}$ , малая ось  $CD = 0,94 D_{\text{окр}}$ ).

Проводят оси диметрической проекции  $x, y$  и  $z$ , затем через точку  $O$  — прямую, перпендикулярную к оси  $y$ , и на ней откладывают большую ось эллипса  $AB$ . Малую ось эллипса  $CD$  откладывают на оси  $y$ . Отрезки  $OM = ON = OK = OE$  равны радиусу данной окружности. Точки  $M, N, K$  и  $E$  будут точками сопряжения дуг овала, а точки  $O_1, O_2, O_3$  и  $O_4$  — центрами дуг радиусов окружностей, из которых состоит овал. Эти центры расположены на расстоянии, примерно равном  $0,094 D_{\text{окр}}$  от точки  $O$ .

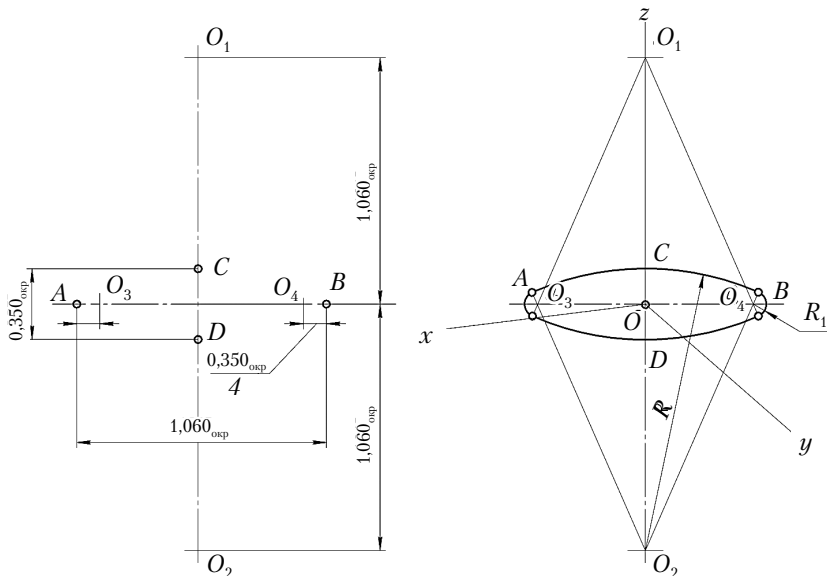


Рис. 10.40. Схема построения овала в диметрии (в плоскостях  $\pi_1$  и  $\pi_3$ )

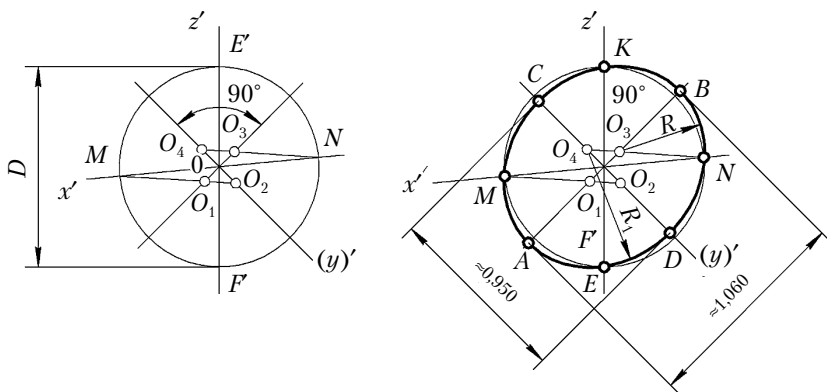


Рис. 10.41. Схема построения овала в диметрии (в плоскости  $\pi_2$ )

### 10.4.3. Разрезы в аксонометрии

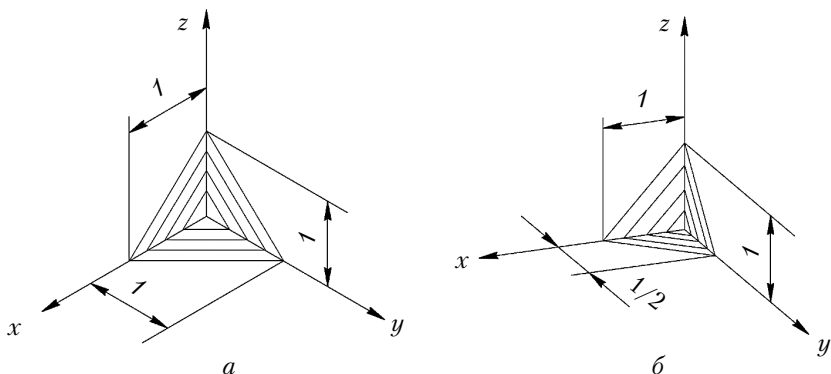
Для более полного выявления внутренней формы изображаемых предметов в аксонометрических проекциях применяют разрезы.

Линии штриховки сечений наносят параллельно одной из диагоналей проекций квадратов, лежащих в соответствующих координатных плоскостях.

натных плоскостях, стороны которых параллельны аксонометрическим осям. В аксонометрических проекциях спицы маховиков и шкивов, ребра жесткости и подобные элементы штрихуются.

### 10.5. ШТРИХОВКА В РАЗРЕЗАХ

В аксонометрических проекциях штриховку наносят с различным направлением для каждой плоскости сечения. Направление линий штриховки показано на рис. 10.42, *а, б*.



**Рис. 10.42.** Направление линии штриховки:  
*а* — в изометрии; *б* — в диметрии

Если секущая плоскость проходит через ребра жесткости, сплошные выступы или тонкие стенки, то сечения этих элементов деталей всегда покрывают штриховкой, т.е. изображают разрезанными. В аксонометрии не производят поворот в плоскость разреза отверстий, расположенных на круглых фланцах или дисках.

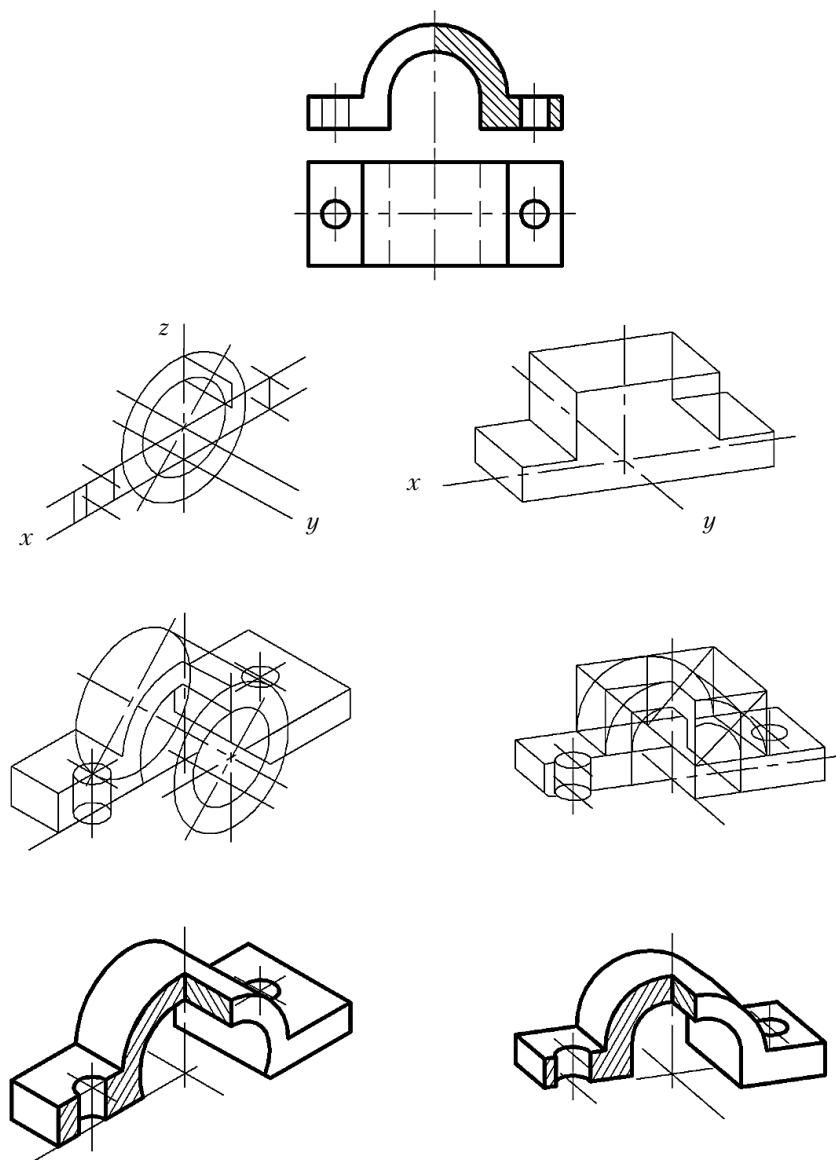
Для выполнения разрезов на аксонометрических проекциях применяют один из двух вариантов последовательности построения, приведенных на рис. 10.43.

Прямоугольной аксонометрической проекцией сферы диаметром  $D_{\text{сф}}$  является окружность диаметром  $1,22 D_{\text{сф}}$  (изометрия) или  $1,06 D_{\text{сф}}$  (диметрия) в зависимости от принятых коэффициентов искажения.

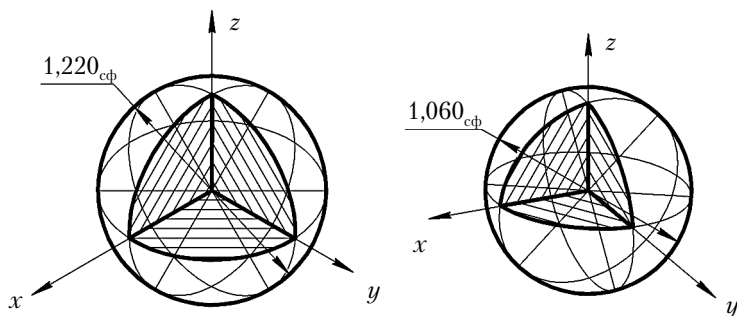
На рис. 10.44 показано построение сферы, рассеченной тремя плоскостями: экваториальной и двумя меридиональными — фронтальной и профильной (рис. 10.44, *а* — изометрия, рис. 10.44, *б* — диметрия).

При построении аксонометрических проекций эллипсы можно заменять овалами (рис. 10.45, *а*), которые изображаются дугами

окружностей. Радиус  $R$  большой дуги окружности равен сумме двух полуосей эллипса, радиус  $r$  малой дуги — разности большой и малой полуосей эллипса (рис. 10.45, б).

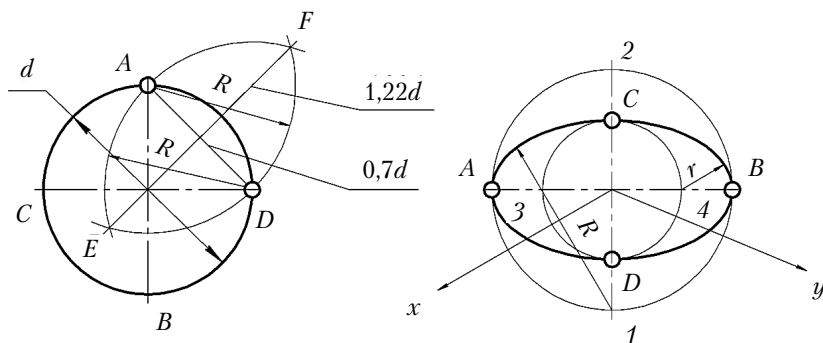


**Рис. 10.43.** Выполнение разрезов



**Рис. 10.44.** Построение сферы:  
*a* — изометрия; *б* — диметрия

Пример прямоугольной изометрии приведен на рис. 10.45, *в*.

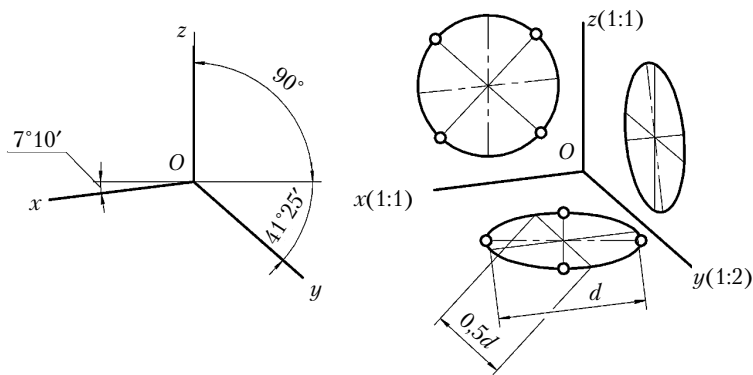


**Рис. 10.45.** Построение аксонометрических проекций:  
*a* — замена овалом; *б* — разность большой и малой полуосей эллипса;  
*в* — пример изображения

**Прямоугольная диметрическая проекция.** Аксонометрическая ось  $Z$  расположена вертикально, ось  $X$  — под углом  $7^{\circ}10'$ , а ось  $Y$  — под углом  $41^{\circ}25'$  от горизонтали (рис. 10.46, *a*). Коэффициент искажения по оси  $Y$  равен 0,47, по осям  $X$  и  $Z$  — 0,94.

Большая ось эллипса расположена под углом  $90^{\circ}$  к той оси, которая в данной плоскости отсутствует, например, в плоскости  $XOZ$  перпендикулярно оси  $Y$ , в плоскости  $XOY$  — оси  $Z$ , в плоскости  $ZOY$  — оси  $X$  (рис. 10.46, *б*).

Малые оси параллельны отсутствующим аксонометрическим осям, т.е. перпендикулярны большим осям эллипсов.



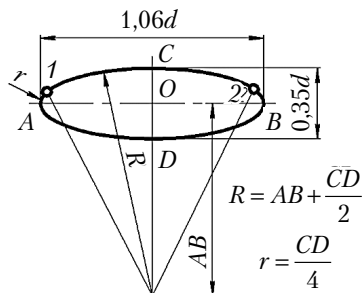
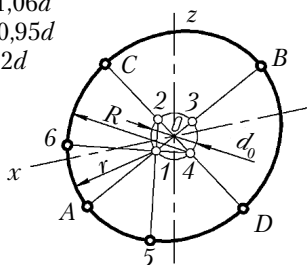
**Рис. 10.46.** Прямоугольная диметрическая проекция:  
*a* — расположение оси от горизонтали; *б* — большая ось под углом

Упрощенно вычерчивают предметы по осям  $X$  и  $Z$  без искажения, т.е. 1:1, а по оси  $Y$  — с коэффициентом искажения 0,5. В таком случае большая ось эллипсов изображаемой окружности будет равна 1,06 ее диаметра, малая —  $0,95d$  в плоскости  $XOZ$  и  $0,35d$  — в плоскостях  $XOY$  и  $ZOY$  (рис. 10.47).

$$AB = 1,06d$$

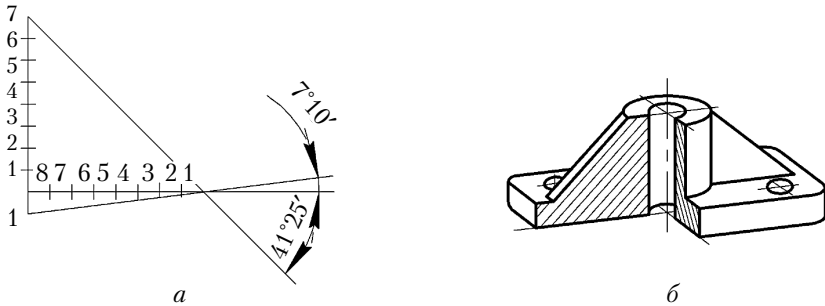
$$CD = 0,95d$$

$$d_0 = 0,2d$$



**Рис. 10.47.** Построение овалов

Для построения угла, примерно равного  $7^{\circ}10'$ , графическим способом строят прямоугольник с катетами 1 и 8 единиц, угла  $41^{\circ}25'$  — с катетами 7 и 8 единиц. Гипотенузы этих прямоугольников и будут иметь угол наклона 7 и 41 (рис. 10.48, а). Пример диметрической проекции предмета приведен на рис. 10.48, б.



**Рис. 10.48.** Построение угла:  
а — гипотенузы прямоугольников; б — диметрическая проекция предмета

### Контрольные вопросы и задания

1. Какие виды вы знаете и как они изображаются на формате?
2. Какая разница между основными и дополнительными видами?
3. Что показывают в сечении?
4. Как наносят штриховку фигур сечения?
5. Назовите виды сечений.
6. Что такое разрез и с какой целью он выполняется?
7. 7 Что называется сложным разрезом? Назовите виды сложных разрезов.
8. Какая разница между разрезом и сечением?
9. Что называется местным разрезом?
10. Какая плоскость называется аксонометрической плоскостью проекций и как она обозначается?
11. Назовите виды аксонометрических проекций.
12. Как располагаются координатные оси в изометрии?



# Глава 11

## РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

### 11.1. ВИДЫ СОЕДИНЕНИЙ

Применяемые во всех отраслях промышленности **виды соединений** отдельных деталей и сборочных единиц принято делить на две основные группы: **разъемные** и **неразъемные**.

К группе разъемных соединений относятся такие, которые можно неоднократно разбирать и вновь собирать без разрушения или существенных повреждений соединительных элементов: резьбовые (болтовые, винтовые, шпилечные и т.п.), шпоночные, зубчатые (шлицевые), клиновые, штифтовые и др.

К группе неразъемных соединений относятся такие, разборка которых невозможна без разрушения соединительных элементов: заклепочные, сварные, клеевые и другие соединения.

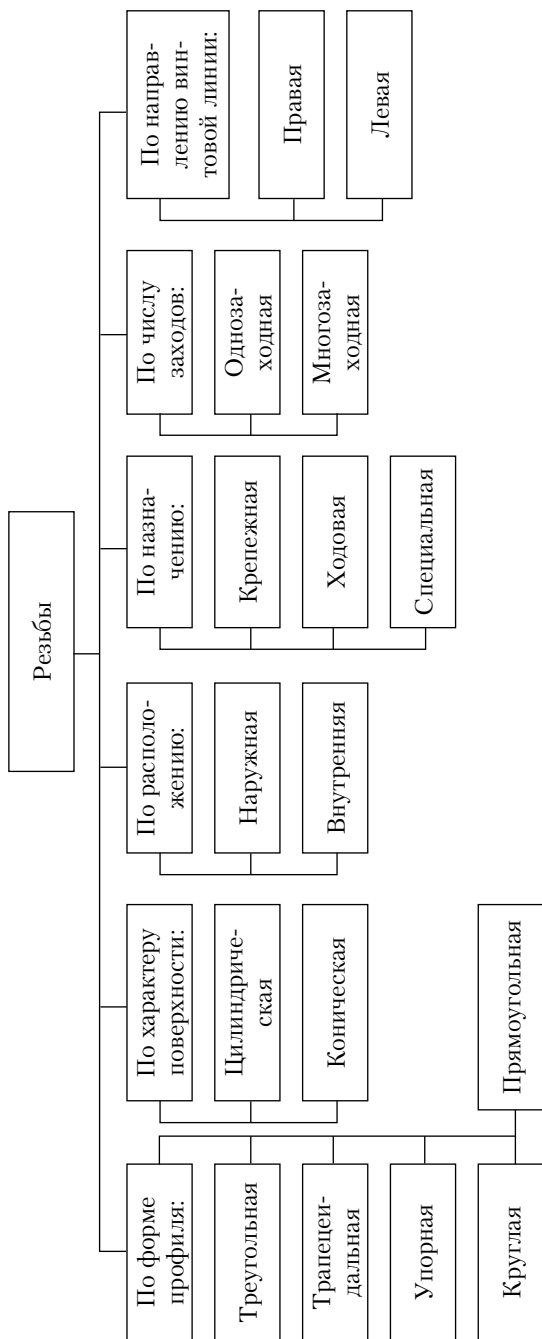
### 11.2. ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В машиностроении широко применяют разъемные соединения, отдельные части которых крепят стандартизированными крепежными деталями на резьбе. Классификация резьб представлена на рис. 11.1.

Правила изображения резьбы на чертежах устанавливает ГОСТ 2.311–68. Различные типы резьб изображаются на чертежах совершенно одинаково — условно, независимо от их действительного вида резьбы (натуральный вид резьбы показан на рис. 11.2, *а*, *б*), где  $P$  — шаг резьбы (расстояние между соседними одноименными боковыми сторонами профиля;  $\alpha$  — угол между боковыми сторонами профиля. Условность заключается в отображении резьбы сплошной толстой линией (контурной) на месте выступов резьбы и сплошной тонкой — на глубине впадин. **Витки резьбы не изображаются.**

За длину резьбы принимается длина резьбы полного профиля, в которую включается фаска, выполненная на конце стержня или в шпале отверстия.

Сплошную тонкую линию при изображении резьбы (как на стержне, так и в отверстии) наносят на расстоянии не менее 0,8 мм от основной линии и не более величины шага резьбы  $P$  (рис. 11.3).



**Рис. 11.1.** Классификация резьб

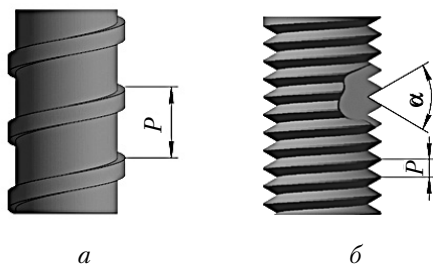


Рис. 11.2. Изображение резьб

**Резьбу изображают:**

- **на стержне** — сплошными основными линиями по наружному диаметру резьбы и сплошными тонкими линиями по внутреннему диаметру (рис. 11.3). Сплошную линию проводят на всю длину резьбы (без сбегов). На проекции стержня на плоскость, перпендикулярную его оси, по внутреннему диаметру резьбы проводят дугу, приблизительно равную 3/4 окружности и разомкнутую в любом месте (см. рис. 11.3) — вид слева.

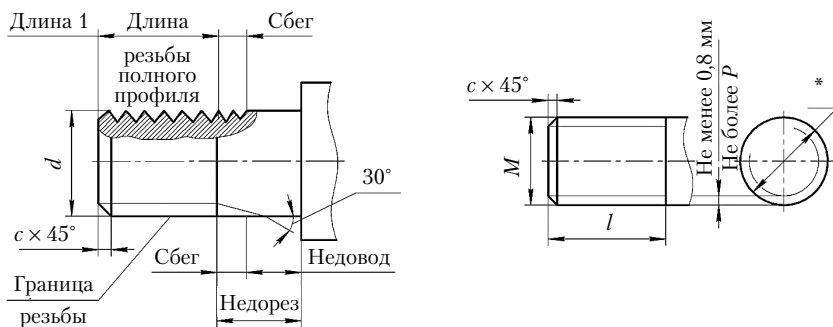


Рис. 11.3. Изображение резьбы на стержне

- **в отверстии** — сплошными основными линиями по внутреннему диаметру резьбы и сплошными тонкими линиями — по наружному диаметру (рис. 11.4).

**Фаски, сбегов, недорезов и проточки.** Для надежного устранения парных резьбовых деталей друг на друга производят заточку торцевых поверхностей резьбовых стержней и втулок. Согласно СТ СЭВ 215–75 заточка может быть произведена по конической и шаровой поверхностям. Наиболее распространенной является коническая заточка, т.е. снятие фаски под углом 45° (см. рис. 11.3).

Ширина фаски зависит от величины шага резьбы  $P$  и принимается равной  $c = P$ .

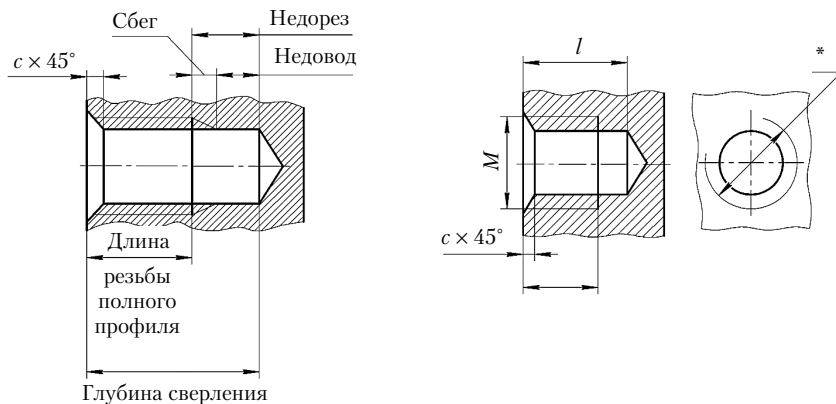


Рис. 11.4. Изображение резьбы в отверстии

В длину нарезанной части  $l$  обычно включают участок резьбы — **сбег** (см. рис. 11.3, 11.4), имеющий неполный профиль. На этом участке режущий инструмент выходит из тела детали в процессе нарезания резьбы. Постепенное уменьшение глубины резьбы называют **сбегом резьбы**. Сбег резьбы на чертежах, как правило, не изображается.

Если на участке сбега резьбы заранее выточить канавку, то при нарезании резьбы режущая часть инструмента выйдет в нее, и резьба на всем протяжении будет иметь полный профиль. В машиностроении подобные канавки называют **проточками** (рис. 11.5). Проточки снижают концентрацию усталостных напряжений в металле резьбового соединения и поэтому применяются в ответственных узлах и соединениях. Проточки бывают **нормальными** и **узкими**.

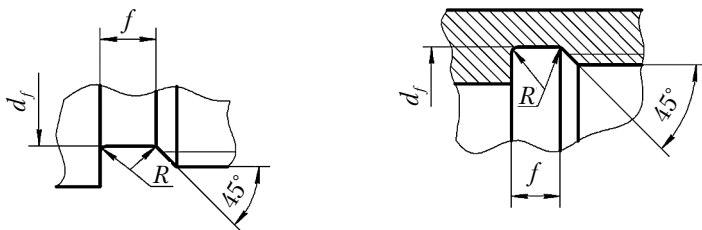


Рис. 11.5. Изображение проточек

Кроме сбega резьбы, для стержней и отверстий различают понятие недовода и недореза резьбы. **Недоводом** называют величину недорезанной части детали между концом сбega резьбы и опорной поверхностью детали. **Недорезом** называют сумму величин сбega и недовода (см. рис. 11.3, 11.4).

Величина сбega, недореза и параметры проточки для наружной (табл. 11.1) и внутренней (табл. 11.2) метрических резьб установлены ГОСТ 10549–80 в зависимости от величины шага резьбы.

Таблица 11.1

**Сбег, недорез и проточки для стержня**

Шаг Резьбы $P$	Проточка			
	нормальная	узкая	$d_f$	$R$
	$f$ , не менее			
0,70	1,5	0,8	$d - 1,1$	0,35
0,75	1,6	0,9	$d - 1,2$	0,4
0,80	1,7	0,9	$d - 1,3$	0,4
1,00	2,1	1,1	$d - 1,6$	0,5
1,25	2,7	1,5	$d - 2,0$	0,6
1,50	3,2	1,8	$d - 2,3$	0,75
1,75	3,9	2,1	$d - 2,6$	0,9
2,00	4,5	2,5	$d - 3,0$	1,0
2,50	5,6	3,2	$d - 3,6$	1,25
3,00	6,7	3,7	$d - 4,4$	1,5
3,50	7,7	4,7	$d - 5,0$	1,75
4,00	8,0	5,0	$d - 5,7$	2,0

Таблица 11.2

**Сбег, недорез и проточки для резьбового отверстия**

Шаг резьбы $P$	Проточка			
	нормальная	узкая	$d_f$	$R$
	$f$ , не менее			
0,70	2,8	1,75	$d + 3$	0,35
0,75	3,0	1,90		0,40
0,80	3,2	2,00		0,40

Шаг резьбы $P$	Проточка			
	нормальная	узкая	$d_f$	R
	$f$ , не менее			
1,00	4,0	2,50	$d + 5$	0,50
1,25	5,0	3,20		0,60
1,50	6,0	3,80		0,75
1,75	7,0	4,30		0,90
2,00	8,0	5,00		1,00
2,50	10,0	6,30		1,25
3,00	12,0	7,50		1,50
3,50	14,0	9,00		1,75
4,00	16,0	10,00		2,00

Штриховку в разрезах и в сечениях проводят по линии наружного диаметра резьбы на стержнях и до линии внутреннего диаметра — в отверстиях, т.е. в обоих случаях **до сплошной основной линии** (см. рис. 11.3 и 11.4, рис. 11.6).

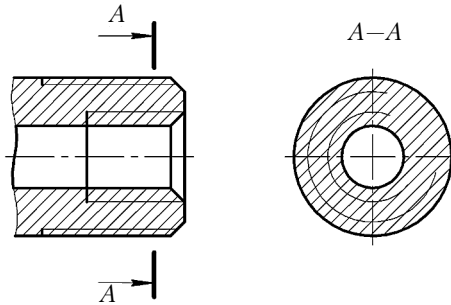
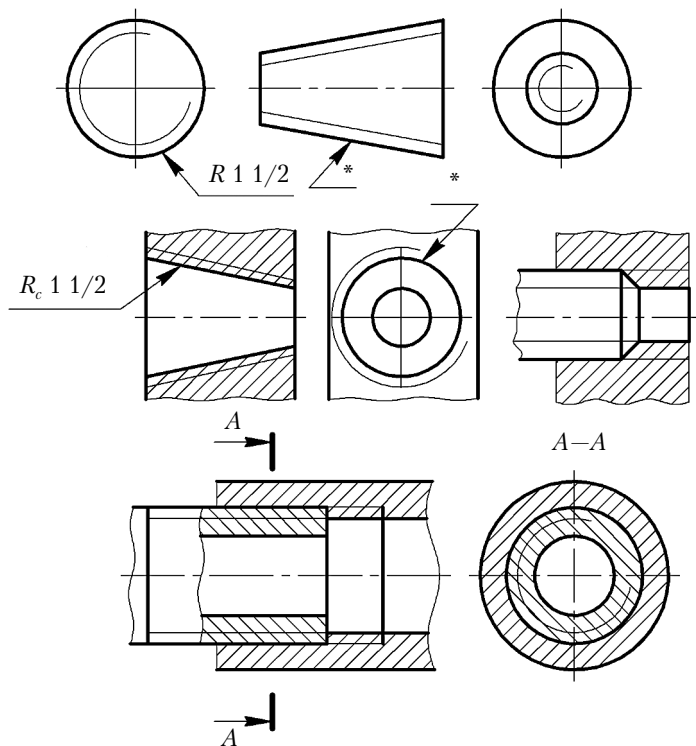


Рис. 11.6. Штриховка

Резьбу с нестандартным профилем показывают одним из способов, изображенных на рис. 11.7, выявляя форму профиля с помощью местных разрезов или выносного элемента.

На чертежах конической резьбы проводят только видимые наблюдателю окружности (см. рис. 11.7).

При изображении резьбового соединения двух деталей в отверстии показывают только часть резьбы, которая не закрыта резьбой стержня (см. рис. 11.7).



**Рис. 11.7.** Разные способы резьбы с нестандартным профилем

Условное изображение резьб в большинстве случаев не позволяет судить по чертежу о типе применяемой резьбы, поэтому чертеж должен быть дополнен как местными разрезами, поясняющими профиль резьбы, так и условными обозначениями резьб.

В условные обозначения для разных типов резьб входят различные данные: тип резьбы, номинальный диаметр.

Многозаходные метрические резьбы обозначаются буквой *M*, номинальным диаметром, числовым значением хода и в скобках — буквой *P* для шага — и числовым значением шага, например *M30x2 (P3,5)*, что означает: двухзаходная метрическая резьба с крупным шагом, равным 3,5 мм. Для левой резьбы обозначением является *M30x2 (P3,5) LH*.

Для специальных резьб (Сп) со стандартным профилем перед обозначением наносят буквы Сп, например, Сп М66х4, что означает: резьба специальная метрическая, с номинальным диаметром 66 мм и шагом резьбы 4 мм. **Специальными резьбами** называют такие,

которые отличаются от стандартных диаметром или шагом (в приведенном примере диаметром 66 мм, которого нет в СТ СЭВ 181–75 (ГОСТ 8724–81).

Наибольшее применение в промышленности находят резьбы (рис. 11.8):

- метрическая;
- трубная цилиндрическая;
- трапецеидальная;
- упорная и т.д.

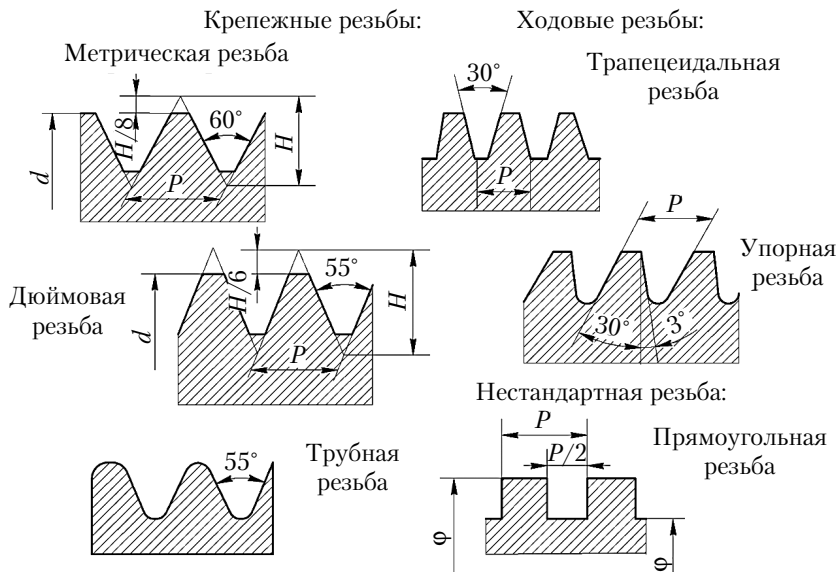


Рис. 11.8. Резьбы

В табл. 11.3 приведены данные о правилах обозначения наиболее распространенных типов резьб.

Таблица 11.3

Обозначение резьб

Тип резьбы	Условное обозначение	В обозначении указывают	Пример обозначения
Метрическая с крупным шагом ГОСТ 8724–81	<i>M</i>	Наружный диаметр, мм	<i>M30g</i>



Тип резьбы	Условное обозначение	В обозначении указывают	Пример обозначения
Метрическая с мелким шагом	$M$	Наружный диаметр, мм, шаг резьбы	$M30 \times 2$
Трапецеидальная ГОСТ 24739–81	$T_r$	Номинальный диаметр, ход и шаг резьбы, мм	$T_r 20 \times 8 (P4)$
Упорная ГОСТ 10177–82	$S$	Номинальный диаметр, шаг резьбы, мм	$S40 \times 6$
Круглая ГОСТ 13536–68	$K_p$	Номинальный диаметр резьбы, шаг, мм, и номер стандарта	$K_p 12 \times 2,5$ ГОСТ 13536–68
Трубная цилиндрическая ГОСТ 6357–81	$G$	Размер резьбы в дюймах, класс точности	$G1_{1/2}-A$
Трубная коническая ГОСТ 6211–81	$R$ – наружная $R_c$ – внутренняя	Размер резьбы в дюймах	$R3/4$ $R_c 3/4$
Коническая дюймовая ГОСТ 6111–52	$K$	Диаметр резьбы в дюймах и номер стандарта	$K3/4$ ГОСТ 6111–52

### 11.3. КРЕПЕЖНЫЕ ДЕТАЛИ

Основные крепежные детали резьбовых соединений: болт, шпилька, гайка, винт и шайба. Крепежные резьбовые изделия стандартизированы, и их размеры определены соответствующими стандартами. В связи с широким распространением крепежных деталей большая часть их стандартизирована с целью обеспечения взаимозаменяемости и удешевления производства. Для крепежного изделия устанавливаются форма и размеры всех элементов, возможные варианты и типы использования, класс прочности материала, точность изготовления, условное обозначение.

В сборочных чертежах соединения крепежными деталями, как правило, изображают с упрощенными или условными знаками (если диаметр резьбы на чертеже менее 2 мм), установленными ГОСТ 2.315–68\*.

**Болт** представляет собой цилиндрический стержень с головкой на одном конце и резьбой для гайки на другом (рис. 11.9). Головки

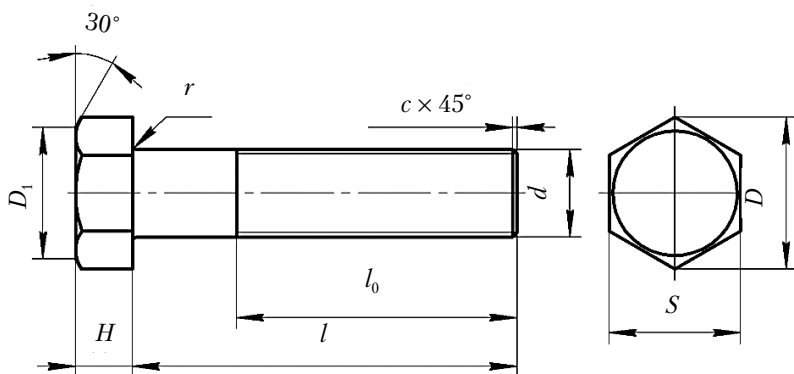
болтов бывают различной формы, которая устанавливается соответствующим стандартом.

Болты различаются по точности изготовления (нормальная, повышенная и грубая); форме головки (шестигранная, полукруглая и потайная); размерам головки (нормальная и уменьшенная); характеру исполнения и т.д.

Наибольшее применение в машиностроении имеют болты с шестигранной головкой (нормальной точности) (см. рис. 11.9) — ГОСТ 7798–70:

- $S$  — размер «под ключ»;
- $d$  — диаметр стержня;
- $D$  — диаметр описанной окружности головки;
- $H$  — высота головки;
- $l_0$  — длина резьбы;
- $l$  — длина болта;
- $r$  — радиус под головкой;
- $c = P$  — фаска на стержне, где  $P$  — шаг резьбы;
- $D_1 = (0,9...0,95) S$  — диаметр окружности на торце головки, образующийся при снятии фаски. Высота головки не включается в длину болта.

*Пример условного обозначения болта с шестигранной головкой нормальной точности диаметром резьбы  $d = 20$  мм, с крупным шагом резьбы, длиной  $l = 100$  мм (ГОСТ 7798–70): Болт М20×100; для аналогичного болта с мелким шагом: Болт М20×1,5×100.*



**Рис. 11.9.** Болт

В табл. 11.4 даны параметры болтов с шестигранной головкой (нормальной точности).

Таблица 11.4

**Болты с шестигранной головкой (нормальной точности), мм**

<i>d</i>	Шаг резьбы		<i>S</i>	<i>H</i>	<i>D</i> , не менее	<i>r</i>	
	крупный	мелкий				не менее	не более
6	1	—	10	4	10,9	0,25	0,6
8	1,25	1	13	5,5	14,2	0,4	1,1
10	1,5	1,25	17	7	18,7	0,4	1,1
12	1,75	1,25	19	8	20,9	0,6	1,6
(14)	2	1,5	22	9	24,3	0,6	1,6
16	2	1,5	24	10	26,5	0,6	1,6
(18)	2,5	1,5	27	12	29,9	0,6	1,6
20	2,5	1,5	30	13	33,3	0,8	2,2
(22)	2,5	1,5	32	14	35	0,8	2,2
24	3	2	36	15	39,6	0,8	2,2
27	3	2	41	17	45,2	1,0	2,7
30	3,5	2	46	19	50,9	1,0	2,7
36	4	3	55	23	60,8	1,0	3,2
42	4,5	3	65	26	72,1	1,2	3,3
48	5	3	75	30	83,4	1,6	4,3

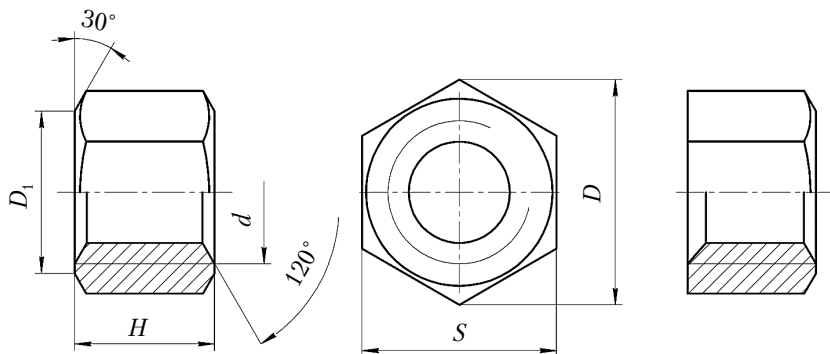
*Примечание.* Размеры болтов, заключенные в скобки, применять не рекомендуется.

**Гайки.** Гайка представляет собой призму или цилиндр со сквозным (иногда глухим) резьбовым отверстием для навинчивания на болт или шпильку (рис. 11.10).

Гайки классифицируются по:

- форме поверхности (шестигранные, квадратные, круглые, гайки-барашки и др.);
- характеру исполнения (2 — с одной фаской и 1 — с двумя фасками);
- точности изготовления (нормальная, повышенная, грубая);
- шагу резьбы.

Наиболее распространены шестигранные гайки (нормальной точности) по ГОСТ 5915–70 (см. рис. 11.10, табл. 11.5). По конструкции они делятся на обыкновенные, прорезные и корончатые, нормальные, низкие, высокие и особо высокие. Наибольшее применение в машиностроении имеют обыкновенные шестигранные гайки.



**Рис. 11.10.** Шестигранные гайки

*Пример условного обозначения гайки* диаметром резьбы  $d = 12$  мм, с крупным шагом резьбы (ГОСТ 5915–70): Гайка М12; то же с мелким шагом резьбы – Гайка М12 × 1,15.

В табл. 11.5 даны параметры гаек шестигранных (нормальной точности).

Таблица 11.5

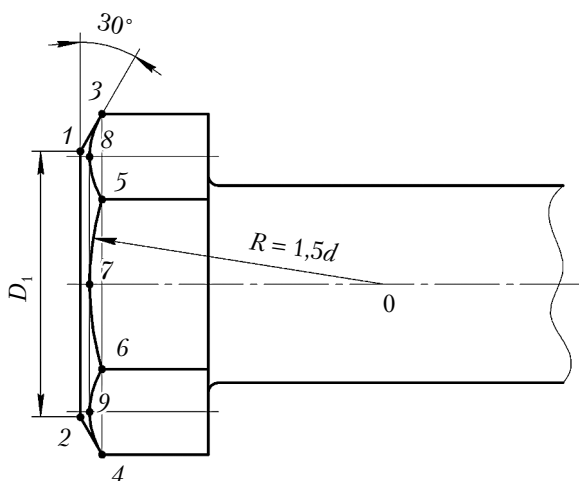
**Гайки шестигранные (нормальной точности) ГОСТ 5915–70, мм**

$d$	Шаг резьбы		$S$	$H$	$D$ , не менее
	крупный	мелкий			
6	1,00	—	10	5,0	10,9
8	1,25	1,00	13	6,5	14,2
10	1,15	1,25	17	8,0	18,7
12	1,75	1,25	19	10,0	20,9
(14)	2,00	1,50	22	1,10	24,3
16	2,00	1,50	24	13,0	26,5
(18)	2,50	1,50	27	15,0	29,9
20	2,50	1,50	30	16,0	33,3
(22)	2,50	1,50	32	18,0	35,0
24	3,00	2,00	36	19,0	39,6
(27)	3,00	2,00	41	22,0	45,2
30	3,50	2,00	46	24,0	50,9
36	4,00	3,00	55	29	60,8
42	4,50	3,00	65	34,0	72,1
48	5,00	3,00	75	38,0	83,4

*Примечание.* Размеры гаек, заключенные в скобки, применять не рекомендуется.

**Изображение головок болтов и гаек.** Необходимо запомнить, что болт и гайку располагают на чертеже так, чтобы на главном виде было видно три грани.

При снятии фаски на головке болта или на гайке линии пересечения поверхностей на гранях шестигранника являются гиперболами, так как коническая поверхности фаски пересекается плоскостью, параллельной двум образующим конуса. Для простоты вычерчивания этой линии на чертеже ее заменяют дугами окружностей (рис. 11.11).



**Рис. 11.11.** Построение головки болта

Порядок построения дуг окружностей на головке болта или на гайке следующий:

1. Из точек 1 и 2 проводим прямые под углом  $30^\circ$  к вертикали. Получаем точки 3 и 4.
2. Проведя вспомогательную прямую 3–4, получим точки 5, 6.
3. Проведя дугу 5–6 радиусом  $R = 1,5d$ , получим точку 7 на осевой линии.
4. Строим вертикальную линию из точки 7  $\perp$  оси.
5. Делим отрезок 3–5 и 6–4 пополам и через середину проводим линии  $\parallel$  оси. Эти линии пересекают вертикальную линию.
6. Соединяем дугой точки 3, 8, 5 и 6, 9, 4.

**Шайбу** устанавливают под гайку или головку болта для увеличения опорной поверхности и предохранения материала детали от задиrow и смятия при затяжке гайки. Шайба представляет собой

цилиндрическое тело с отверстием. На рис. 11.12 представлена шайба нормальная ГОСТ 11371–78.

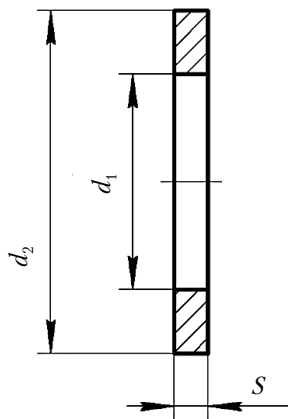
*Пример условного обозначения шайбы* обычной для крепежной детали с диаметром резьбы 20 мм: Шайба 20 ГОСТ 11371–78.

Диаметр внутреннего отверстия шайбы  $d_1$  обычно на 0,5–2,0 мм больше диаметра стержня болта или шпильки.

В табл. 11.6 даны параметры шайб нормальных.

Таблица 11.6

Шайбы нормальные, мм



$d$	$d_1$	$d_2$	$S$
6	6,4	12,5	1,6
8	8,4	17,0	1,6
10	10,5	21,0	2,0
12	13,0	24,0	2,5
14	15,0	28,0	2,5
16	17,0	30,0	3,0
18	19,0	34,0	3,0
20	21,0	37,0	3,0
22	23,0	39,0	3,0
24	25,0	44,0	4,0
27	28,0	50,0	4,0
30	31,0	56,0	4,0
36	37,0	66,0	5,0
42	43,0	78,0	7,0
48	50,0	92,0	8,0

Рис. 11.12. Шайба

**Шпилька** представляет собой стержень с резьбовой нарезкой с каждой стороны.

ГОСТ 22032–76 устанавливает различные типоразмеры шпилек (рис. 11.13):

- $d$  – номинальный диаметр резьбы;
- $d_1$  – диаметр стержня;
- $l$  – номинальная длина шпильки;
- $l_1$  – длина ввинчиваемого конца;
- $l_0$  – длина резьбы гаечного конца.

Для обеспечения большей прочности и жесткости шпильчатого соединения резьбовой конец длиной  $l_1$ , ввинчиваемый в резьбовое отверстие детали, выполняется с более мелким шагом, чем установ-

ливаает стандарт на диаметр стержня  $d$ . Условно на чертеже данный резьбовой конец изображается со сбегом резьбы.

В задании рассматривается шпилька общего применения нормальной точности (см. рис. 11.13), длина ввинчиваемого конца  $l_1$  которой зависит от материала деталей с резьбовыми отверстиями:

- $l_1 = d$  – для стальных, бронзовых и латунных деталей;
- $l_1 = 1,5d$  – для чугунных деталей;
- $l_1 = 2d$  – для деталей из легких сплавов.

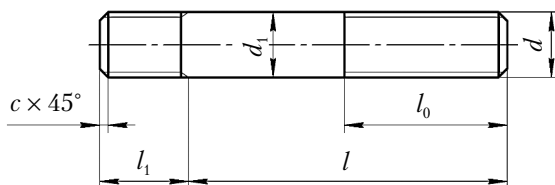


Рис. 11.13. Шпилька

*Пример условного обозначения шпильки с диаметром резьбы  $d = 16$  мм, с крупным шагом, длиной  $l = 120$  мм (ГОСТ 22032–76): Шпилька М16×120; аналогичная с мелким шагом: Шпилька М16×1,5×120; аналогичная, с мелким шагом на ввинчиваемом конце и крупным шагом под гайку: Шайба М16×1,5/2×120.*

#### 11.4. ИЗОБРАЖЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ

**Болтовое соединение.** В болтовом соединении стяжка деталей происходит за счет навинчивания гайки на болт. Усилие от гайки через шайбу обеспечивает неподвижность соединения. Отверстия в деталях гладкие.

На учебных чертежах изображение болтового соединения обычно строят по относительным размерам, являющимся функциями диаметра резьбы и округляемым при расчетах до целых чисел. Эти относительные размеры используют только для построения изображения и на чертежах их указывать нельзя.

Размеры деталей резьбового соединения (болта, гайки, шайбы) при упрощенном изображении (рис. 11.14) определяют по условно принятым соотношениям в зависимости от номинального диаметра резьбы  $d$ :

- $D = 2d$  – диаметр описанной окружности (габаритный размер головки болта и гайки);
- $D_{ш} = 2,2d$  – диаметр шайбы;
- $H = 0,7d$  – высота головки болта;

- $s = 0,15d$  — толщина шайбы;
  - $H_r = 0,8d$  — высота гайки;
  - $m$  — толщина скрепляемых деталей;
  - $K = (0,25... 0,5) d$  — запас резьбы болта.
- Длину болта  $l$  определяют по формуле

$$l \geq S + m + H_r + K,$$

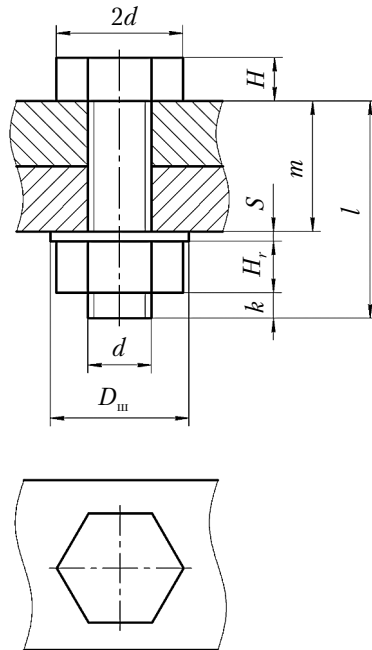
а длину нарезанной части — по формуле

$$l_0 > S + H_r + K.$$

Иногда на чертежах возникает необходимость изображать болтовое соединение по действительным размерам. В этих случаях используют следующее соотношение:

$$d_{\text{отв}} = 1,1d_{\text{резьб}}.$$

Полученные расчетные значения  $l$  и  $l_0$  сопоставляют с рядом длин болтов (табл. 11.7), предусмотренных соответствующими стандартами, и принимают ближайшее стандартное значение.



**Рис. 11.14.** Болтовое соединение



Для упрощения изображения резьба показывается по всей длине стержня крепежной детали. Фаски, округления, а также зазоры между стержнем резьбовой детали и отверстием не изображаются.

Таблица 11.7

**Длина болтов с шестигранной головкой нормальной (класс В)  
диаметром 6–48 мм по ГОСТ 7798–70, мм**

<i>l</i>	<i>d</i>														
	6	8	10	12	(14)	16	18	20	(22)	24	(27)	30	36	42	48
	<i>l<sub>0</sub></i>														
8	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	x	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(18)	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—
(22)	18	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—
25	18	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—
(28)	18	22	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—
30	18	22	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—
(32)	18	22	26	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—	—
35	18	22	26	30	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—
(38)	18	22	26	30	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—	—
40	18	22	26	30	34	x	x	x	x	x	x	x	—	—	—
45	18	22	26	30	34	38	x	x	x	x	x	x	—	—	—
50	18	22	26	30	34	38	42	x	x	x	x	x	x	—	—
55	18	22	26	30	34	38	42	46	x	x	x	x	x	x	—
60	18	22	26	30	34	38	42	46	50	x	x	x	x	x	—
65	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	x	x	x	x	x
70	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	x	x	x	x
75	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	x	x	x
80	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	x	x	x
(85)	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	x	x	x
90	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	x	x	x
(95)	—	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	78	x	x

<i>l</i>	<i>d</i>														
	6	8	10	12	(14)	16	18	20	(22)	24	(27)	30	36	42	48
	<i>l</i> <sub>0</sub>														
100	—	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	78	x	x
(105)	—	—	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	78	90	x
110	—	—	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	78	90	x
(115)	—	—	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	78	90	102
120	—	—	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	78	90	102

*Примечание.* 1. Болты с размерами, заключенными в скобки, применять не рекомендуется. 2. Болты, для которых величины  $l_0$  расположены над ломаной линией, допускается изготавливать с длиной резьбы до головки. 3. Знаком x отмечены болты с резьбой на всей длине стержня.

**Шпилечное соединение.** В шпилечном соединении шпилька фиксируется резьбой в детали. При навинчивании гайки на шпильку усилие от гайки передается через шайбу на верхнюю деталь, осуществляя ее подтягивание к нижней детали. Отверстие в верхней детали гладкое, а в нижней — нарезанное (с резьбой).

Шпилечное соединение используют вместо болтового, когда изготавливать сквозное отверстие в одной из соединяемых деталей нецелесообразно, например, при значительной ее толщине, и, кроме того, когда материал соединяемых деталей не обеспечивает достаточной долговечности при требуемых частых разборках и сборках соединений.

Для упрощенного вычерчивания размеры шпилечного соединения определяют в зависимости от номинального диаметра  $d$  резьбы шпильки (рис. 11.15), при этом размеры гайки и шайбы определяются теми же соотношениями, что и для болтового соединения.

Расчетную длину шпильки при заданной толщине  $m$  присоединяемой детали определяют по формуле

$$L \geq S + m + H + K.$$

Длину резьбового конца, ввинчиваемого в резьбовое отверстие одной из соединяемых деталей, выбирают в зависимости от материала детали, в которую ввинчивается шпилька (см. п. 11.3).

Длину шпильки выбирают как ближайшую большую к расчетной по табл. 11.8. При изображении шпилечного соединения

резьбу показывают по всей длине стержня шпильки; не изображают фаски на концах стержня шпильки и гайки; не показывают гнездо с резьбой и без резьбы в детали ниже конца шпильки.

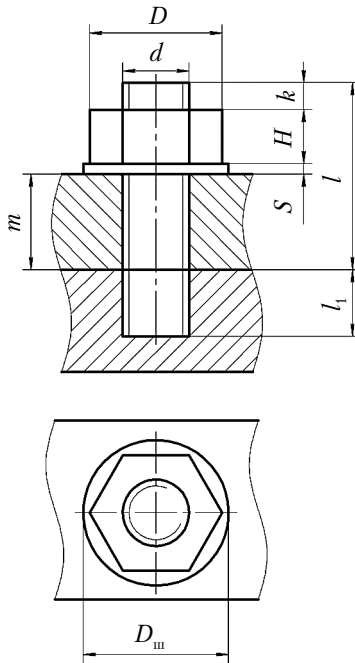


Рис. 11.15. Шпильчное соединение

Таблица 11.8

**Длина шпилек общего применения (ГОСТ 22032-76)**

<i>l</i>	<i>d</i>														
	6	8	10	12	(14)	16	18	20	(22)	24	(27)	30	36	42	48
	<i>l<sub>о</sub></i>														
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(18)	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(22)	18	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

<i>l</i>	<i>d</i>														
	6	8	10	12	(14)	16	18	20	(22)	24	(27)	30	36	42	48
	<i>l</i> <sub>0</sub>														
25	18	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(28)	18	22	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	18	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(32)	18	22	26	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	18	22	26	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—
(38)	18	22	26	30	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	—
40	18	22	26	30	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—
(42)	18	22	26	30	34	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—
45	18	22	26	30	34	x	x	x	x	x	—	—	—	—	—
(48)	18	22	26	30	34	38	x	x	x	x	—	—	—	—	—
50	18	22	26	30	34	38	x	x	x	x	—	—	—	—	—
55	18	22	26	30	34	38	42	x	x	x	x	—	—	—	—
60	18	22	26	30	34	38	42	46	x	x	x	x	—	—	—
65	18	22	26	30	34	38	42	46	50	x	x	x	—	—	—
70	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	x	x	x	—	—
75	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	x	x	—	—
80	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	x	x	x
(85)	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	x	x	x
90	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	x	x	x
(95)	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	78	x	x
100	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	78	x	x
(105)	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	78	x	x
110	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	78	x	x
(115)	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	78	90	x
120	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	78	90	x
130	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	84	96	x
140	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	8	96	108
150	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	84	96	108
160	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	84	96	108
170	—	28	32	36	40	44	48	52	56	60	6	72	84	96	108
180	—	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	84	96	108

l	d														
	6	8	10	12	(14)	16	18	20	(22)	24	(27)	30	36	42	48
	l <sub>0</sub>														
190	—	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	84	96	108
200	—	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	84	96	108
220	—	—	—	49	53	57	61	65	69	73	79	85	97	109	121
240	—	—	—	—	—	—	—	65	69	73	79	85	97	109	121

Примечания. 1. Шпильки с размерами, заключенными в скобки, по возможности не применять.

2. Знаком «х» отмечены шпильки с длиной гаечного конца  $l_0 = l - 0,5d$ .

Размеры сверленного и нарезанного отверстий под шпильку зависят от величины  $l_1$  и величин запаса резьбы, сбega и недохода резьбы и определяются в зависимости от шага резьбы  $P$  соотношениями, приведенными на рис. 11.16.

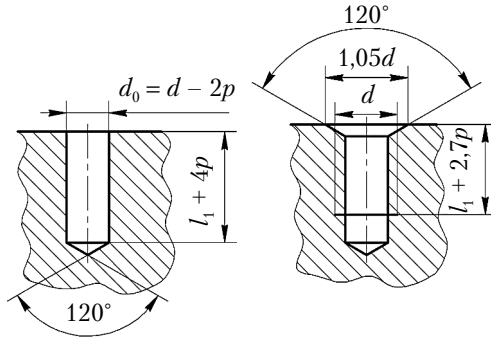


Рис. 11.16. Размеры сверленного и нарезанного отверстий

В Приложениях 7–8 представлены варианты заданий для вычерчивания изображений болта, гайки, шайбы, шпильки, сверленного отверстия под нарезания резьбы, нарезанного отверстия под шпильку и упрощенных изображений болтового и шпилечного соединений.

**Трубное соединение.** В трубном соединении сочленение труб можно осуществить двумя способами (рис. 11.17):

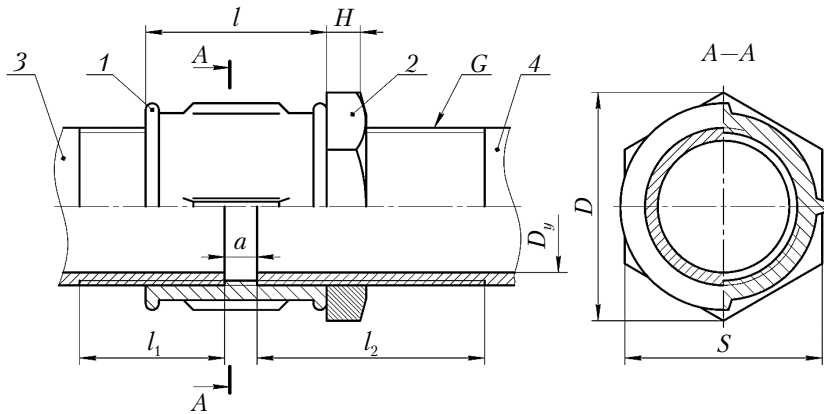
- муфта 1 навинчивается до упора на трубу 3, а затем труба 4 ввинчивается в муфту;

- муфта 1 навинчивается полностью на трубу 4, для чего на ней нарезана резьба, превышающая длину муфты. Трубы 3 и 4 стыкуются. Соединение образуется путем свинчивания муфты с трубы 4 и навинчивания ее на трубу 3.

Трубное соединение применяется в трубопроводах, где помимо простоты сборки и разборки должны быть обеспечены герметичность и прочность соединений.

Трубы соединяются посредством фитингов: муфт, угольников, тройников, крестовин и другой арматуры.

Рассмотрим соединение труб муфтой с цилиндрической резьбой (см. рис. 11.17). При вычерчивании трубного соединения следует обращать внимание на изображение резьбы в продольном и поперечном разрезах. В отверстии фитинга показывают только ту часть резьбы, которая не закрыта трубой.



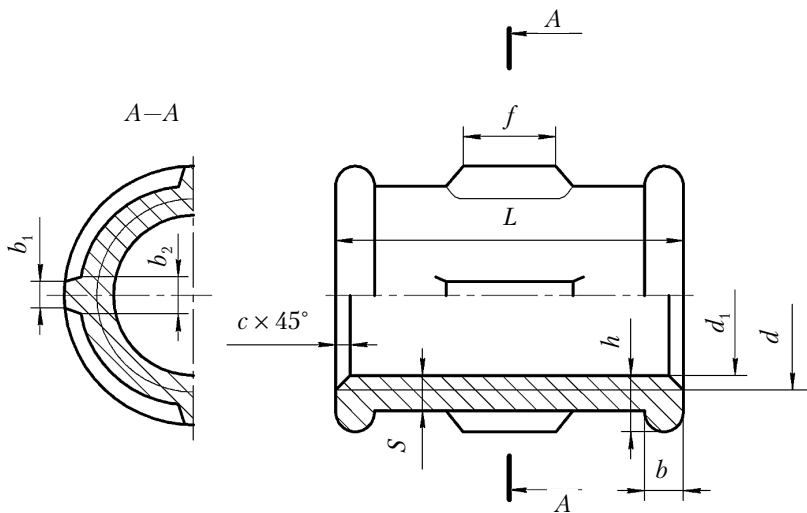
**Рис. 11.17.** Соединение труб муфтой с цилиндрической резьбой

Определяющим размером соединения является условный проход трубы  $D_v$ .

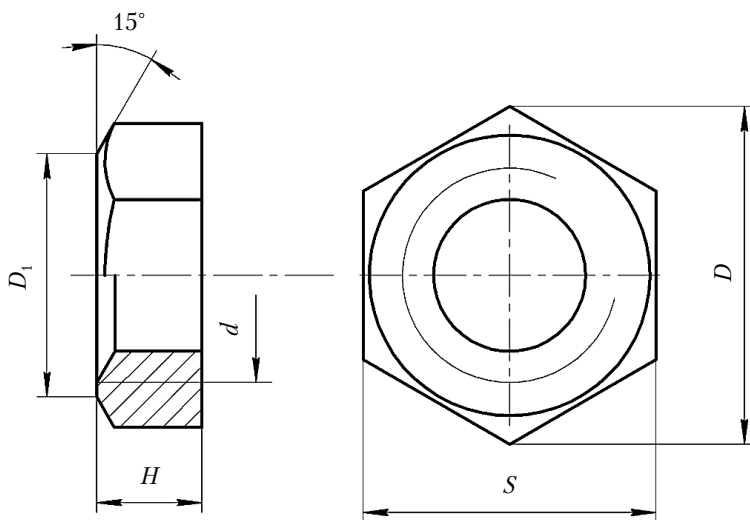
Основными размерами соединения являются:

- $l$  — длина муфты;
- $H, S, D$  — размеры контргайки 2;
- $a = (3...4) P$  — зазор между торцами труб;
- $l_1 = l/2 - (1,5...2) P$  и  $l_2 = l + H + 2P$  — длина резьб на трубах.

Чертеж трубного соединения выполняют по размерам его деталей муфты ГОСТ 8955–75 (рис. 11.18) и контргайки ГОСТ 8961–75 (рис. 11.19), которые выбирают по табл. 11.9 и 11.10.



**Рис. 11.18.** Трубное соединение



**Рис. 11.19.** Контргайка ГОСТ 8955–75

*Пример условного обозначения муфты и контргайки на чертеже для труб с условным проходом 20 мм (ГОСТ 8961–75): Муфта 20, Контргайка 20.*

Таблица 11.9

**Контргайка (ГОСТ 8961–75)**

Условный проход $D_y$ , мм	$G$ , дюйм	Размеры контргайки, мм			
		$H$	$S$	$D$	$D_1$
8	1/4	6	22	25,4	20
10	3/8	7	27	31,2	25
15	1/2	8	32	36,9	30
20	3/4	9	36	41,6	33
25	1	10	46	53,1	43
32	1 <sub>1/4</sub>	11	55	63,5	52
40	1 <sub>1/2</sub>	12	60	69,3	56

Таблица 11.10

**Муфта прямая (ГОСТ 8955–75)**

$D_y$ , мм	8	10	15	20	25	32	40
$G$ , дюйм	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 <sub>1/4</sub>	1 <sub>1/2</sub>
$P$ , мм	1,33	1,33	1,81	1,81	2,30	2,30	2,30
$l$ , мм	27	30	36	39	45	50	55
$d$ , мм	13,158	16,663	20,956	26,442	33,250	41,912	47,805
$d_f$ , мм	11,446	14,951	18,632	24,119	30,293	38,954	44,847
$S$ , мм	3,5	3,5	4,2	4,4	5,2	5,4	5,8
$b$ , мм	3,0	3,0	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0
$b_f$ , мм	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	3,0
$b_2$ , мм	3,5	3,5	4,0	4,0	4,5	5,0	5,0
$h$ , мм	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	3,0	3,0
$c$ , мм	1,5	1,5	2,0	2,00	2,0	2,0	2,5
$t$ , мм	15	17	17	20	22	24	26

**Шпоночное соединение.** Шпоночное соединение предназначено для передачи небольших крутящих моментов от одной соприкасающейся детали к другой, чаще всего от вала к расположенным на нем деталям, например, шкивам, зубчатым колесам, полумуфтам, рычагам и т.д.

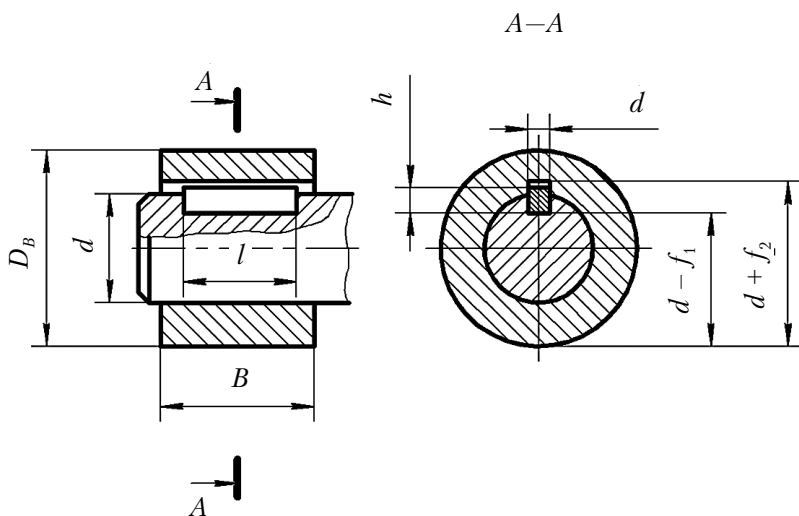
По конструкции шпоночное соединение представляет собой зуб (шпонку), находящийся в пазах сопрягаемых деталей (вала и втулки).



Благодаря простоте и надежности шпоночные соединения широко применяются в машиностроении. На рис. 11.20 показаны шпоночные соединения, состоящие из вала, втулки (зубчатое колесо, муфта, шкив и т.п.) и шпонки.

По форме шпонки разделяют на призматические, клиновые, сегментные и тангенциальные. Наиболее широко применяют призматические шпонки ГОСТ 23360–78, которые выполняют в трех исполнениях: 1 – с закругленными торцами; 2 – с одним торцом закругленным, а другим плоским; 3 – с плоскими торцами. Сегментные шпонки бывают двух исполнений.

Все виды шпоночных соединений стандартизованы и выбираются из условий работы соединяемых деталей.



**Рис. 11.20.** Шпоночное соединение

Шпоночные канавки на валу выполняются с длиной, равной длине шпонки (рис. 11.21). На виде «слева» изображение обычно показывают, ограничившись отверстием с пазом.

Изготавливают шпоночную канавку на валу методом фрезерования, пальцевой или дисковой фрезой, а паз в ступице (втулке) получают долблением или протяжкой.

Размеры соединения определяются по размерам шпонки, выбираемой по заданному диаметру вала  $d$ .

Длина шпонки  $l$  определяется по длине втулки  $B$  ( $l < B$ ) и выбирается из ряда длин, рекомендуемых в табл. 11.11.

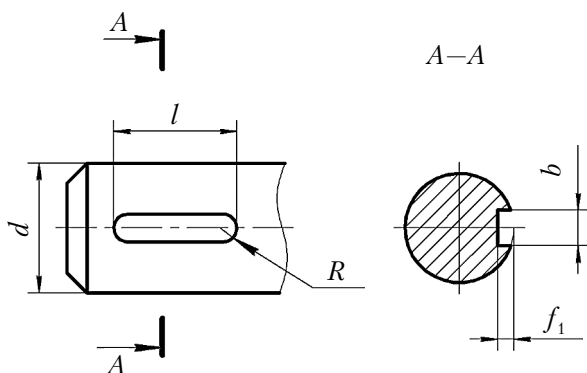


Рис. 11.21. Вал

Таблица 11.11

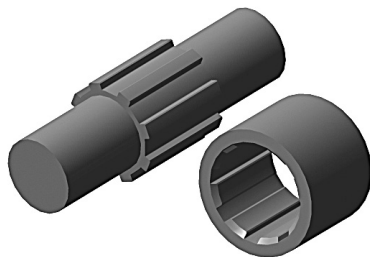
Размеры призматических шпонок и шпоночных пазов по ГОСТ 23360–78, мм

$d$	$b$	$h$	$t_1$	$t_2$	$r$	$l$	Длина фаски $s$ , умноженная на $45^\circ$
От 12 до 17	5	5	3,0	2,3	0,16–0,25	10...56	0,25–0,40
От 17 до 22	6	6	3,5	2,8		14...70	
От 22 до 30	8	7	4,0	3,3		18...90	
От 30 до 38	10	8	5,0	3,3	0,25–0,40	22...110	0,40–0,60
От 38 до 44	12	8	5,0	3,3		28...140	
От 44 до 50	14	9	5,5	3,8		32...160	
От 50 до 58	16	10	6,0	4,3		45...180	
От 58 до 65	18	11	7,0	4,4		50...200	

Пример условного обозначения шпонки, исполненной с размерами  $b = 18$  мм,  $h = 11$  мм,  $l = 100$  мм (ГОСТ 23360–78): Шпонка 18×11×100.

**Шлицевое соединение.** Шлицевое соединение применяют для передачи больших крутящих моментов, так как оно обладает большей прочностью по сравнению со шпоночным, а также лучшим центрированием сопрягаемых деталей. Соединение обеспечивается с помощью чередования зубьев (шлицов) и впадин (пазов), выполненных на валу и в отверстии втулки (рис. 11.22).

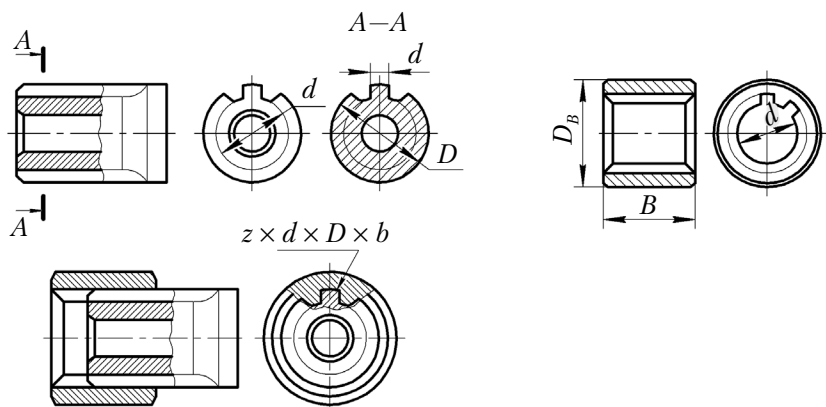
Профили зубьев и впадин бывают прямобочные, эвольвентные и треугольные.



**Рис. 11.22.** Пространственная модель

Согласно ГОСТ 2.409–74 (СТ СЭВ 650–77) зубчатые поверхности валов и втулок вычерчиваются упрощенно.

На рис. 11.23 показано упрощенное изображение шлицевого вала (а), втулки (б) и шлицевого соединения (в) с прямоугольным профилем по ГОСТ 1139–80 (СТ СЭВ 187–75, 188–75). Зубчатые поверхности валов и втулок вычерчиваются упрощенно.



**Рис. 11.23.** Шлицевое соединение:

$z$  — число зубьев;  $d$  — внутренний диаметр;  $D$  — наружный диаметр;  
 $b$  — ширина зуба вала;  $D_B$  — диаметр втулки;  $B$  — ширина втулки

*Пример условного обозначения шлицевого прямоугольного соединения с  $z = 8$ ,  $d = 36$  мм,  $D = 40$  мм,  $b = 7$  мм (ГОСТ 1139–80):* 8×36×40×7.

В Приложениях 9–11 представлены варианты заданий для вычерчивания изображений шлицов на валу, упрощенных изображений шпоночного, шлицевого и трубного соединений.

*Контрольные вопросы и задания*

1. Назовите виды стандартных резьб.
2. Что называют витком резьбы?
3. Какие детали относят к крепежным?
4. В чем разница в обозначениях метрических резьб с крупным и мелким шагом?
5. Чему равняется длина ввинчиваемого конца шпильки, предназначенной для соединения двух чугунных деталей?
6. Чему равняется глубина отверстия под шпильку?

# Глава 12

## ШЕРОХОВАТОСТЬ

Обозначение шероховатости поверхностей на чертеже регламентируется ГОСТ 2.309–73.

Детали могут иметь различную шероховатость (неровности) поверхностей, зависящие от материала, способа и технологического процесса изготовления деталей.

**Шероховатость** — следы, остающиеся на поверхности детали от режущего инструмента.

В обозначении шероховатости поверхности, вид обработки которой конструктором не устанавливается, применяют знак  $\surd$  (рис. 12.1).

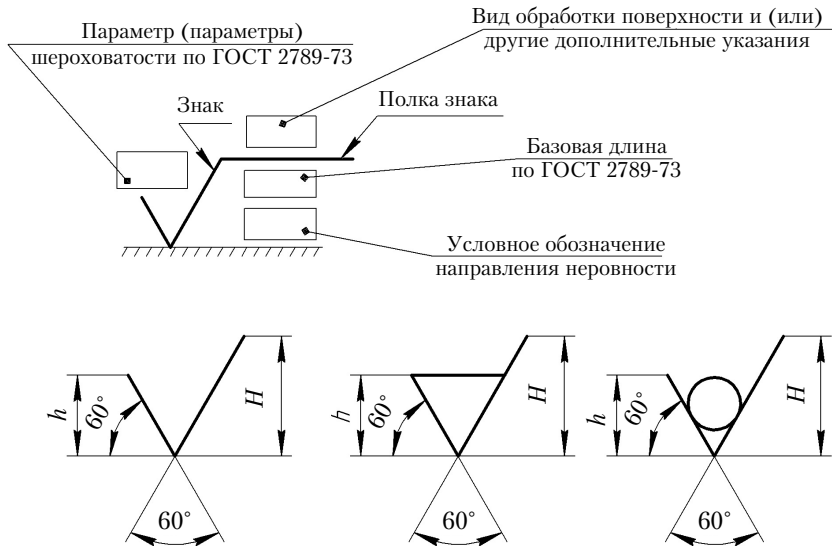


Рис. 12.1. Обозначение шероховатости поверхности

Если поверхность образована удалением слоя материала, например: точением, фрезерованием, сверлением, шлифованием, полированием, применяют знак  $\surd$  (рис. 12.1).

Если поверхность образована без удаления слоя материала, например, литьем, ковкой, объемной штамповкой, прокатом, волочением, применяют знак  $\surd$  (см. рис. 12.1).

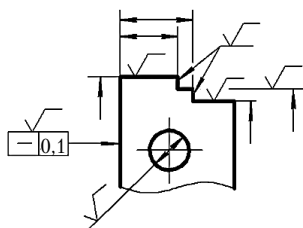
Поверхности, не обрабатываемые по данному чертежу, обозначаются знаком  $\surd$ . В упрощенном обозначении используют знак  $\surd$ .

Знак ( $\surd$ ) имеет высоту, равную высоте шрифта размерных чисел, а высота знака перед ним  $\surd$  — в полтора раза больше.

Шероховатость нерабочих поверхностей, как правило, выносится в правый верхний угол чертежа.

Параметр (параметры) шероховатости по ГОСТ 2789–73, Знак, Полка знака, Вид обработки поверхности и (или) другие дополнительные указания, Базовая длина по ГОСТ 2789–73, Условное обозначение направления неровности

**Правила нанесения обозначений шероховатости поверхностей на чертежах.** Обозначения шероховатости поверхностей на изображении изделия располагают на линиях контура, выносных линиях (по возможности ближе к размерной линии) или на полках линий-выносок.



**Рис. 12.2.** Расположение обозначения шероховатости

Допускается при недостатке места располагать обозначения шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, а также разрывать выносную линию (рис. 12.2). На линии невидимого контура допускается наносить обозначение шероховатости только в случаях, когда от этой линии нанесен размер.

Обозначения шероховатости поверхности, в которых знак имеет полку, располагают относительно основной надписи чертежа так, как показано на чертеже (рис. 12.3).

Обозначения шероховатости поверхности, в которых знак не имеет полки, располагают относительно основной надписи чертежа так, как показано на чертеже (рис. 12.4).

При изображении изделия с разрывом обозначение шероховатости наносят только на одной части изображения, по возможности ближе к месту указания размеров (рис. 12.5, а).

При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей изделия обозначение шероховатости помещают в правый верхний угол чертежа и на изображение не наносят (рис. 12.5, б).

Размеры и толщина линий знака в обозначении шероховатости, вынесенном в правый верхний угол чертежа, должны быть в 1,5 раза больше, чем в обозначениях, нанесенных на изображении.

При указании одинаковой шероховатости для части поверхностей изделия в правом верхнем углу чертежа помещают обозначение одинаковой шероховатости и условное обозначение ( $\checkmark$ ). Это означает, что все поверхности, на которых на изображении не нанесены обозначения шероховатости или знак  $\checkmark$ , должны иметь шероховатость, указанную перед обозначением ( $\checkmark$ ) (рис. 12.6).

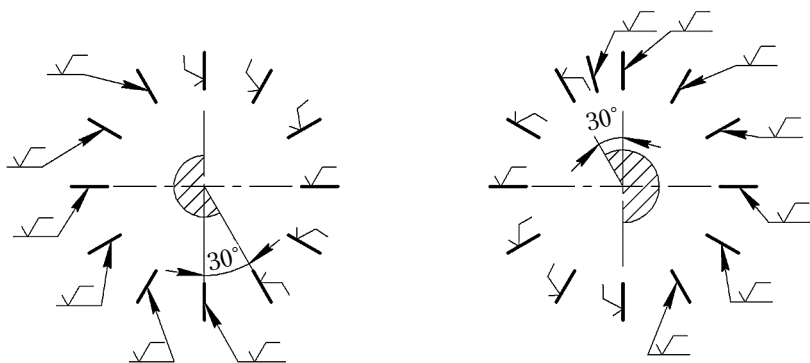


Рис. 12.3. Обозначение шероховатости поверхности

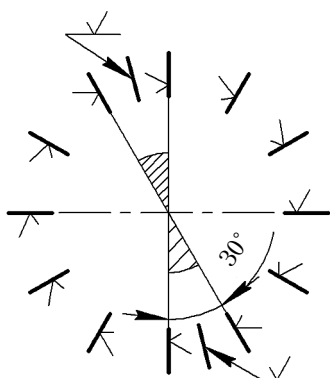


Рис. 12.4. Обозначение шероховатости

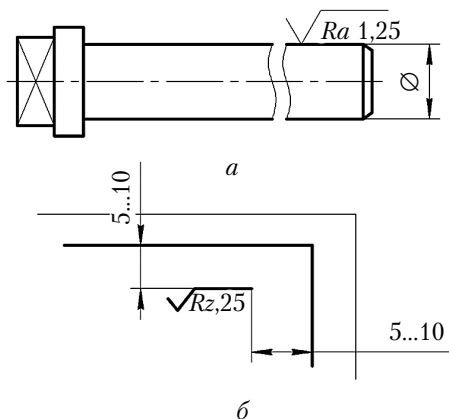
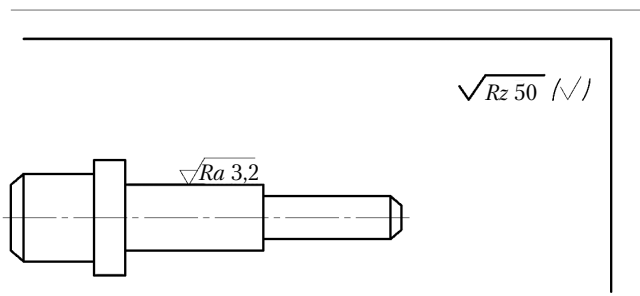


Рис. 12.5. Обозначение шероховатости: а — с разрывом; б — одинаковая шероховатость

Размеры знака  $\sqrt{\quad}$ , взятого в скобки, должны быть одинаковыми с размерами знаков, нанесенных на изображении.

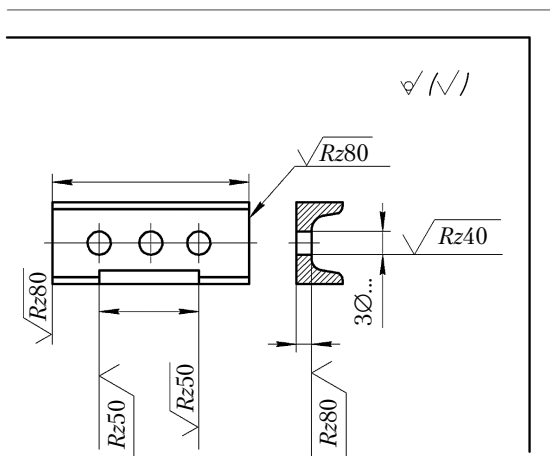
Когда часть поверхностей не обрабатывается по данному чертежу, в правом верхнем углу чертежа перед обозначением ( $\sqrt{\quad}$ ) помещают знак  $\surd$ .

Размеры и толщина линий этого знака должны быть в 1,5 раза больше, чем знаков, нанесенных на изображении.



**Рис. 12.6.** Указание одинаковой шероховатости

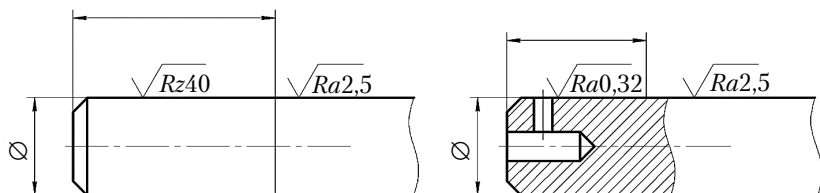
Обозначение шероховатости поверхностей повторяющихся элементов изделия (отверстий, пазов, зубьев), число которых указано на чертеже, а также обозначение шероховатости одной и той же поверхности наносят один раз, независимо от числа изображений (рис. 12.7).



**Рис. 12.7.** Обозначение шероховатости поверхностей повторяющихся элементов изделия

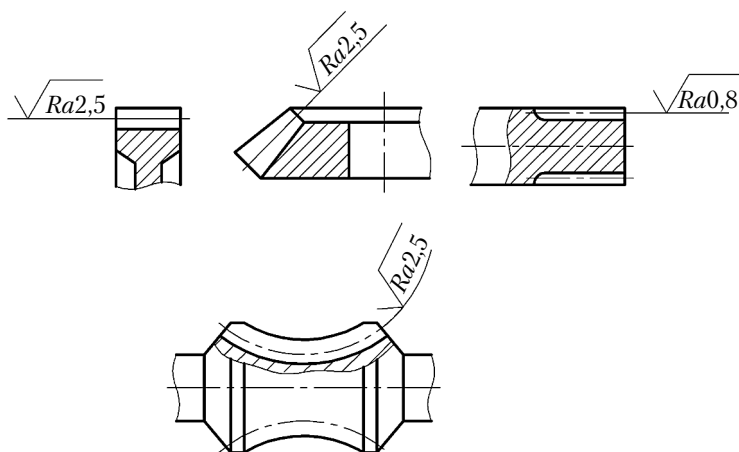


Если шероховатость одной и той же поверхности различна на отдельных участках, то эти участки разграничивают сплошной тонкой линией с нанесением соответствующих размеров и обозначений шероховатости. Через заштрихованную зону линию границы между участками не проводят (рис. 12.8).



**Рис. 12.8.** Шероховатость на отдельных участках

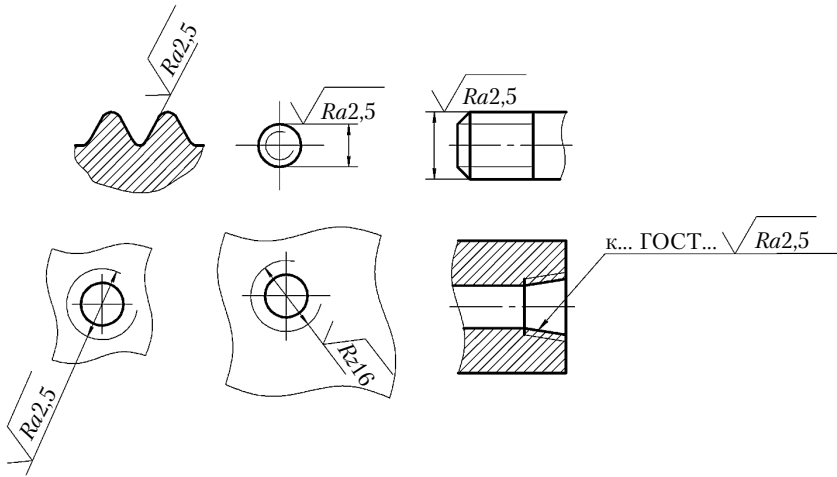
Обозначение шероховатости рабочих поверхностей зубьев, зубчатых колес, эвольвентных шлицев, если на чертеже не приведен их профиль, условно наносят на линии делительной поверхности, а для глобоидных червяков и сопряженных с ними колес — на линии расчетной окружности (рис. 12.9).



**Рис. 12.9.** Обозначение шероховатости рабочих поверхностей

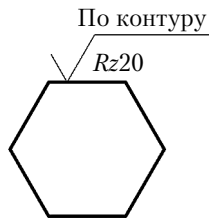
#### **Обозначение шероховатости поверхности резьбы** (рис. 12.10).

Если шероховатость поверхностей, изображения которых образуют контур, должна быть одинаковой, то обозначение шероховатости наносят один раз с надписью «По контуру» на полке соответствующего знака (рис. 12.11).



**Рис. 12.10.** Обозначение шероховатости рабочих поверхностей

У обозначения одинаковой шероховатости нескольких поверхностей, плавно переходящих одна в другую, надпись «*По контуру*» не наносят.



**Рис. 12.11.** Изображение шероховатостей «По контуру»

### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое шероховатость поверхности?
2. Как обозначается шероховатость поверхности детали на чертежах?
3. Перечислите, каковы основные правила нанесения обозначений шероховатости поверхностей на чертежах.

## Глава 13

# ЭСКИЗИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ

**Основные определения.** *Деталь* — изделие, изготовленное из однородного материала без применения сборочных операций, например: валик (выточен из прутка), корпус (отлитый из чугуна), рычаг (отштампован и обработан), болт, гайка.

**Эскиз** — чертеж, выполненный от руки без применения чертежных инструментов и без соблюдения масштаба, но с сохранением пропорциональности размеров детали и ее элементов и соблюдением всех требований стандартов на выполнение чертежей.

К эскизам предъявляются следующие требования:

- полно и точно (без упрощений) изображать форму детали;
- содержать размеры, необходимые для изготовления и контроля;
- иметь сведения о материале, из которого изготовлена деталь.

**Общие указания по выполнению эскизов.**

1. Перед выполнением эскиза необходимо:

а) выбрать главное изображение;

б) определить необходимое минимальное число изображений (видов, разрезов, сечений);

в) выбрать необходимый формат;

г) спланировать размещение изображений на формате.

2. Эскизы выполняются от руки карандашом на бумаге в клетку, по ГОСТу.

Перед выполнением эскиза на формате сплошной основной линией проводят рамку с полем для подшивки (внутренняя рамка), затем наносят основную надпись по ГОСТ 2.104–68 (рис. 13.1). Основная надпись на формате А4 располагается только вдоль короткой стороны.

В обозначение документа входят:

- Э — эскизирование;
- 04 — порядковый номер задания по программе;
- 12 — номер варианта;
- 03 — номер изображаемой детали.

Графа «Масштаб» на эскизах не заполняется.

Материал, из которого изготовлена деталь, указывается с обозначением марки и ГОСТа на данный материал. Марку материала выбирают, исходя из назначения детали.

3. На одном формате выполняется эскиз только одной детали.

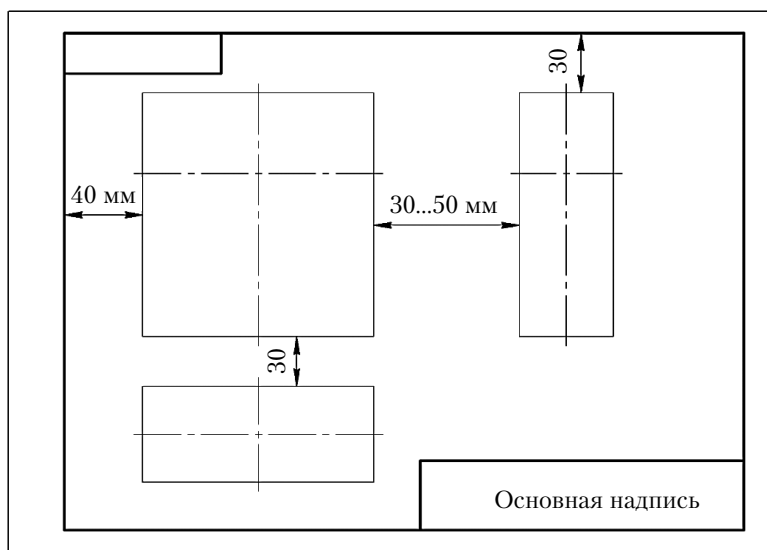
Обозначение документа					Наименование изделия				
					3.04.12.03				
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Инт.	Корпус	Лист	Масса	Масштаб	
Разработ.	Иванов			9					
Проверил	Правдин								
Т.контр.					Лист		Листов		
И.контр.					СЧ20 ГОСТ 1412-85			МГАУ зр. 14М	
Утв.					Обозначение материала				

**Рис. 13.1.** Оформление для выполнения эскиза

4. Соотношение толщин линий необходимо выдерживать в соответствии с ГОСТ 2.303–68. Толщину линий видимого контура желательно брать равной 0,8–1,0 мм и выполнять карандашом марки *ТМ*, *М*.

5. Все надписи на эскизах выполняются чертежным шрифтом по ГОСТ 2.304–88 (СТ СЭВ 851–78–СТ СЭВ 855–78).

6. Поле чертежа должно заполняться изображениями на 60–70% (рис. 13.2).



**Рис. 13.2.** Поле чертежа

### **Порядок выполнения эскиза детали.**

1. Установить принадлежность (условно) детали к тому или иному классу, ее наименование и материал, из которого она изготовлена.

2. Изучить форму детали и ее элементов, помня при этом, что деталь представляет собой совокупность простейших геометрических тел (призма, цилиндр, конус, сфера, тор).

3. Выбрать главное изображение, определить минимально необходимое число других изображений (основных и дополнительных видов, разрезов и сечений), раскрывающих полностью формы всех элементов детали.

4. Определить размеры изображений и формат, учитывая число изображений и необходимую площадь заполнения формата.

5. Вычертить в тонких линиях изображения детали.

Рекомендуется следующий порядок выполнения:

а) на подготовленном формате тонкими линиями наносят прямоугольные рамки для каждого изображения детали; размеры рамок сохраняют пропорциональность габаритных размеров детали (длины, ширины, высоты); проводят оси симметрии и центровые линии (рис. 13.3, а);

б) вычерчивают тонкими линиями контуры детали и другие видимые линии на всех изображениях; выполняют необходимые разрезы (рис. 13.3, б). Линии невидимого контура на эскизах и чертёжах деталей, как правило, не показываются.

6. Нанести на эскизе выносные и размерные линии (рис. 13.3, в) в порядке и правилах нанесения размеров.

7. Произвести обмер детали и вписать размерные числа (рис. 13.3, г).

При измерении пользоваться мерительным инструментом: линейкой, штангенциркулем, резьбомером, кронциркулем, радиусомером и др.

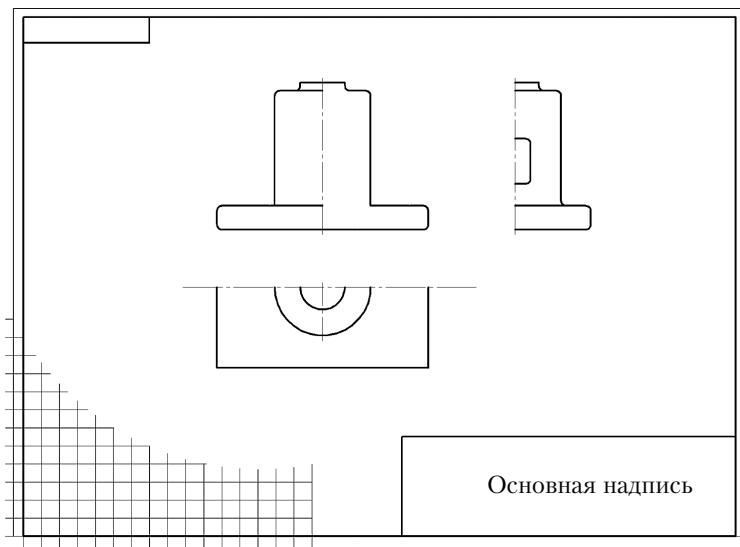
**Краткие сведения о деталях, методах их изготовления и обработки. Классификация деталей.** Все многообразие деталей разбито на классы.

**Класс** — совокупность деталей, характеризующаяся определенной формой этих деталей и общностью технологических процессов их изготовления. Выделим следующие классы (рис. 13.4).

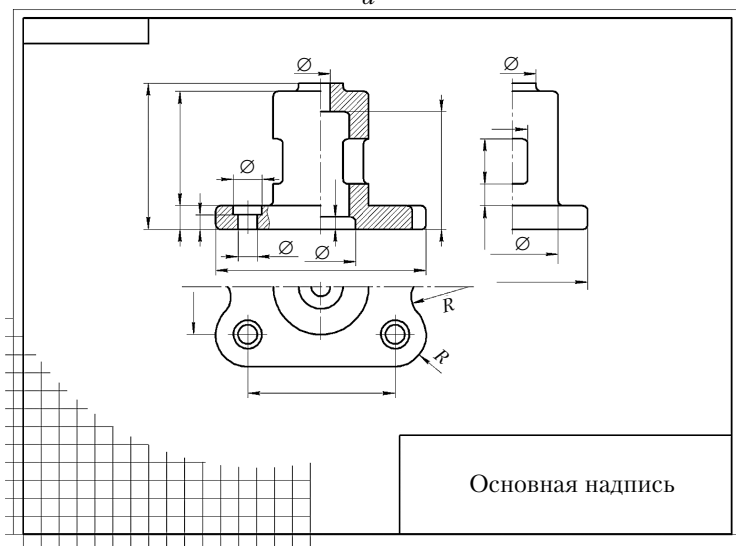
Пользуясь приведенной классификацией, можно давать наименования для эскизируемых деталей.

**Конструктивные элементы деталей.** Все детали несут на себе совокупность различных элементов, размеры, форма и изображения которых определяются ГОСТами. К числу таких элементов относятся резьбы, шлицы, шпоночные пазы, канавки для выхода инструмента, фаски, центровые отверстия, проточки, накатки,

канавки под уплотнительные кольца и др. Некоторые из этих элементов показаны на рис. 13.5.

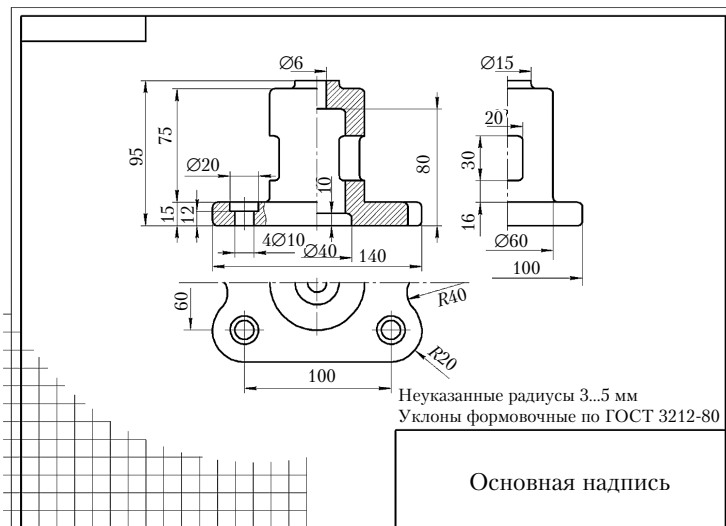


*a*

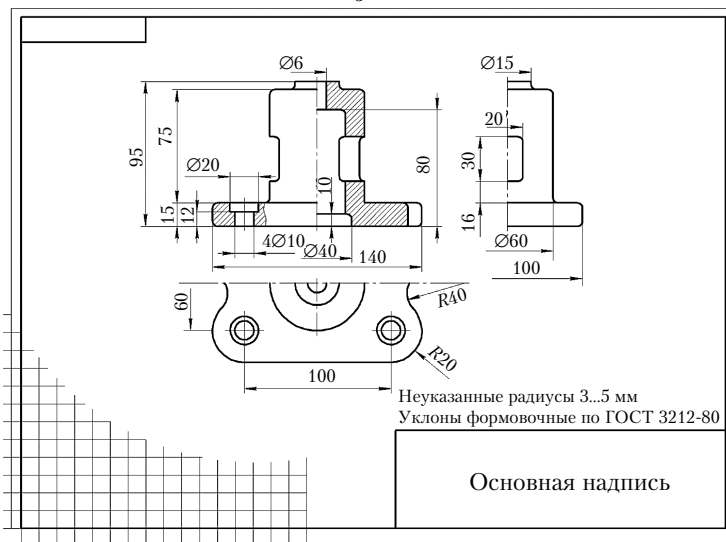


*б*

**Рис. 13.3** (начало). Порядок выполнения:  
*a* — проведение осей симметрии и центровых линий; *б* — выполнение разрезов;



б

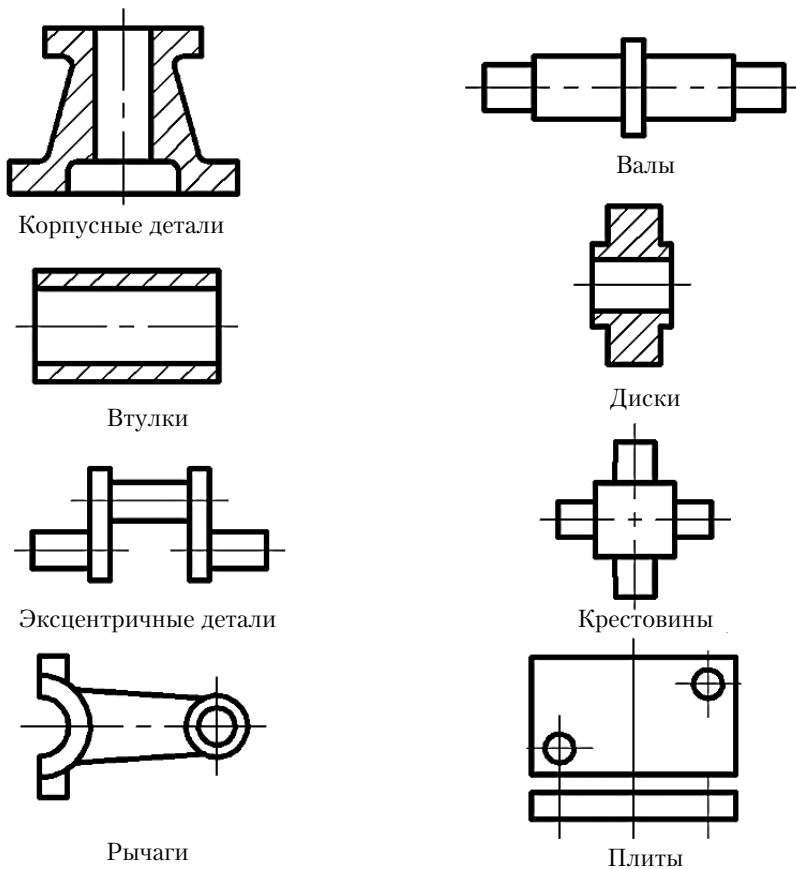


з

**Рис. 13.3** (окончание). Порядок выполнения:  
 б — нанесение выносных и размерных линий; з — обмер детали  
 и написание размерных чисел

На эскизах деталей выполнены увеличенные изображения конструктивных элементов. При составлении эскизов для выпепе-

речисленных конструктивных элементов их формы изображения и размеры следует брать в приложениях 2 и 13.



**Рис. 13.4.** Классификация

**Способы изготовления и обработки деталей.** Крупногабаритные детали, типа корпусов, крышек, шкивов, кронштейнов и прочих изготавливают литьем. Этот процесс используют и при производстве больших серий изделий не крупных, но сложных форм. Детали, отлитые в земляных формах, имеют значительную шероховатость. Детали, отлитые в металлических формах, имеют чистые поверхности и высокую точность. Чаще всего этот вид литья используют при изготовлении тонкостенных деталей либо деталей сложных форм.





**Рис. 13.5.** Конструктивные элементы деталей

Для изготовления деталей литьем используют серый чугун, углеродистую сталь обыкновенного качества, бронзу, латунь, алюминиевые сплавы.

При составлении эскизов и выборе марки материала можно использовать приведенные ГОСТы на материалы.

Также детали изготавливают обработкой металлов давлением: ковкой, штамповкой, прессованием, прокатной и др.

Различными видами обработки давлением получают рычаги, крестовины, втулки, диски, крепежные детали и др.

Для изготовления деталей обработкой давлением применяют углеродистую сталь различных марок, бронзу, латунь, алюминиевые сплавы.

Большинство деталей, заготовки которых получены литьем или штамповкой, подвергаются в дальнейшем различным видам механической обработки: точению на токарных станках, фрезерованию, строганию, сверлению, шлифованию и др. операциям. Механической обработкой достигаются заданные на чертеже качество и точность поверхностей деталей машин.

#### **Особенности выполнения эскизов деталей различных классов.**

На рис. 13.6–13.10 показаны примеры выполнения эскизов деталей различных классов. Рассмотрим особенности их выполнения.

**Выбор главного изображения.** Главным изображением является проекция детали на фронтальную плоскость проекций. Это могут быть вид, сочетание вида и разреза и только разрез. Главное изображение должно давать наиболее полное представление о форме и размерах детали. Принято, что положение детали на главном изображении соответствует ее положению при обработке. При этом поверхность, служащая технологической базой (Бт) для изготовления и измерения детали, располагается на главном изображении так, как это показано на рис. 13.6–13.9.

Для корпусных деталей (см. рис. 13.6) базой Бт служит плоскость основания (привалочная плоскость). Привалочная плоскость служит базой для отсчета размеров, для контроля точности обработки других поверхностей, используется при установке на станках и при разметке. Располагается база для подобных деталей горизонтально. Для валов базой Бт служат центровые отверстия, ось которых совпадает с осью вала. На главном виде ось вала располагается горизонтально (см. рис. 13.7).

Для втулок, шкивов, зубчатых колес и других подобных деталей базой Бт служит поверхность центрального отверстия, ось которого на главном изображении располагается горизонтально (см. рис. 13.8).

Для деталей класса «Рычаги» плоскость разъема штампов на главном изображении сохраняет горизонтальное положение (см. рис. 13.9). На главном изображении, как правило, выполняют необходимые разрезы.

Плоские детали, изготовленные из листового материала вырубкой (пробивкой в штампе), на чертежах имеют только одно изображение (см. рис. 13.10). Толщина детали отмечается буквой *S*.

**Определение необходимого числа изображений.** Для того чтобы установить, сколько и каких дополнительных изображений необходимо для раскрытия форм всех элементов детали, ее надо «расчленить» и рассмотреть каждый элемент в отдельности. Изучая каждый элемент, устанавливают необходимые для него изображения и их расположение на эскизе. В итоге определится общее число изображений для самой детали.

На эскизе корпуса (см. рис. 13.6) наличие вида сверху объясняется необходимостью показа толщины ребер жесткости и их числа, а также для выяснения расположения отверстий на фланцах. Выносной элемент «Б» показывает форму и размеры канавки для выхода инструмента при обработке.

Цилиндрические поверхности корпуса на главном изображении необходимо раскрыть полностью (знаки диаметров дополняют это изображение).

На эскизе валика (см. рис. 13.7) по главному виду (и по знакам диаметров) можно судить о форме и размерах основных цилиндрических тел детали. Таким образом, детали, которые являются поверхностями вращения (цилиндрические, конические, сферические, торовые), требуют только одного вида.

Кроме главного вида, на эскизе валика имеется одно сечение, два разреза А — А и В — В и выносной элемент Г. Одно сечение раскрывает форму и размеры квадратной призмы, выносной элемент Г показывает ширину шпоночного паза, а разрезы А — А и В — В — глубину шпоночного паза.

На эскизе штампованной детали (см. рис. 13.9) разрез на главном изображении, вид сверху и вынесенное сечение полностью раскрывают формы всех элементов детали.

Особенности чертежа штампованной детали:

а) на виде сверху из-за незначительности штамповочных уклонов контур детали показывается одной линией (у конусов — изображены окружности меньших диаметров — 45 и 30);

б) размеры уклонов и конусности, литейные радиусы на изображениях не указываются, а записываются в технических требованиях.

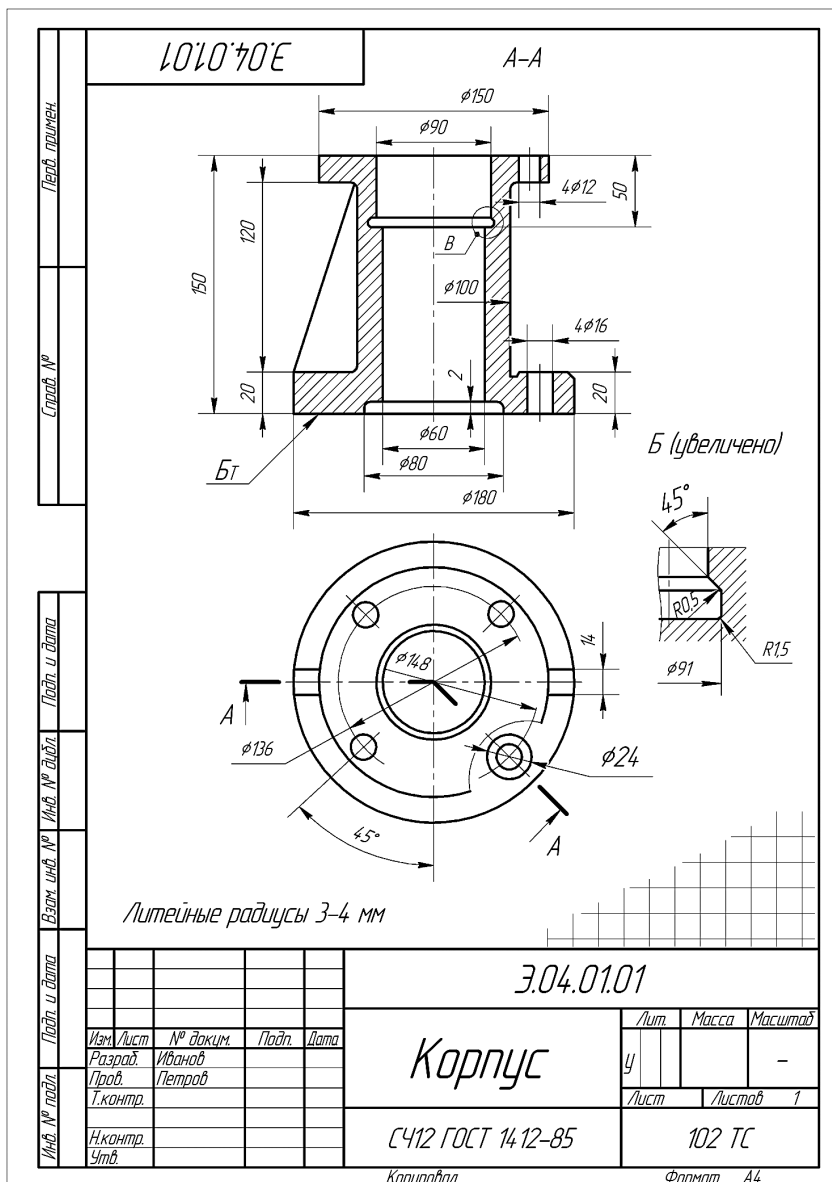


Рис. 13.6. Эскиз корпуса

**Нанесение размеров.** Нанесение размеров — один из важных этапов в выполнении эскиза детали. Правильная простановка раз-

меров обеспечивает точность изготовления, легкость контроля и возможность сборки всего изделия. Основные правила простановки размеров устанавливаются ГОСТ 2.307–63.

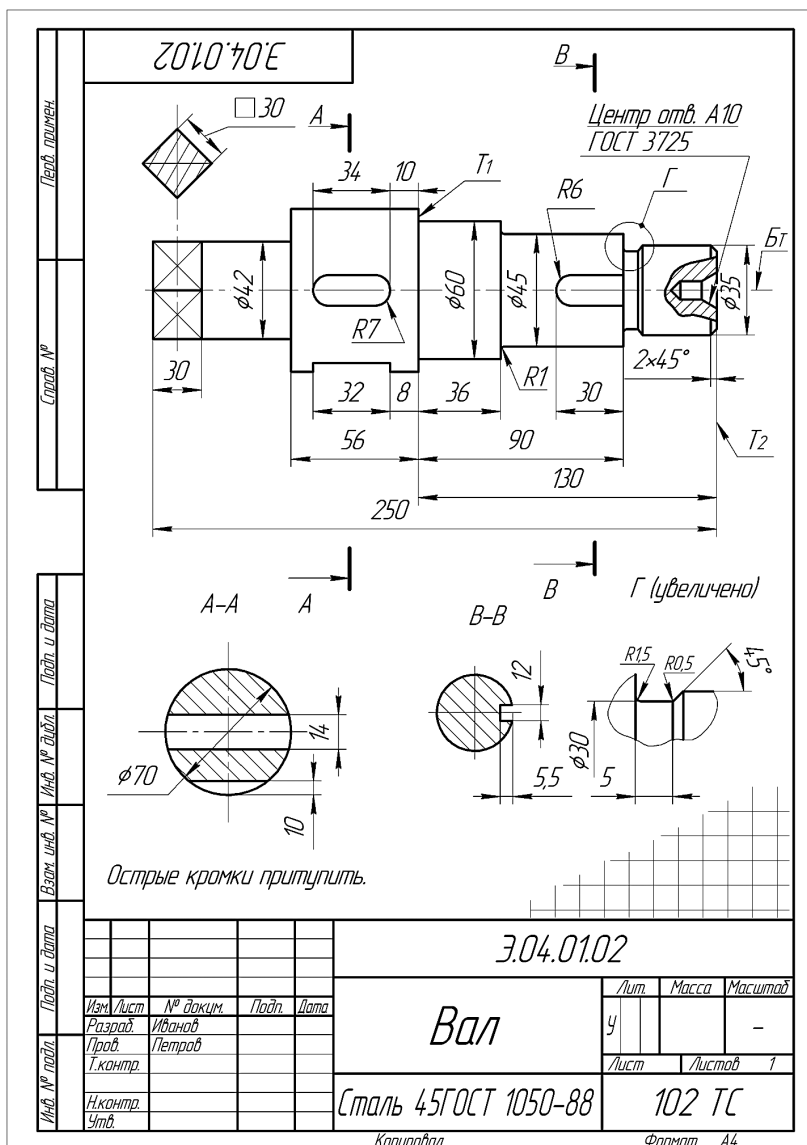
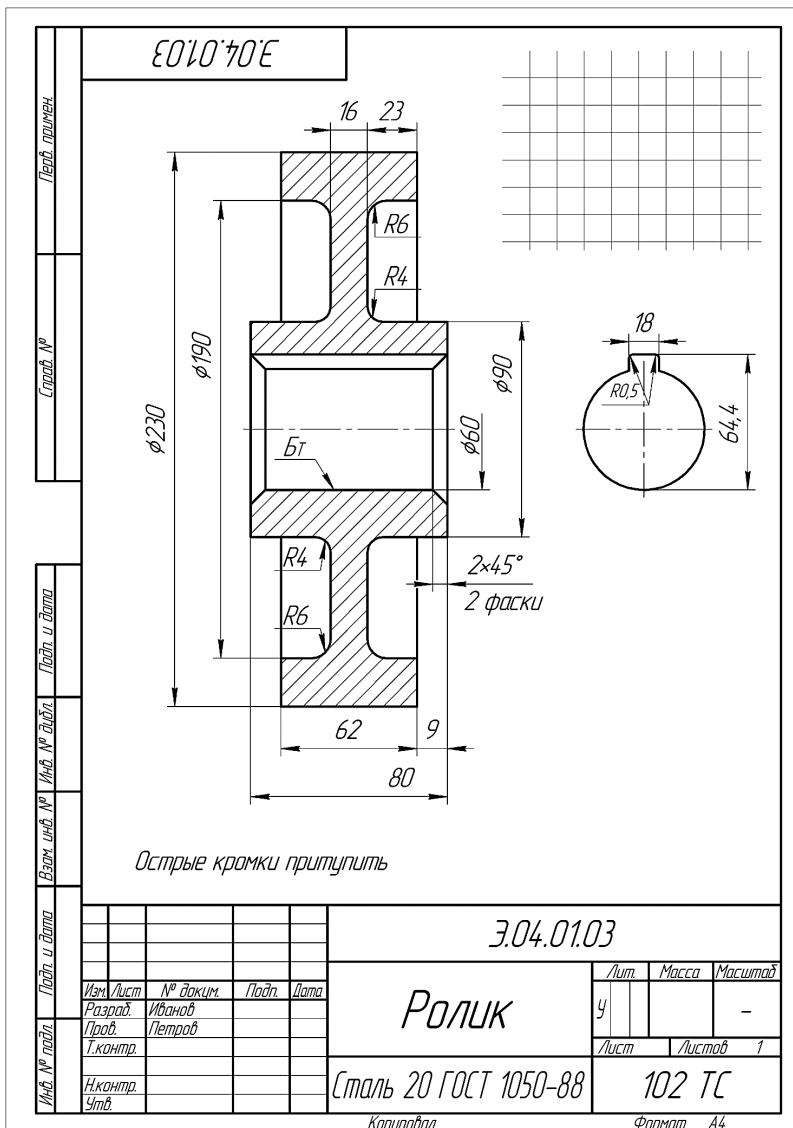


Рис. 13.7. Эскиз вала



**Рис. 13.8.** Эскиз ролика

Общие указания по нанесению размеров:

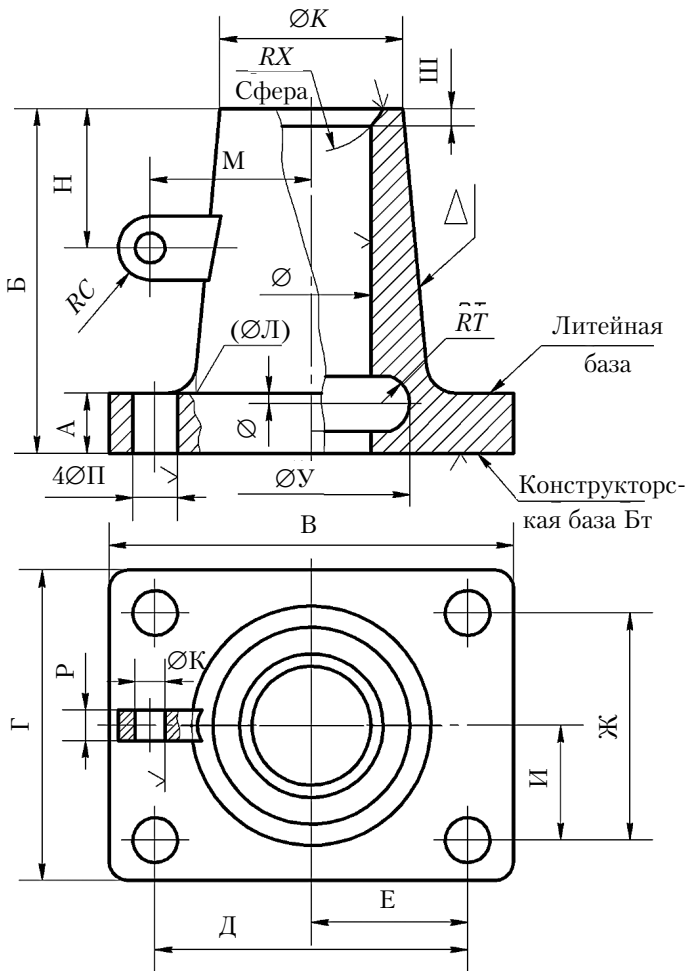
1. Числовые величины на чертежах должны быть действительными (т.е. независимо от размеров изображения численные величины равны замеренным на детали величинам).







5. Размеры желательно располагать вне контура изображения.
6. Размеры, относящиеся к какому-то элементу детали, группируют на том изображении, где этот элемент наиболее понятен.
7. При соединении части вида с частью разреза размеры внешних форм детали следует располагать со стороны вида, размеры внутренних — со стороны разреза (рис. 13.11).



**Рис. 13.11.** Соединение части вида с частью разреза

8. Размеры диаметров для поверхностей вращения проставляются на образующих этих поверхностей, но не на окружностях.

9. Простановку размеров мелких элементов детали необходимо производить на вынесенных увеличенных изображениях этих элементов (см. рис. 13.6, 13.9).

**Порядок нанесения размеров.** Перед началом простановки размеров необходимо установить базы — литейную и механической обработки.

Литейные базы используются при простановке размеров на необрабатываемые поверхности (рис. 13.11, размер Ф).

Размеры для обрабатываемых поверхностей проставляют от конструкторских баз. Конструкторские базы обеспечивают точность обработки сопрягаемых поверхностей детали и их взаимное расположение, а также точность сборки всего изделия. В качестве этих баз могут быть поверхности, торцевые плоскости, осевые линии.

Литейная и конструкторская базы обязательно связываются одним размером. (рис. 13.11, размер А). При изготовлении детали, как правило, конструктивные базы совмещают с технологическими. На корпусной детали (см. рис. 13.11) для отсчета размеров по высоте конструкторской базой является поверхность Бт (привалочная плоскость). Для размеров отверстий и их расположения за базу принимается ось.

Общий порядок простановки размеров рассмотрим на примере детали (см. рис. 13.11). На этом этапе наносятся:

- габаритные размеры: Б, В, Г;
- межосевые размеры: Д, Е, Ж, И;
- размеры отдельных элементов детали и их привязка к базам.

Деталь любой сложности состоит из простых геометрических тел, сочлененных в единое целое. Выделив эти элементы детали, проставляют их размеры.

На рис. 13.12 показана простановка необходимых размеров для основных геометрических фигур.

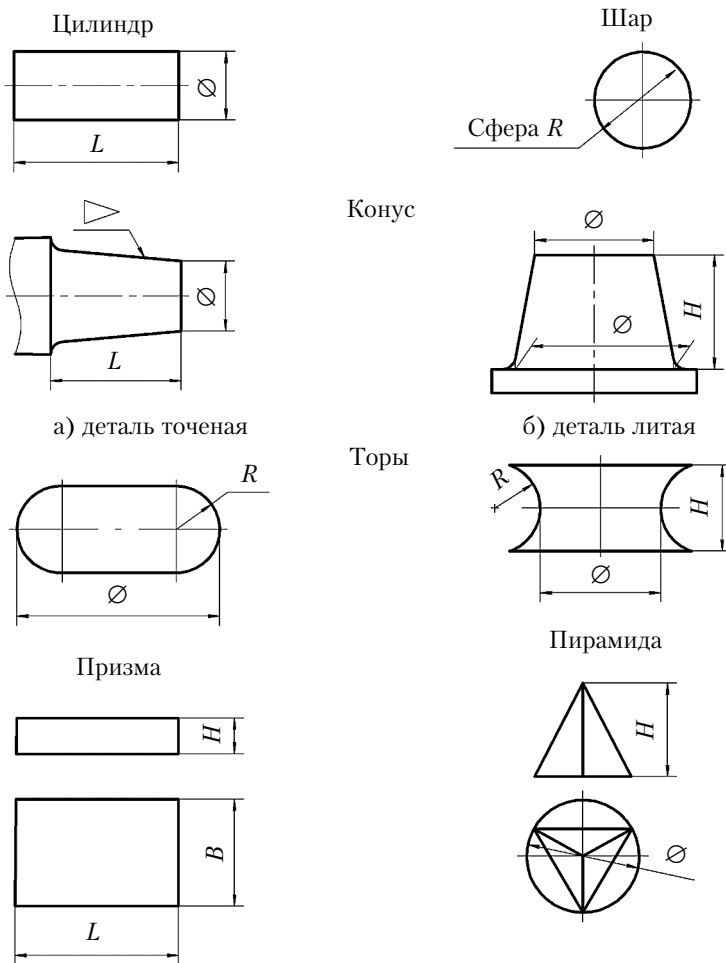
Рассмотрим на примере (см. рис. 13.11) простановку размеров отдельных элементов детали и их привязку к базам.

Деталь состоит из следующих элементов: конус, призма с отверстиями, ушко (сочетание призмы и цилиндра), внутрицилиндрическое отверстие со сферической выточкой и торовой необработанной полостью.

Размеры:

- конус — три размера:  $\varnothing К$ ,  $\varnothing Л$ , высоту (Б — А) (вместо размера  $\varnothing Л$  может быть указана конусность);
- призма — три размера: В, Г, А;
- ушко — радиус, толщину и размеры М, Н, устанавливающие расположение ушка относительно баз;

- отверстия в основании — два размера,  $\varnothing\Pi$ ,  $A$  и размеры привязки ( $D$ ,  $E$ ,  $Ж$ ,  $H$ ): сферическая выточка — один размер ( $RХ$ ) и размер глубины (привязка);
- торовая полость —  $\varnothingУ$ ,  $RT$  и привязка —  $\Phi$ . Торовая полость литая (знака шероховатости нет), поэтому она привязана к литейной базе.



**Рис. 13.12.** Простановка необходимых размеров

Рассмотрим особенности простановки размеров на валике (см. рис. 13.7).

Для валика конструкторскими базами являются:

- ось валика — для диаметров;
- торец Т 1 — для размеров по длине.

Выбор первого обработанного торца (Т 1) в качестве технологической базы объясняется тем, что в большинстве случаев такие торцы могут оказываться и конструкторскими базами. В него будет упираться сопрягаемая с валом деталь. При простановке размеров валика размер длины цилиндра  $\varnothing 42$  не проставлен. Длина этого цилиндра компенсирует неточности при обработке остальных элементов валика и определится габаритным размером.

В качестве «компенсаторов», не имеющих размеров, выбирают такие элементы детали, которые не требуют высокой точности при изготовлении и не влияют на работу всего узла и точность его сборки.

Из всего сказанного следует, что при простановке размеров деталей замыкать размерные цепи при наличии габаритных размеров нельзя.

Размеры по длине на валике проставлены так, что они определяют последовательность операций при обработке.

При простановке размеров величины литейных и штампованных радиусов и уклонов не проставляются, а оговариваются надписью на чертеже (см. рис. 13.6, 13.9).

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Какие чертежи называют эскизами?
2. Какая разница между эскизом и рабочим чертежом?
3. Что подразумевают под чтением чертежа?

## Глава 14

# ЧЕРТЕЖ ОБЩЕГО ВИДА

### 14.1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

**Изделие** — это любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии ГОСТ 2.101–66 «Виды изделий». Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) устанавливает следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплексы, комплекты.

**Деталь** — изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций, например: валик из одного куска металла, литой корпус, болт, гайка.

**Сборочная единица** — изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, склеиванием и т.п.), например: автомобиль, станок, редуктор, сварной корпус; маховичок из пластмассы с металлической арматурой. Одна сборочная единица может входить как составная часть в другую сборочную единицу, например: коробка перемены передач (сборочная единица) входит в автомобиль (сборочную единицу), маховичок с металлической арматурой входит в кран.

**Чертеж общего вида** — это документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его составных частей и поясняющий принцип работы изделия. Он относится к конструкторским документам и определяется ГОСТ 2–102-68 «Виды и комплектность конструкторских документов». Чертеж общего вида выполняется так, чтобы по нему можно было разработать все рабочие чертежи деталей и сборочных единиц.

Общий алгоритм чертежей общего вида.

1. Ознакомиться с наименованием сборочной единицы, ее назначением и принципом действия.

2. Разобрать сборочную единицу. Ознакомиться с наименованием и конструкцией деталей и сборочных единиц, выяснить взаимодействие деталей и сборочных единиц и виды их соединений.

3. Установить принадлежность каждой детали к одной из трех групп: стандартных изделий, деталей со стандартным изображением, оригинальных деталей.

К стандартным относятся детали, размеры, форма и изображение которых определяется соответствующими стандартами, например: болт с шестигранной головкой, гайка, штифт, шпонка. К стандартным сборочным единицам относятся подшипник, манжета резиновая армированная, масленка и др.

К деталям со стандартным изображением, относятся те, изображения которых на чертежах регламентируются соответствующими стандартами, например: зубчатое колесо, пружина, звездочка.

Все остальные детали, не принадлежащие к первым двум группам, относят к группе оригинальных деталей.

4. Выполнить эскизы оригинальных деталей и деталей со стандартным изображением.

При выполнении эскизов обратить внимание на соответствие размеров поверхностей, по которым происходит сопряжение деталей: диаметр отверстия втулки должен быть равен диаметру вала в случае плотного соединения между собой или несколько больше при наличии видимого зазора между ними, диаметр резьбы болта должен быть равен диаметру резьбы соединяемой с ним гайки, расстояние между центрами отверстий в крышке должно быть равно расстоянию между центрами резьбовых отверстий в корпусе и т.п.

5. Выбрать необходимое и наиболее удобные изображения, их число и размещение. Учесть место для надписей, позиций и размеров. Определить формат чертежа.

6. Выполнить чертеж общего вида в масштабе (М 1:1; М 2:1).

7. Нанести габаритные, установочные и присоединительные размеры.

8. Заполнить спецификацию, нанести номера позиций деталей.

#### **14.2. ВЫБОР ГЛАВНОГО ВИДА И ЧИСЛА ИЗОБРАЖЕНИЙ. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖА ОБЩЕГО ВИДА**

Главный вид выбирается с таким расчетом, чтобы наиболее полно показать конструкцию сборочной единицы и взаимодействие ее составных частей.

Число изображений (видов, разрезов, сечений) зависит от сложности сборочной единицы и должно быть наименьшим, но достаточным для понимания ее конструкции и конструкции составляющих ее сборочных единиц и деталей.

После выбора главного вида и установления количества изображений необходимо сделать планировку размещения изображений на подготовленном поле чертежа. При планировке решаются два вопроса: все ли изображения размещаются на поле чертежа и как

полно они заполняют его (изображения должны занимать не менее 75% площади поля чертежа). После этого можно приступать к вычерчиванию.

Рекомендуется следующий порядок выполнения чертежа общего вида:

1. Провести осевые линии и вычертить основную деталь во всех проекциях.
2. Вычертить деталь, сопряженную с основной, и т.д., в той последовательности, как производится сборка деталей.
3. Нанести штриховку деталей в разрезах и сечениях.
4. Проставить размеры.
5. Провести от изображений деталей и сборочных единиц линии-выноски с полками для простановки номеров позиций.
6. Заполнить спецификацию.
7. Проставить номера позиций над полками линий-выносок в соответствии со спецификацией.

### 14.3. РАЗМЕРЫ НА ЧЕРТЕЖЕ ОБЩЕГО ВИДА

1. На чертеже общего вида проставляются следующие размеры: *габаритные, монтажные, установочные*.

**Габаритные** — наибольшие размеры сборочной единицы в трех направлениях (длина, ширина, высота). Если составные части сборочной единицы в процессе работы перемещаются, то габаритные размеры даются с учетом крайних положений частей.

К **монтажным** относятся размеры, между осевыми линиями главных отверстий, размеры от баз до осей главных отверстий, размеры, необходимые для правильной установки и закрепления отдельных деталей, и др.

К **установочным** относятся размеры опорных оснований, расстояния между установочными болтами, штифтами и отверстиями для них, диаметры этих отверстий.

Кроме указанных размеров проставляются также размеры, по которым происходит соединение деталей путем посадки, а также условное обозначение и размер резьбы в резьбовых соединениях нестандартных деталей.

### 14.4. СПЕЦИФИКАЦИЯ

Спецификация определяет состав сборочной единицы. ГОСТ 2.108–68 устанавливает форму и порядок заполнения спецификации конструкторских документов на изделия всех отраслей промышленности.

Спецификацию составляют на отдельных листах формата А4. Каждый лист спецификации разделен на следующие графы (рис. 14.1): формат, зона, позиция, обозначение, наименование, число, примечание. На каждом листе спецификации внизу помещают основную надпись по форме 2 (ГОСТ 2.104–68) на первом (см. рис. 14.1) или по форме 2а — на последующих листах (рис. 14.2).

Допускается совмещать спецификацию с чертежом общего вида, если последний выполнен на листе формата А4.

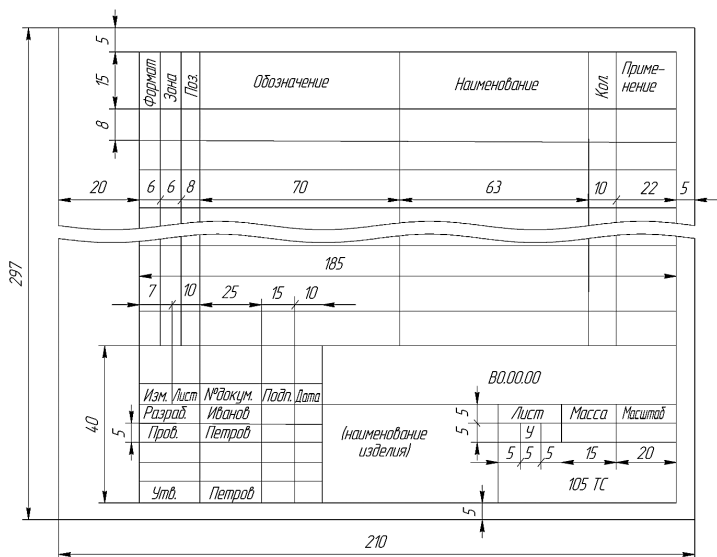


Рис. 14.1. Спецификация (первый лист)

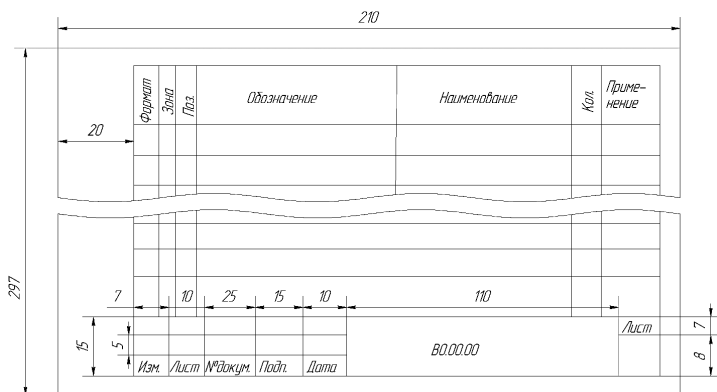


Рис. 14.2. Спецификация (последующий лист)



Спецификация сборочной единицы состоит из разделов, которые располагают в следующей последовательности:

- «*Документация*» — вносят документы, составляющие основной комплект конструкторских документов изделия, кроме его спецификации, например: чертеж общего вида, сборочный чертеж;
- «*Сборочные единицы*» и «*Детали*» — вносят сборочные единицы и детали, непосредственно входящие в специфицируемое изделие. Сборочными единицами в данном случае могут быть сварные соединения, детали из пластмассы с металлической арматурой и др. Запись производится в порядке возрастания цифр, входящих в обозначение;
- «*Стандартные изделия*» — записывают изделия, на которые есть государственные или отраслевые стандарты, например: подшипник, болт, гайка, манжета и т.п. Запись производят в алфавитном порядке наименования изделий, в пределах каждого наименования — в порядке возрастания обозначения стандартов, а в пределах каждого обозначения стандарта — в порядке возрастания основных параметров изделия;
- «*Материалы*» — записывают материалы, непосредственно входящие в сборочную единицу, в следующем порядке: металлы черные, металлы цветные, провода, пластмассы, бумажные и текстильные материалы, резиновые и кожевенные материалы и т.д.

Наименование каждого раздела указывают в виде заголовка в графе «*Наименование*» и подчеркивают тонкой линией.

Графы спецификации заполняют следующим образом:

а) в графе «*Формат*» указывают форматы документов, обозначения которых записывают в графе «*Обозначение*»; для деталей, на которые не выполнены чертежи, в графе указывают БЧ; для документов, записанных в разделы «*Стандартные изделия*» и «*Материалы*», графу не заполняют;

б) в графе «*Зона*» указывают обозначение зоны, в которой находится записываемая составная часть сборочной единицы;

в) в графе «*Поз*» указывают порядковые номера составных частей, входящих в сборочную единицу, в последовательности записи их в спецификацию, в разделе «*Документация*» номера позиций не указывают;

г) в графе «*Обозначение*» указывают: в разделе «*Документация*» — обозначение записываемых документов, в разделах «*Сборочные единицы*» и «*Детали*» — обозначения основных конструкторских документов на эти изделия; в разделах «*Стандартные изделия*» и «*Материалы*» графу не заполняют;

д) в графе «*Наименование*» указывают: в разделе «*Документация*» — наименование документов, например: чертеж общего вида; в разделах «*Сборочные единицы*» и «*Детали*» — наименование изделий в соответствии с основной надписью на основных конструкторских документах этих изделий (эскизах, рабочих чертежах); в разделе «*Стандартные изделия*» — наименование и обозначение изделий в соответствии со стандартами на эти изделия, в разделе «*Материалы*» — обозначения материалов, установленных в стандартах на эти материалы;

е) в графе «*Кол*» указывают: для составных частей сборочной единицы, записываемых в спецификацию, — число их на одну сборочную единицу; в разделе «*Материалы*» — общее количество материалов на одну сборочную единицу с указанием единиц измерения, г, кг, в разделе «*Документация*» графу не заполняют;

ж) в графе «*Примечание*» указывают дополнительные сведения.

#### 14.5. НАНЕСЕНИЕ НОМЕРОВ ПОЗИЦИЙ ДЕТАЛЕЙ

Номера позиций деталей наносят вне контура изображений и располагают на полках в один ряд. Выносные линии и полки выполняют сплошными линиями толщиной  $S/3$ — $S/2$ .

Выносные линии на изображении детали заканчиваются точкой, а с другой стороны — полкой. Полка должна быть параллельна основной надписи чертежа. Позиции деталей следует наносить на том виде, разрезе или сечении, где деталь изображена видимой (рис. 14.3).

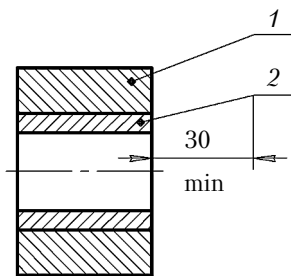


Рис. 14.3. Выносные линии

Расстояние между контуром изображений и полками должно быть одинаковым и не менее 30 мм. Размер шрифта для указания номеров позиций должен быть на один-два номера крупнее шрифта размерных чисел на данном чертеже. После присвоения номеров

оригинальным деталям проставляют номера стандартных деталей в алфавитном порядке наименования деталей. Номера позиций выносят один раз. Не допускается пересечения выносных линий между собой, а также не допускается проводить выносные линии параллельно линиям штриховки и размерным линиям. Выносные линии должны пересекать как можно меньше изображений деталей.

#### **14.6. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ ОБЩЕГО ВИДА**

На рисунках представлены чертежи общего вида некоторых изделий: «Ролик поддерживающий» (рис. 14.6), «Вентиль» (рис. 14.7) и «Насос шестеренчатый» (рис. 13.2).

Ролики, поддерживающие устанавливаются на листопркатном стане и поддерживают прокатываемые листы при подаче их к валкам и приеме с валков. Ролик приводится в движение от электродвигателя. Опорами вала 7 являются подшипники качения 14. Подшипники смазываются густой смазкой, поступающей из масленок, которые запрессовываются в отверстия крышек 3. Подшипники закрываются крышками 4 и 5, которые крепятся к корпусу 1 болтами 10. Корпус крепится болтами к раме прокатного стана.

Вентиль используют для изменения скорости движения жидкости по трубопроводу. При вращении маховика 4 винт 9 с клапаном 7 поднимаются вверх, пропуская нужное количество жидкости. Внутри корпуса 1 запрессовано седло 8 клапана 7. Конический конец клапана 7 плотно притерт к конической поверхности седла 8. На чертеже клапан изображен закрытым, жидкость через него не проходит. Для предупреждения утечки жидкости через зазоры между корпусом 1 и деталями 5, 6, 9 предусмотрено уплотнение. Оно состоит из шайбы 6 и набивки 14 (тканевой или асбестовой), которая уплотняется прижимной гайкой.

Шестеренчатый насос служит для подачи жидкости под давлением. Насос состоит из крышки 2 и корпуса 1, в котором на валы 3 и 7 насажены. Втулки 5 и 6 играют роль подшипников скольжения. Шестерни приводятся во вращение от двигателя через зубчатое колесо, установленное на ведущем валу 3. При работе насоса в момент выхода зубьев шестерен из зацепления создается разрежение, в результате чего жидкость поступает в зону всасывания и во впадинах между зубьями переносится в зону нагнетания. В зоне нагнетания она вытесняется из впадин зубьями, входящими в зацепление, при этом давление возрастает, и жидкость поступает в трубопровод.

Рассмотрим построение чертежа общего вида на примере рисунка 130. Четыре изображения дают полное представление о конструкции изделия. Главный вид выполнен с полным разрезом, на нем видна конструкция большей части деталей. Вид сверху и слева необходимы для выяснения формы корпуса и крышки 3. Сечение А — А необходимо для изображения шпоночного соединения ролика 2 с валом 7. На чертеже проставлены следующие размеры; габаритные — 250 и 380 мм, монтажные — 135, 170 и 190 мм, установочные — 272, 120 и 175 мм. Состав изделия указан в спецификации.

#### **14.7. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ ОБЩЕГО ВИДА**

При выполнении чертежей общего вида необходимо руководствоваться правилами и условностями, установленными в ГОСТ 2.118–73–2.120–73. Приведем некоторые из них:

1. Поверхности сопрягаемых деталей в местах их соприкосновения изображаются одной контурной линией, например: сопряжение вала 7 и ролика 2 на рис. 14.6.

2. Смежные детали сборочной единицы в разрезах и сечениях покрываются штриховкой в различных направлениях. Если число смежных деталей больше двух, то кроме изменения направления изменяется и расстояние между штриховыми линиями, например: детали 3, 8, 13 на рис. 14.6. Штриховка одной и той же детали на всех изображениях, выполняется в одну сторону (см. рис. 14.6).

3. Сплошные детали — оси, валы, болты, шпильки, винты, штифты, а также спицы и тонкие стенки, попадая в секущую плоскость, направленную вдоль оси или вдоль длинной стороны, штриховкой не покрываются, если они не имеют внутренних полостей, например: вал 7 и болты 10, на рис. 14.6, винт 9 и ребра стойки 2 на рис. 14.7.

4. Те соединения, которые не могут быть показаны на основных проекциях, показываются с помощью дополнительных разрезов. При этом допускается изображать в разрезах не все, что располагается за секущей плоскостью, а лишь необходимые элементы, например: разрезы А — А и Б — Б.

5. Допускается не показывать:

а) фаски, округления, проточки, углубления, выступы, накатки, насечки и другие мелкие элементы, например: у детали 7 на рис. 14.6 не показаны канавки для выхода шлифовального круга в месте соединения с подшипником 14 и роликом 2;

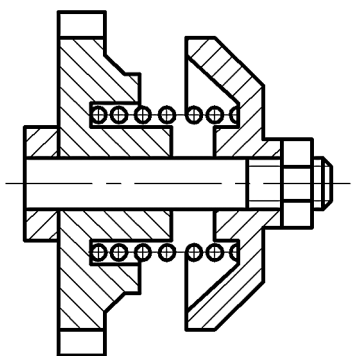
б) зазоры между стержнем и отверстием, например: не показан зазор между болтов *11* и отверстием в крышке *3* и корпусе *1* на рис. 14.6;

в) крышки, щиты, кожухи, перегородки и т.п., если необходимо показать закрытые или составные части изделия; над изображением в этом случае делает соответствующую надпись, например: «Крышка поз. 2 не показана».

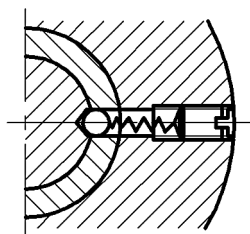
6. Допускается упрощенно вычерчивать составные части изделия, если они являются типовыми, покупными и т.п. изделиями, например: болты, гайки, подшипники (см. рис. 14.6).

7. Для упрощения изображения вида винтовой цилиндрической или конической пружины витки изображают прямыми линиями, соединяющими соответствующие участки контуров сечения витков.

На чертеже сборочной единицы допускается изображать пружину лишь сечениями ее витков. Изделия, расположенные за пружиной, считаются условно невидимыми до осевой линии сечения витков (рис. 14.4).



**Рис. 14.4.** Изображение вида пружины



**Рис. 14.5.** Изображение пружины (диаметр проволоки 2 мм)

Если диаметр проволоки пружины 2 мм, пружину допускается изображать одной линией толщиной 0,6–1,5 мм (рис. 14.5).

8. Маховички, рукоятки и др. съемные изделия допускается изображать только на главном виде (см. рис 14.7). Вторая проекция маховичка или рукоятки изображается при необходимости на свободном поле чертежа.

9. Вентили, клапаны и т.п. изделия арматуры изображаются в закрытом положении, за исключением пробковых кланов, которые принято изображать в открытом положении (см. рис. 14.7).

10. Допускается делать общую линию-выноску с вертикальным расположением номеров позиций для группы крепежных деталей (см. поз. 11 и 12 на рис. 14.6).

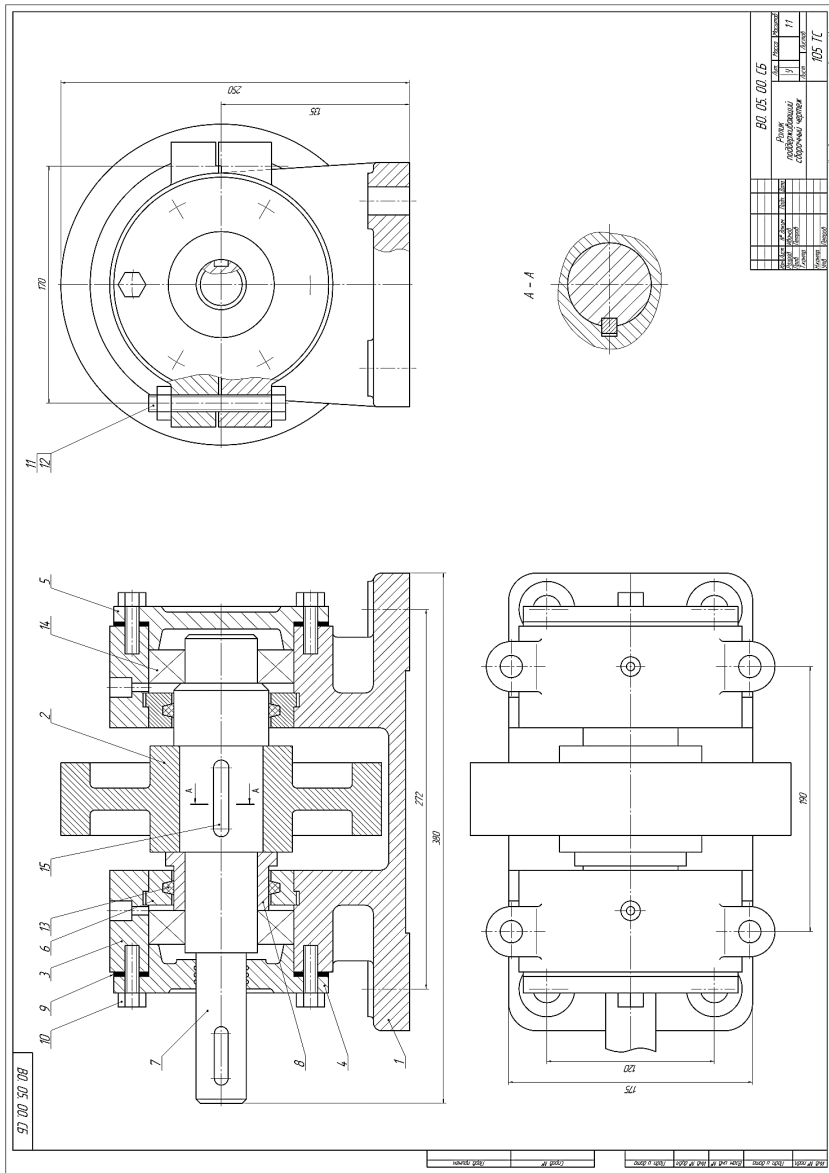


Рис. 14.6 (начало). Ролик поддерживающий

Формат Зона		Паз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме- чание
<i>Документация</i>						
A2			<i>В0. 00. 00</i>	<i>Чертеж общего вида</i>		
<i>Детали</i>						
A3		1	<i>В0. 00. 01</i>	<i>Карпус</i>	1	
A3		2	<i>В0. 00. 02</i>	<i>Ролик</i>	1	
A3		3	<i>В0. 00. 03</i>	<i>Крышка</i>	2	
A4		4	<i>В0. 00. 04</i>	<i>Крышка</i>	1	
A4		5	<i>В0. 00. 05</i>	<i>Крышка</i>	1	
A4		6	<i>В0. 00. 06</i>	<i>Диск</i>	2	
A3		7	<i>В0. 00. 07</i>	<i>Вал</i>	1	
A4		8	<i>В0. 00. 08</i>	<i>Втулка</i>	1	
A4		9	<i>В0. 00. 09</i>	<i>Прокладка</i>	2	
<i>Стандартные изделия</i>						
		10		<i>Болт М10 х 35 ГОСТ 7798-70</i>	12	
		11		<i>Болт М12 х 90 ГОСТ 7798-70</i>	4	
		12		<i>Гайка М12 ГОСТ 5915-70</i>	4	
		13		<i>Кольцо СГ93-79-7 ГОСТ 6418-67</i>	2	
		14		<i>Подшипник 211 ГОСТ 8338-57</i>	2	
		15		<i>Шпанка 18х11х55 ГОСТ 8788-68</i>	1	
<i>В0.05.00</i>						
Изм./Лист		№ докц.	Подп.	Дата		
Разработ. Проб.		Иванов Петров			Лист 91	Лист Листов 1
Н.контр. Утв.		Петров			<i>105 ТС</i>	
<i>Ролик поддерживающий</i>						
<i>Копировал</i>				<i>Формат А4</i>		

**Рис. 14.6 (окончание).** Ролик поддерживающий

11. При большом количестве крепежных изделий допускается изображать лишь один из комплектов этих изделий, считая остальные условно удаленными (см. рис. 14.6, деталь 10).





Формат Экзп Лист		Поз.	Обозначение	Наименование	Кол	Приме- чание
<i>Документация</i>						
A2			ВО. 01. 00	Чертеж общего вида		
<i>Детали</i>						
A3	1	ВО. 01. 01	Корпус		1	
A3	2	ВО. 01. 02	Стойка		1	
A4	3	ВО. 01. 03	Втулка		1	
A4	4	ВО. 01. 04	Маховичок		1	
A4	5	ВО. 01. 05	Гайка		1	
A4	6	ВО. 01. 06	Шайба		1	
A4	7	ВО. 01. 07	Клапан		1	
A4	8	ВО. 01. 08	Седло		1	
A4	9	ВО. 01. 09	Винт		1	
<i>Стандартные изделия</i>						
		10	Гайка М16 ГОСТ 5915-70		1	
		11	Винт 2М6х20 ГОСТ 1491-72		1	
		12	Винт М8х16 ГОСТ 1477-64		1	
		13	Штифт 8х36 ГОСТ 3128-70		2	
<i>Материалы</i>						
		14	Набивка асбестоплетеная АПР ГОСТ 5152-86		1	0,05 кг
<b>ВО. 05. 00</b>						
Изм. Лист		№ докум.		Подп.		Дата
Разраб. Ибанд		Лист		Лист		Листов
Пров. Петров		191		1		7
Н.контр.		<b>Вентиль</b>		<b>102 ТС</b>		
Утв. Петров						
Копировал				Формат А4		

Рис. 14.7 (окончание). Вентиль

## 14.8. ЭЛЕМЕНТЫ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ

**Соединения деталей.** Детали при сборке образуют различного рода *разъемные* и *неразъемные* соединения.

**Разъемными** называются такие соединения, которые можно разобрать без повреждения деталей. К ним относятся резьбовые, шпоночные, шлицевые, а также соединения штифтами. В разъемных соединениях детали могут быть подвижны и неподвижны друг относительно друга.

**Неразъемными** называются такие соединения, которые нельзя разобрать без повреждения деталей. К ним относятся сварные, клепаные паяные, клеевые соединения. Обозначения и изображения неразъемных соединений стандартизованы.

**Резьбовые соединения.** Кроме соединений деталей болтом и шпилькой, распространены и другие виды резьбовых соединений.

Для крепления одной детали на другой при отсутствии больших нагрузок широко используют установочные винты. Например: крепление стойки 2 на корпусе 1 установочным винтом 12 и крепление втулки 3 на стойке 2 установочным винтом 11 (см. рис. 14.7). Установочные винты стандартизованы.

**Передачи.** Передачи служат для преобразования и передачи движения. Различают следующие виды передач: зубчатые, цепные, ременные, винтовые. Зубчатые передачи составляют наиболее распространенную группу. Они служат для передачи вращательного движения между валами с параллельными (цилиндрические передачи), пересекающимися (конические передачи) и скрещивающимися (червячные, гипоидные передачи) осями, а также для преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот. Например, зацепление двух зубчатых колес 3.

Цепные и ременные передачи широко применяются в сельскохозяйственных машинах для передачи вращательного движения между валами, находящимися на значительном расстоянии друг от друга. Винтовые передачи (передача винт-гайка) широко применяются в металлорежущих станках (ходовые винты) и в домкратах (грузовые винты). Примером винтовой передачи с ходовым винтом может служить соединение винта 9 с втулкой 3 на рис. 14.7.

Основные параметры передач и изображение деталей передач стандартизованы.

**Подшипники.** Подшипники являются опорами вращающихся или качающихся деталей. Различают подшипники качения и подшипники скольжения. Подшипники качения состоят из наружного и внутреннего колец и находящимися между ними телами качения (шарики, ролики). Все подшипники качения являются стандар-

тными изделиями. На чертежах общего вида подшипники изображаются упрощенно по ГОСТ 2.420–69. Например, опоры вала 7 на рис. 14.6.

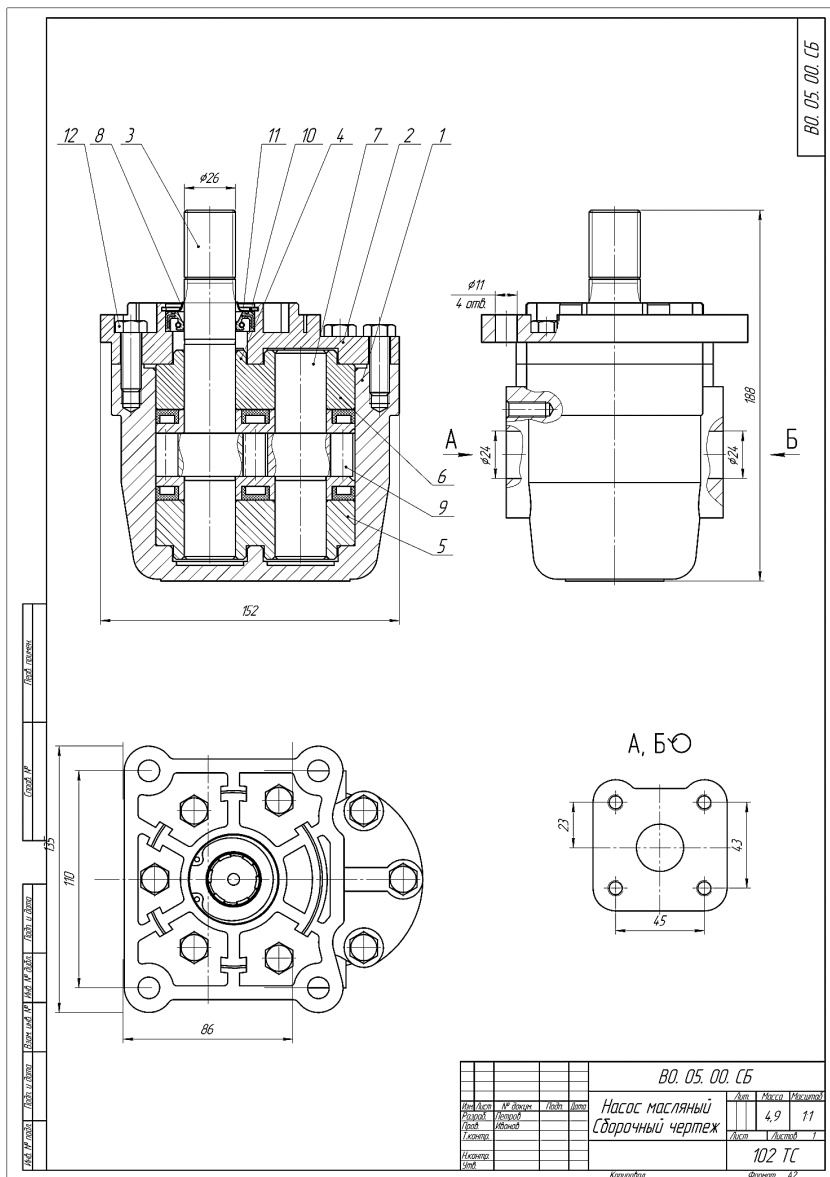


Рис. 14.8. Насос масляный. Сборочный чертёж

Подшипники скольжения представляют собой втулки, изготовленные из антифрикционного материала (бронзы, баббита, капрона), в которых вращаются детали. Например, втулка 8 на рис. 14.6. Уплотнительные устройства. Уплотнительные устройства служат для уплотнения зазоров между деталями с целью предохранения вытекания жидкости, смазки наружу, а также проникновения пыли и грязи извне. Различают уплотнительные устройства для неподвижных и подвижных соединений.

Для уплотнения неподвижных соединений широко применяют прокладки из различных материалов: резины, картона, свинца, меди, алюминия, асбеста и др. Например, прокладки 9 между крышками 4 и 5 и корпусом 1 на рис. 14.6. В вентилях и кранах для уплотнения применяют набивку (тканевую или асбестовую), например, набивка 14 на рис. 14.6. Для уплотнения гидравлических и пневматических устройств применяют кольца резиновые круглого сечения, размеры которых стандартизованы.

Для уплотнения подвижных соединений применяют кольца сальниковые войлочные, канавочные уплотнения, манжеты резиновые армированные и др. виды уплотнительных устройств. Например, кольца сальниковые 13, уплотняющие вал 7 (см. рис. 14.6), канавочные уплотнения между крышкой 4 и валом 7 (см. рис. 14.6).

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Объясните, что такое чертеж общего вида.
2. Что подразумевают под чтением чертежа общего вида?
3. Каковы правила нанесения номеров позиций на сборочных чертежах?
4. Как штрихуются граничные детали на сборочных чертежах в разрезе?
5. Перечислите, какие размеры наносят на сборочных чертежах.

# Глава 15

## ЧЕРТЕЖИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

### 15.1. РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ ДЕТАЛЕЙ

Чертеж детали содержит изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля. Чертеж детали отличается от эскиза тем, что выполняется с применением чертежных инструментов, с соблюдением масштаба и на стандартных форматах (рис. 15.1).

При выполнении чертежей и эскизов используют шесть основных видов и дополнительные.

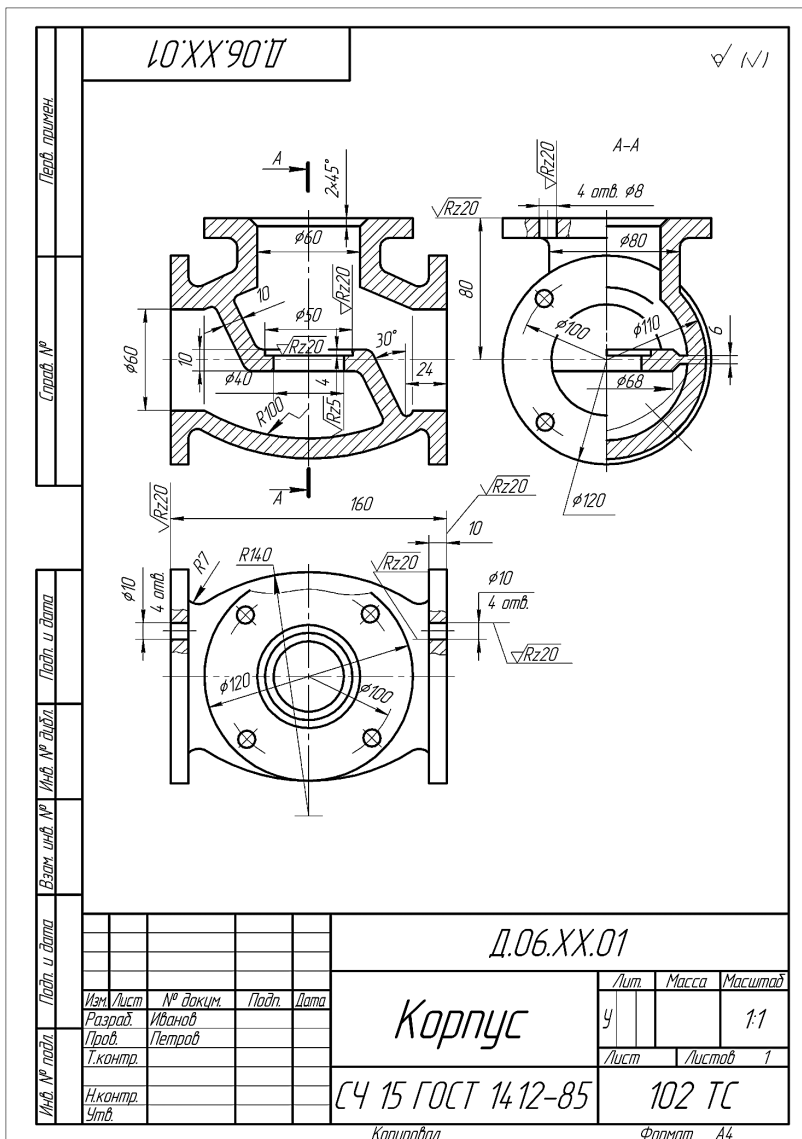
**Главный вид** изображает деталь в таком положении, которое она занимает в механизме во время работы. Те детали, которые могут занимать различное положение в механизме, изображаются в положении, в котором заготовка подвергается обработке на станке в процессе изготовления. Например, детали типа вала изображаются в горизонтальном положении.

**Форма детали** рассматривается конструктором как сочетание простейших геометрических тел (цилиндра, призмы и т.д.). Пересекающиеся стенки литых деталей должны иметь плавные переходы с отсутствием на них скопления металла или ослабленных мест. Внутренние и наружные поверхности литых деталей в большинстве случаев должны быть параллельны. Для отверстий выполняются площадки или приливы, поверхность которых должна быть перпендикулярна оси отверстия. Размер опорной поверхности под головку болта или гайки составляет полтора диаметра болта.

**Размеры** наносятся на чертежах с применением размерных цепей и от общих баз. Базы разделяются на конструктивные и технологические.

**Конструктивная база** — поверхность, линия или точка, по отношению к которой определяется положение других поверхностей данной детали при конструировании. **Технологическая база** — поверхность, линия или точка, относительно которой удобно определять положение других поверхностей этой детали при обработке.

Следует стремиться к тому, чтобы конструктивные и технологические базы совпадали. Обычно чертежи деталей выполняются по существующим деталям или сборочному чертежу. Выполнение чертежей по сборочному чертежу называют **детализованием**.



**Рис. 15.1.** Насос шестеренчатый

## 15.2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Требования к рабочим чертежам деталей и порядок выполнения учебных рабочих чертежей.

**Рабочий чертеж детали** — документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля (ГОСТ 2.102–68). Он выполняется на стандартном формате, в масштабе, с использованием чертежных инструментов.

Чертеж детали должен содержать оптимальное число изображений — видов, разрезов, сечений. На чертеже должны быть нанесены все необходимые размеры, указана марка материала детали.

Рабочий чертеж каждой детали оформляется как отдельный документ, рекомендуется выполнять в такой последовательности:

- определить число изображений — видов, разрезов, сечений;
- выбрать масштаб изображений и формат чертежа;
- вычертить в тонких линиях все изображения детали;
- определить обработанные и необработанные поверхности;
- определить базы (конструкторские и технологические) и нанести все необходимые размеры;
- согласовать чертеж с преподавателем;
- обвести чертеж.

Кроме того, учебным заданием предусмотрено перед вычерчиванием рабочих чертежей выполнить следующее:

1. Распределить все детали, входящие в изделие, по трем группам: детали стандартные, детали со стандартным изображением, детали оригинальные.

Стандартные детали в спецификации выделены особо. Это крепежные детали, муфты и т.п. Рабочие чертежи на такие детали не составляются, а необходимые сведения о них можно узнать из соответствующих стандартов и спецификаций.

Детали, у которых стандартными являются изображения основных элементов и расположение на них размеров, относятся к деталям со стандартным изображением. Это пружины, зубчатые колеса, червяки, звездочки цепных передач и т.п.

К оригинальным относятся все остальные детали, имеющие форму, отличающуюся от формы деталей предыдущих групп.

**Выбор изображений.** Для всех оригинальных деталей необходимо определить оптимальное число изображений (видов, разрезов, сечений) с учетом правил, установленных ГОСТ 2.305–68. Число изображений должно быть минимальным, но достаточным для выявления формы и размеров деталей. При этом не следует копировать полностью все изображения детали, имеющиеся на чертеже общего вида.

Особое внимание следует уделять выбору главного изображения детали, которое должно давать наиболее полное представление о форме и размерах детали. Выбор главного изображения обычно

не связывается с положением детали в изделии и на чертеже общего вида.

При выборе главного изображения следует руководствоваться удобством использования чертежа в производстве, т.е. располагать деталь на главном изображении необходимо в соответствии с ее положением в процессе изготовления.

Рассмотрим некоторые характерные случаи расположения изображений детали на рабочем чертеже.

Корпусные детали часто изготавливаются литьем, а затем подвергаются нескольким видам механической обработки, например, точению, сверлению, фрезерованию и т.п. Опорные плоскости корпусных деталей на главном изображении обычно изображаются горизонтально.

**Выбор масштаба и формата.** Масштаб изображения выбирается в соответствии с ГОСТ 2.302–68. Предпочтительно применять М1:1, однако необходимо помнить о том, что чертеж должен быть достаточно крупным для удобства его чтения и нанесения размеров. Отдельные мелкие части детали целесообразно показывать в виде выносных элементов, выполненных в большем масштабе. Масштабы выносных элементов должны быть также стандартными. Чертеж каждой детали выполняется на отдельном формате. Формат чертежа выбирается по ГОСТ 2.301–68 в зависимости от числа проекций, размеров, масштаба изображений.

### 15.3. НАНЕСЕНИЕ РАЗМЕРОВ

**Общие указания по нанесению размеров.** Число размеров и их расположение на чертеже должны быть такими, чтобы полностью определялась геометрия детали, обеспечивалось правильное ее взаимодействие с другими деталями изделия, учитывалась технология изготовления.

Правила нанесения размеров установлены ГОСТ 2.307–68.

При нанесении размеров необходимо иметь в виду следующее:

1. Сопрягаемые поверхности разных деталей должны иметь одинаковые номинальные размеры.

2. Размеры, имеющиеся на чертеже общего вида, непосредственно переносятся на рабочий чертеж детали. Остальные определяются измерением детали на чертеже общего вида (с учетом масштаба) и округляются до ближайших стандартных значений.

3. Размеры типовых конструктивных элементов деталей (фасок, проточек, технологических элементов резьбы и т.п.) определяются не по чертежу общего вида (на котором эти элементы допускается



не показывать), а по соответствующим стандартам на их изображения и размеры.

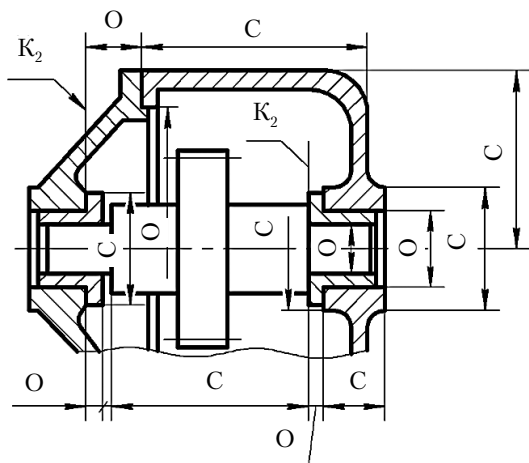
4. Для деталей со стандартным изображением расположение размеров не выбирается. Оно должно быть таким, как указано на типовых чертежах этих деталей.

Все размеры разделяют на две группы: основные (сопряженные) и свободные.

Основные размеры определяют положение детали в собранном изделии.

Они должны обеспечивать:

- размещение детали в изделии;
- точность взаимодействия деталей в собранном изделии;
- взаимозаменяемость деталей.



**Рис. 15.2.** Основные и свободные размеры

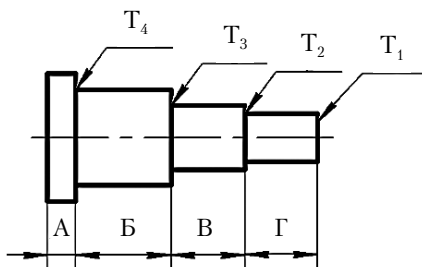
Свободные размеры определяют положение поверхностей детали, на соприкасающихся с поверхностями других деталей. Эти размеры по сравнению с основными обычно выполняются с меньшей точностью.

На рис. 15.2 в качестве примера показаны некоторые основные (O) и свободные (C) размеры. Размеры обычно проставляются от конструктивных (K) и технологических (T) баз.

**Методы нанесения размеров.** Применяют три метода нанесения размеров на деталях: цепной, координатный и комбинированный.

При использовании цепного метода размеры наносятся последовательно один за другим (рис. 15.3).

При такой простановке размеров каждая ступень валика обрабатывается самостоятельно, и технологическая база меняет свое положение —  $T_1, T_2, T_3, T_4$ .



**Рис. 15.3.** Цепной метод

При этом точность размера любой ступени (А, Б, В, Г) зависит только от погрешности выполнения этой ступени, а погрешности выполнения других ступеней не влияют на ее точность. Это является основным достоинством цепного метода. Однако ошибка суммарного размера состоит из суммы ошибок всех размеров. Например, погрешность габаритного размера складывается из погрешностей размеров А, Б, В, Г. Это является главным недостатком цепного метода. Такой метод часто применяется при простановке размеров на межцентровые расстояния, на многоступенчатых валиках, если требуется получить очень точные размеры длин ступеней.

При использовании координатного метода размеры проставляются от одной заранее выбранной базы. При этом не происходит суммирования размеров и накопления ошибок в расположении любого элемента относительно базы, что является большим преимуществом метода. Координатный метод применяют тогда, когда необходимо фиксировать ряд размеров от одной выбранной базы.

На рис. 15.4 показан пример нанесения размеров координатным методом. Недостатком этого метода является то, что погрешность в размере любой ступени (кроме расположенной около базы) складывается из двух погрешностей. Например, точность выполнения длины второй справа ступени, определяемой разностью размеров Б и А, зависит от точности выполнения обоих размеров.

Комбинированный метод нанесения размеров представляет собой сочетание цепного и координатного методов. При этом часть размеров проставляется цепным, а часть — координатным методом.

Комбинированный метод нанесения размеров используют тогда, когда хотят получить меньшие ошибки в ответственных размерах детали.

На рис. 15.5 размеры нанесены комбинированным методом: размеры А, Б — координатным — от базы  $T_1$ , а размеры В проставлены цепным методом по отношению к размеру Б, что обеспечивает большую точность изготовления длины ступени, определяемой размером В. Комбинированный метод наиболее распространен на практике.

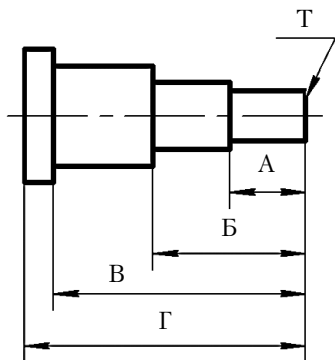


Рис. 15.4. Нанесение размеров координатным методом

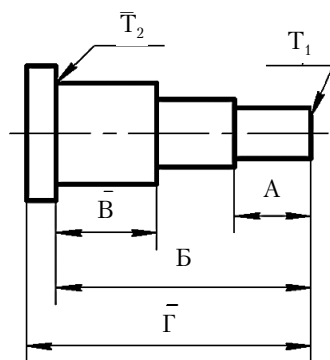


Рис. 15.5. Нанесение размеров комбинированным методом

### 15.3.1. Изображение корпусных деталей

**Корпусные детали**, как правило, самые крупные и сложные детали изделия. Обычно они изготавливаются литьем с последующей механической обработкой. На главном изображении показываются так, чтобы их опорная поверхность занимала горизонтальное положение. Обычно она же является базой для проставления размеров.

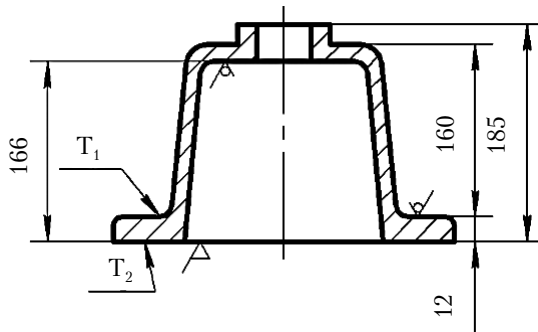
При нанесении размеров литых деталей целесообразно руководствоваться следующими правилами.

1. Необрабатываемые поверхности необходимо привязывать к литейной (черновой) базе. **Литейной (черновой) базой** называется необработанная поверхность или ось, от которой производят первую операцию механической обработки.

На рис. 15.6 необрабатываемые поверхности через размер 160 привязаны к литейной базе  $T_1$ .

2. Исходную базу механической обработки следует привязывать к литейной базе, при этом следует помнить предписание ГОСТ 3.307–68 о том, что на рабочем чертеже может быть не более одного размера по каждому координатному направлению, связывающему механически обрабатываемые поверхности с поверхностями, не подвергающимися механической обработке. Эта поверхность

привязана размером 12 к литейной базе  $T_2$ . Примером корпусной детали является изображение на рис. 15.1.

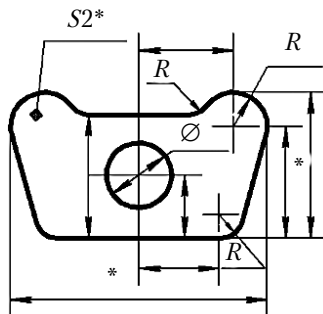


**Рис. 15.6.** Привязка к литейной базе

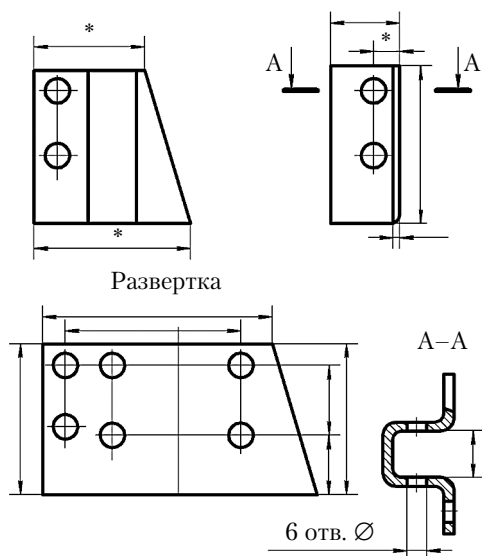
### 15.3.2. Детали из листового материала

*Детали из листового материала* получают вырезанием ножницами, резцом или штампом из листа. Они могут оставаться плоскими (прокладки, крышки и т.п.) или приобрести объемную форму после обработки на гибочных станках или штампах (фасонные детали).

Плоские детали изображают, как правило, в одной проекции, определяющей контур детали (рис. 15.7). Число изображений фасонной детали определяется ее сложностью и должно быть достаточным для выявления формы детали. Иногда для фасонных деталей сложной формы целесообразно привести изображение развертки-заготовки. Пример рабочего чертежа фасонной детали приведен на рис. 15.8.



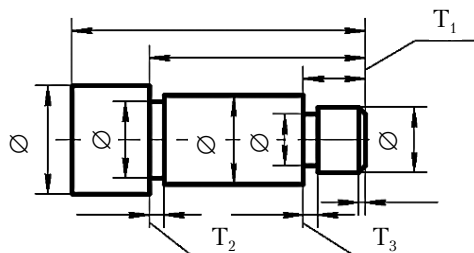
**Рис. 15.7.** Изображение в одной проекции



**Рис. 15.8.** Рабочий чертеж фасонной детали (звездочкой \* обозначены размеры для справок)

### 15.3.3. Изображение валов, тел вращения и зубчатых соединений

Примером детали, имеющей форму *тела вращения*, является трехступенчатый вал, изображенный на рис. 15.9.

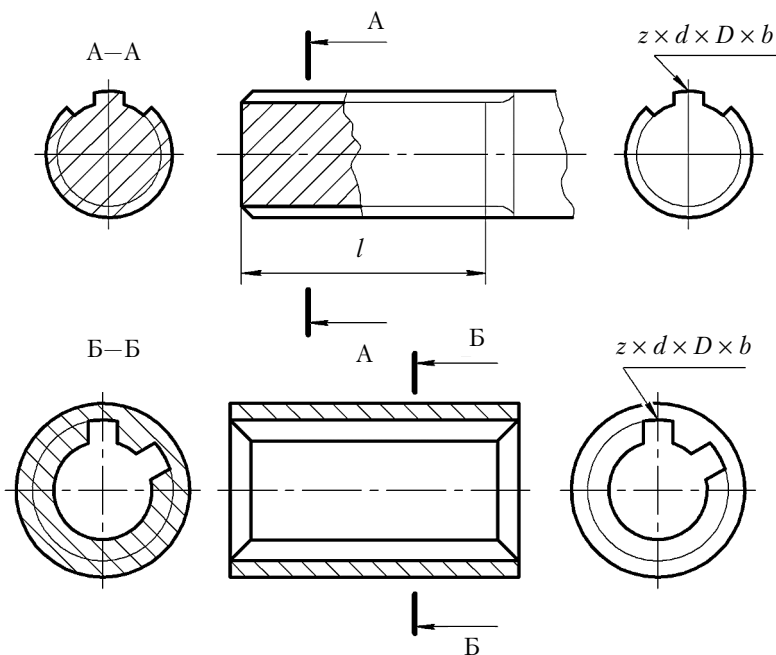


**Рис. 15.9.** Трехступенчатый вал

Вал устанавливается на станке в центрах и обрабатывается с одной установки. Так как шпиндель станка расположен слева, то правый торец вала обрабатывается первым и является технологической базой  $T_1$ . От этого торца и даны координатным методом размеры длин ступеней вала. Канавки выполнены от баз  $T_2$  и  $T_3$ .







**Рис. 15.12.** Упрощенное изображение шлицевого вала (а), втулки (б) и шлицевого соединения (в)

#### 15.4. ЧЕРТЕЖИ ДЕТАЛЕЙ СО СТАНДАРТНЫМИ ИЗОБРАЖЕНИЯМИ

В машиностроении широкое применение находят детали, форма которых сходна, но они отличаются по размерам. Размеры этих деталей не регламентированы стандартами, но для многих этих деталей установлены стандарты на изображения. В этих стандартах указываются и правила нанесения размеров на изображениях подобных деталей, например ГОСТ 2.401–68, ГОСТ 2.427–75).

Полностью регламентированы стандартами изображения пружин, а также деталей, форма и расположение всех элементов которых полностью совпадают с формами и расположением элементов стандартных деталей, за исключением одного или нескольких размеров.

Зубчатые колеса относятся к деталям, у которых стандартными являются изображения основных элементов и нанесение на них размеров.



## 15.5. ЧЕРТЕЖИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС. ЗУБЧАТЫЕ И ЧЕРВЯЧНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

**Зубчатые колеса** — детали, которые служат для передачи движения с одного вала на другой или с вала на рейку.

Для передачи вращения *между параллельно расположенными валами* применяются цилиндрические зубчатые колеса с внешним (рис. 15.13, а) или внутренним (рис. 15.14) зацеплением. Для передачи вращения *с геометрически пересекающимся расположением осей валов* применяются конические зубчатые колеса (рис. 15.13, б). Для передачи вращения *между геометрически перекрещивающимся расположением осей валов* применяются червячные колеса (рис. 15.15) и червяки (рис. 15.16, 15.17). Для преобразования *вращательного движения в прямолинейное или наоборот* применяются цилиндрические зубчатые колеса и рейки (рис. 15.18).

В зацеплении двух зубчатых колес меньшее из них обычно является ведомым, его называют **шестерней**. Зубчатое колесо, приводимое во вращение каким-либо двигателем, называют **ведущим**, а колесо, сообщающее движение приводимой детали, — **ведомым**.

**Основные параметры зубчатых колес.** **Окружность выступов**  $d_a$  — окружность, проходящая через вершины зубьев.

**Окружность впадин**  $d_f$  — окружность, проходящая через основание зубьев.

**Делительная окружность**  $d$  — окружность, на которой шаг и угол зацепления зубчатого колеса соответственно равны шагу и углу зацепления инструмента.

**Начальная окружность**  $d_0$  — воображаемая окружность сопряженной пары зубчатых колес.

В большинстве случаев диаметры начальных и делительных окружностей совпадают.

Начальная окружность делит высоту **зуба** на **головку** и **ножку**. При делении диаметра делительной окружности, мм, на число зубьев колеса получается основной параметр колеса, который называется **модулем**. Модуль является величиной стандартной, при этом ГОСТ 9563–60 устанавливает два ряда его чисел, выраженных в миллиметрах (табл. 15.1).

При выборе числа модуля первый ряд предпочитается второму.

Зубчатые и червячные механизмы служат для равномерной передачи вращения между двумя валами, оси которых параллельны, пересекаются или скрещиваются.

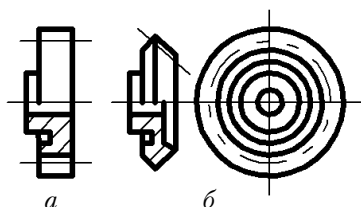
Передача вращения от одного вала к другому осуществляется посредством зацепления зубьев двух сопряженных зубчатых колес

или червячной пары. В большинстве передач угол между пересекающимися или скрещивающимися осями валов равен  $90^\circ$ .

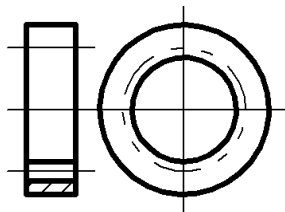
Таблица 15.1

Модули

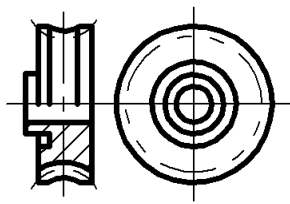
Пер- вый ряд	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50
Вто- рой ряд	1,125	1,375	1,75	2,25	2,75	3,5	4,5	5,5	7	9	11	14	18	22	28	36	45	55



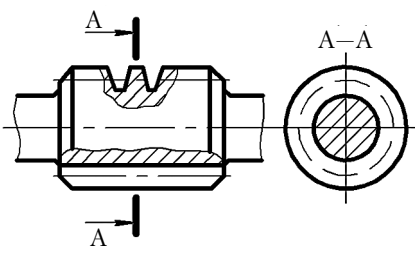
**Рис. 15.13.** Зубчатые колеса:  
а — с внешним зацеплением;  
б — коническое зубчатое колесо



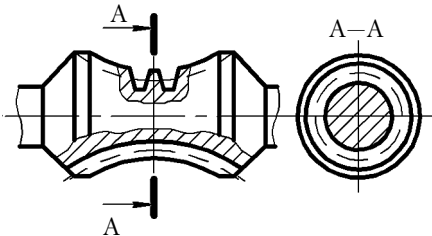
**Рис. 15.14.** Внутреннее зацепление



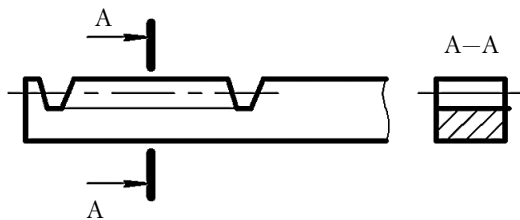
**Рис. 15.15.** Червячное колесо



**Рис. 15.16.** Червяк цилиндрический

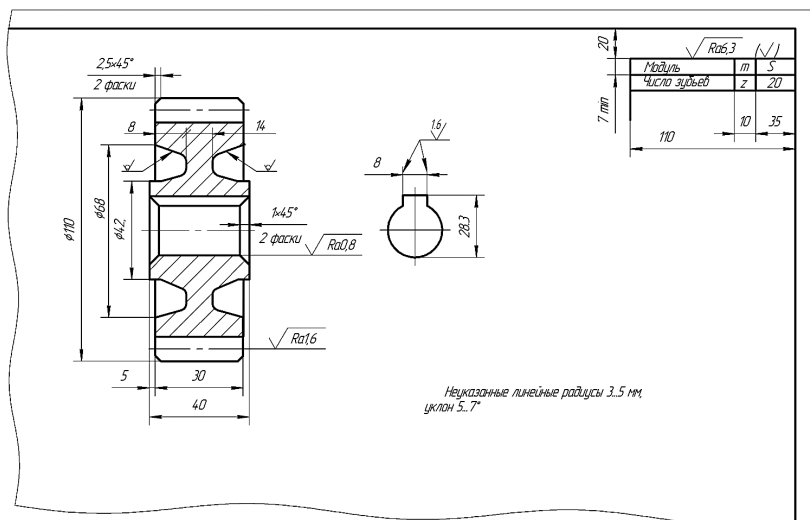


**Рис. 15.18.** Цилиндрические зубчатые колеса и рейки



**Рис. 15.17.** Червяк глобоидный

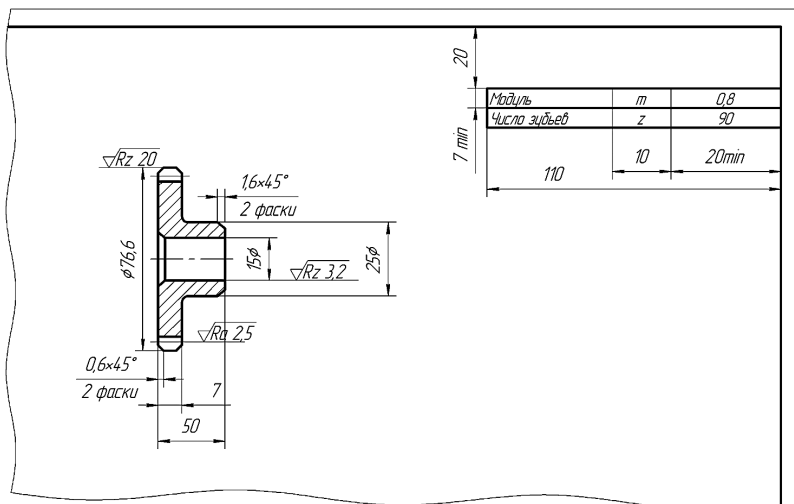
Окружности и образующие поверхностей впадин зубьев в разрезах и сечениях показывают на всем протяжении сплошными толстыми основными линиями. На видах цилиндрических зубчатых колес допускается показывать окружности и образующие поверхностей впадин зубьев, при этом их наносят сплошными тонкими линиями (рис. 15.19, 15.20).



**Рис. 15.19.** Вид цилиндрических зубчатых колес

Если необходимо показать направление зубьев зубчатого колеса, рейки или червяка, то на изображение поверхности зубьев или витков наносятся вблизи от оси три сплошные тонкие линии с соответствующим наклоном (рис. 15.21).

Цилиндрические колеса с внешним зацеплением изображаются на сборочных чертежах так, как показано на рис. 15.13, а и 15.21.

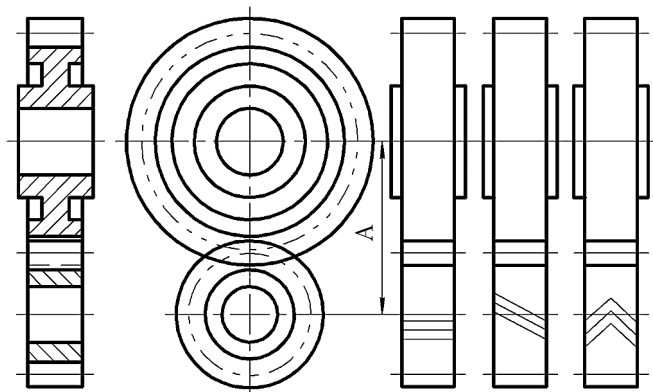


**Рис. 15.20.** Прямозубое цилиндрическое колесо со стандартным исходным контуром

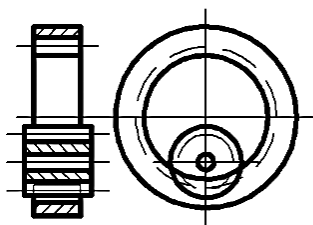
Цилиндрические колеса с внутренним зацеплением изображаются так, как показано на рис. 15.22. Размеры  $d$ ,  $h$ ,  $h_a$ ,  $h_f$  те же, что и при внешнем зацеплении, но

$$d = m \cdot z,$$

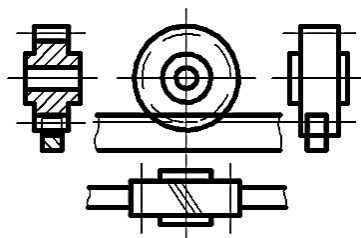
где  $d$  — наружный диаметр;  $m$  — модуль;  $z$  — число зубьев.



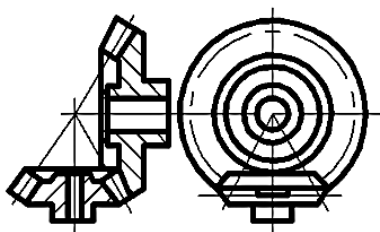
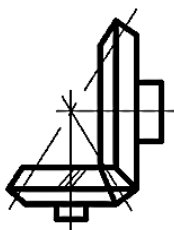
**Рис. 15.21.** Условное изображение зубчатых колес (цилиндрические колеса с внешним зацеплением)



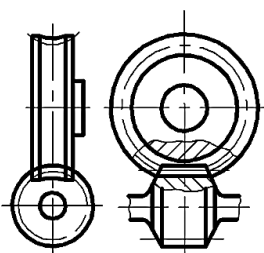
**Рис. 15.22.** Цилиндрическое колесо с внутренним зацеплением



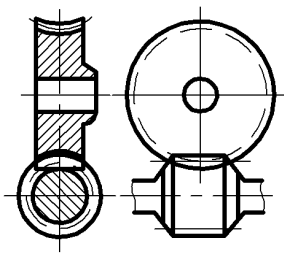
**Рис. 15.23.** Реечное зацепление



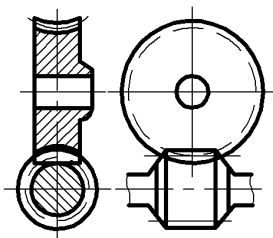
**Рис. 15.24.** Конические колеса



**Рис. 15.25.** Червячная передача



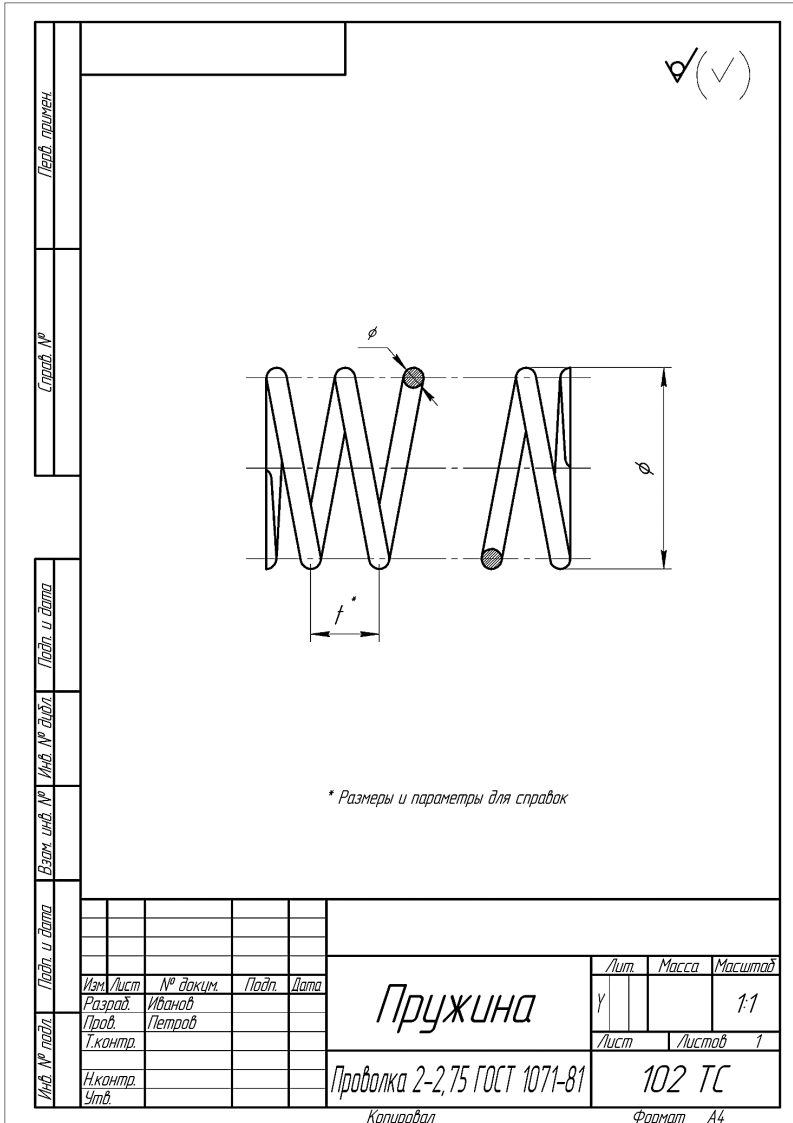
**Рис. 15.26.** Изображение червячной передачи



**Рис. 15.27.** Червячная передача

## 15.6. ЧЕРТЕЖИ ПРУЖИН

**Пружина** — упругая деталь, которая деформируется под действием внешних сил, а при восстановлении своей формы почти с такой же силой действует в обратном направлении.



**Рис. 15.28.** Пружина цилиндрическая (сжатия)

По форме пружины бывают **цилиндрические, конические, тарельчатые, пластинчатые, спиральные** и др. В зависимости от характера воздействия рабочих нагрузок пружины конструктивно приспособлены для восприятия сжимающих, растягивающих, крутящих, изгибающих нагрузок.

Цилиндрические пружины изображаются по ГОСТ 2.401–68. На рабочих чертежах пружины изображаются в горизонтальном положении и с правой навивкой. С левой навивкой разрешается изображать пружины только на сборочных чертежах (при необходимости). Средние витки пружины (если их больше четырех) не изображаются. С обоих концов вычерчивается только по одному-два витка, не считая опорных.

На сборочных чертежах допускается вычерчивать пружину только сечением витков. При этом составные части изделия и их элементы, расположенные за пружиной, условно считаются невидимыми. Границей видимости служит осевая линия витков пружины.

Пример изображения на рабочих чертежах **пружины сжатия** с поджатыми по одному витку с каждого конца и шлифованными на  $3/4$  окружности опорными поверхностями приведен на рис. 15.28.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Что называется детализацией?
2. В чем заключается процесс детализации сборочного чертежа?
3. Поясните, должно ли соответствовать число изображений детали на сборочном чертеже числу изображений этой же детали на рабочем чертеже.
4. В каком масштабе предпочтительней выполнять чертежи деталей?

## Библиографический список

1. *Борисенко И.Г.* Инженерная графика. Геометрическое и проекционное черчение [Текст]: учеб. пособие / И.Г. Борисенко. — 5-е изд., перераб. и доп. — Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2014. — 200 с.
2. *Борисенко И.Г.* Инженерная графика. Эскизирование деталей машин [Текст]: учеб. пособие / И.Г. Борисенко. — Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2012. — 156 с.
3. *Вышнепольский И.С.* Техническое черчение [Текст]: учебник для вузов / И.С. Вышнепольский. — 10-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2022. — 319 с.
4. *Дорохов А.С.* Выполнение чертежей с использованием системы «КОМПАС-3Д» [Текст] / А.С. Дорохов, Е.Л. Чепурина, К.А. Краснящих [и др.]. — М. : ГАУ-МСХА, 2016. — 76 с.
5. *Дорохов А.С.* Инженерная графика [Текст]: метод. пособие / А.С. Дорохов, М.В. Степанов, А.А. Васьков [и др.]. — М. : ООО «Мегаполис», 2018.
6. *Дорохов А.С.* Начертательная геометрия [Текст]: учебник / А.С. Дорохов, М.В. Степанов, Е.Л. Чепурина. — М. : БИБКМ; ТРАНСЛОГ, 2017. — 112 с.
7. *Зеленый П.В.* Начертательная геометрия [Текст]: учеб. пособие / П.В. Зеленый, Е.И. Белякова; под ред. П.В. Зеленого. — 3-е изд., испр. — М. : НИЦ Инфра-М; Минск: Новое знание, 2013. — 265 с.
8. Инженерная графика: атлас сборочных единиц с различными видами соединений деталей [Текст]: учеб. пособие / Л.Р. Юренкова, В.В. Бурлай, В.И. Федоренко [и др.]. — Москва: ИНФРА-М, 2021. — 125 с.
9. Инженерная графика [Электронный ресурс]: метод. пособие / А.С. Дорохов [и др.]. — М. : Российский гос. аграрный ун-т — МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. — 153 с. — URL: <http://elib.timacad.ru/dl/local/s28122020.pdf>.
10. Инженерная графика [Текст]: учебник / Г.В. Буланже, В.А. Гончарова, И.А. Гушин [и др.]. — Москва: ИНФРА-М, 2022. — 381 с.
11. Инженерная графика [Текст]: учеб. пособие / А.С. Дорохов, Е.Л. Чепурина, К.А. Краснящих [и др.] // Российский гос. аграрный ун-т — МСХА им. К.А. Тимирязева. — М. : ООО «Мегаполис», 2021. — 153 с.
12. *Сальков Н.А.* Начертательная геометрия. Основной курс [Текст]: учеб. пособие / Н.А. Сальков. — М. : ИНФРА-М, 2019. — 235 с.
13. *Фролов С.А.* Сборник задач по начертательной геометрии [Текст]: учеб. пособие / С.А. Фролов. — 3-е изд., стер. — СПб. : Лань, 2021. — 192 с.
14. *Чекмарев А.А.* Инженерная графика. Машиностроительное черчение [Текст]: учебник / А.А. Чекмарев. — Москва: ИНФРА-М, 2021. — 396 с.



# Приложения

## Приложение 1

### Диаметры и шаги метрических резьб общего назначения

Диаметр, мм			Шаг, мм	
Первый ряд	Второй ряд	Третий ряд	Крупный	Мелкий
2,0			0,40	0,25
	2,2		0,45	0,25
2,5			0,45	0,35
3,0			0,50	0,35
	3,5		—	0,35
4,0			0,70	0,50
	4,5		—	0,50
5,0			0,80	0,50
6,0			1,00	0,75; 0,50
		7	1,00	0,75; 0,50
8,0			1,25	1,00; 0,75; 0,50
		9	—	1,00; 0,75; 0,50
10,0			1,50	1,25; 1,00; 0,75; 0,50
		11	—	1,00; 0,75; 0,50
12,0	14,0		1,75	1,50; 1,25; 1,00; 0,75; 0,50
			2,00	1,50; 1,25; 1,00; 0,75; 0,50
		15	—	1,50
16,0	18,0		2,00	1,50; 1,00; 0,75; 0,50
		17	—	1,50
			—	1,50; 1,00; 0,75; 0,50
20,0	22,0		2,50	2,00; 1,50; 1,00; 0,75; 0,50
			2,50	2,00; 1,50; 1,00; 0,75; 0,50
24,0			2,50	2,00; 1,50; 1,00; 0,75
	27,0	25	3,00	2,00; 1,50
			3,00	2,00; 1,50; 1,00; 0,75
30,0			3,50	2,00; 1,50; 1,00; 0,75
	33,0		3,50	2,00; 1,50
		35	—	1,50; 1,00; 0,75
36,0			4,00	3,00; 2,00; 1,50; 1,00
	39,0		4,00	3,00; 2,00; 1,50; 1,00
		40	—	1,50
42,0			4,50	3,00; 2,00; 1,50; 1,00
	45,0		4,50	3,00; 2,00; 1,50; 1,00
48,0			5,00	3,00; 2,00; 1,50; 1,00
		50	—	1,50
	52,0		5,00	3,00; 2,00; 1,50; 1,00
		55	—	2,00; 1,50
56,0			5,50	4,00; 3,00; 2,00; 1,50; 1,00
				2,00; 1,50

Окончание табл.

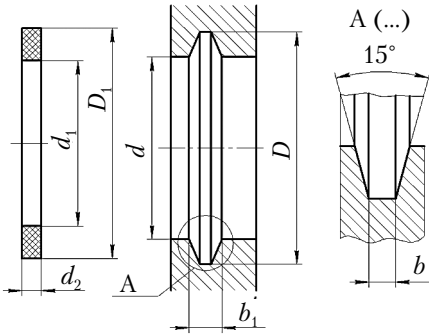
Диаметр, мм			Шаг, мм	
Первый ряд	Второй ряд	Третий ряд	Крупный	Мелкий
64,0	60,0	58	—	4,00; 3,00; 2,00; 1,50; 1,00
		62	—	2,00; 1,50
72,0; 80,0 90,0; 100,0	68,0 75,0 85,0; 95,0	65	—	4,00; 3,00; 2,00; 1,50; 1,00
			6,00	2,00; 1,50
			6,00	4,00; 3,00; 2,00; 1,50; 1,00
			—	6,00; 4,00; 3,00; 2,00; 1,50; 1,00
			—	6,00; 4,00; 3,00; 2,00; 1,50

*Примечание.* При выборе диаметров резьбы первый ряд следует предпочесть второму, второй — третьему.

**Канавки для выхода шлифовального круга  
при круговом шлифовании**

По наружному цилиндру			По внутреннему цилиндру		
<i>D</i> , мм	<i>d</i> <sub>1</sub> , мм	<i>d</i> <sub>2</sub> , мм	<i>B</i> , мм	<i>R</i> , мм	<i>R</i> <sub>1</sub> , мм
До 10	<i>d</i> - 0,3	<i>d</i> + 0,3	1,0 1,6	0,3 0,5	0,2 0,3
От 10 до 50	<i>d</i> - 0,5	<i>d</i> + 0,5	2,0 3,0	0,5 1,0	0,3 0,5
От 50 до 100	<i>d</i> - 1,0	<i>d</i> + 1,0	5,0 8,0 10,0	1,6 2,0 3,0	0,5 1,0 1,0

**Размеры канавок для сальниковых уплотнений**



Диаметры  $d$ ,  $d_1$  и  $D_1$ , мм, принимают равными соответственно  
 $d = d_B + 1,0$ ;  $d_1 = d_B - 1,0$ ;  
 $D_1 = D - 1,0$

Диаметр вала $d_B$ , мм	$\frac{D-d}{2}$	$b$ , мм	$b_1$ , мм	$b_2$ , мм
От 10 до 15	4	2	3	2,5
От 16 до 22	5	3	4,3	3,5
От 25 до 48	6	4	5,5	5
От 50 до 65	8	5	7,1	6
Диаметр вала $d_B$ , мм	$\frac{D-d}{2}$	$B$ , мм	$b_1$ , мм	$b_2$ , мм
От 70 до 85	9	6	8,3	7
От 90 до 95	10	7	9,6	8,5
От 100 до 115	12	8	11,1	9,5
От 120 до 135	14	9	12,7	10,5

Примечание. Размер  $d_1$  – справочный.

**Нормальные линейные размеры, мм (ГОСТ 6636–69)**

1,0	1,05	<u>1,1</u>	1,15	<u><u>1,2</u></u>	1,3	<u>1,4</u>	1,5
1,6	1,7	<u>1,8</u>	1,9	<u><u>2,0</u></u>	2,1	<u>2,2</u>	2,4
2,5	2,6	<u>2,8</u>	3,0	<u><u>3,2</u></u>	3,4	<u>3,6</u>	3,8
4,0	4,2	<u>4,5</u>	4,8	<u><u>5,0</u></u>	5,3	<u>5,6</u>	6,0
6,3	6,7	<u>7,1</u>	7,5	<u><u>8,0</u></u>	8,5	<u>9,0</u>	9,5
10	10,5	<u>11</u>	11,5	<u><u>12</u></u>	13	<u>14</u>	15
16	17	<u>18</u>	19	<u><u>20</u></u>	21	<u>22</u>	24
25	26	<u>28</u>	30	<u><u>32</u></u>	34	<u>36</u>	38
40	42	<u>45</u>	48	<u><u>50</u></u>	53	<u>56</u>	60
63	67	<u>71</u>	75	<u><u>80</u></u>	85	<u>90</u>	95
100	105	<u>110</u>	120	<u><u>125</u></u>	130	<u>140</u>	150
160	170	<u>180</u>	190	<u><u>200</u></u>	210	<u>220</u>	240
250	260	<u>280</u>	300	<u><u>320</u></u>	340	<u>360</u>	380
400	420	<u>450</u>	480	<u><u>500</u></u>	530	<u>560</u>	600
630	610	<u>710</u>	750	<u><u>800</u></u>	850	<u>900</u>	950
							<u>1000</u>

*Примечание.* При выборе размеров предпочтение следует отдавать числам, заключенным в прямоугольники, затем подчеркнутым двумя линиями, потом — одной линией и, наконец, не подчеркнутым.

**Размеры рифлений, мм (ГОСТ 21474–75)**

Накаты- ваемый диаметр $D$	Рифление прямое				Рифление косое сетчатое							
					для алюминия, латуни, фибры и др.				для стали			
	Ширина $B$				Ширина $B$				Ширина $B$			
	До 6	От 6 до 14	От 14 до 30	От 30	До 6	От 6 до 14	От 14 до 30	От 30	До 6	От 6 до 14	От 14 до 30	От 30
Шаг $P$				Шаг $P$				Шаг $P$				
До 8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
От 8 до 16	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8
От 16 до 32	0,6	0,8	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
От 32 до 64	0,6	0,8	1,0	1,0	0,6	0,8	1,0	1,0	0,8	1,0	1,2	1,2
От 64 до 100	0,8	0,8	1,0	1,2	0,8	0,8	1,0	1,2	0,8	1,0	1,2	1,6

- Примечания:* 1. Величина фаски ( $c$ ) принимается равной шагу ( $P$ ).  
 2. Угол  $\alpha = 70^\circ$  — для поделочной стали,  $\alpha = 60^\circ$  — для инструментальной стали,  $\alpha = 90^\circ$  — для цветных металлов.  
 3. В обозначениях рифлений указываются размер шага ( $P$ ) и стандарт. (Например: рифление прямое 0,8 — ГОСТ 21474–75; рифление сетчатое 1,2x45° — ГОСТ 21474–75).

**Резьба дюймовая (ОСТ НКТП 1260)**

Номинальный диаметр резьбы, дюймы	Наружный диаметр резьбы $d_0$ , мм	Шаг резьбы	Число нитек на 1"
1	2	3	4
3/16	4,762	1,058	24
1/4	6,350	1,270	20
5/16	7,938	1,411	18
3/8	9,525	1,588	16
1/2	12,700	2,117	12
5/8	15,875	2,309	11
3/4	79,050	2,540	10
7/8	22,225	2,822	9
1	25,400	3,175	8
1 <sup>1/8</sup>	28,575	3,629	7
1 <sup>1/4</sup>	31,750	3,629	7
1 <sup>1/2</sup>	38,100	4,233	6
1 <sup>3/4</sup>	44,450	5,080	5
2	50,800	5,644	4 <sup>1/2</sup>
2 <sup>1/4</sup>	57,150	6,350	4
2 <sup>1/2</sup>	63,500	6,350	4
2 <sup>3/4</sup>	69,850	7,257	3 <sup>1/2</sup>
3	76,200	7,257	3 <sup>1/2</sup>
3 <sup>1/4</sup>	82,550	7,815	3 <sup>1/4</sup>
3 <sup>1/2</sup>	88,900	7,815	3 <sup>1/4</sup>
3 <sup>3/4</sup>	95,250	8,467	3
4	101,600	8,467	3

*Примечание.* Дюймовая резьба может применяться лишь при изготовлении запасных деталей и не должна использоваться при проектировании новых изделий.

### Болтовое соединение

		Номер варианта														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>d</i> , мм		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		6**	8**	10*	12*	14	16	18	20	22	24	27	14	16	18	20
<i>P</i> , мм		1,0	1,0	1,5	1,25	2,0	1,5	2,5	2,5	2,5	2,0	3,0	1,5	2,0	1,5	1,5
<i>m</i> , мм		13	15	18	22	32	25	28	35	38	36	40	28	30	23	35
		Номер варианта														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
<i>d</i> , мм		14	16	18	20	24	22	20	18	16	14	12*	10*	8**	6**	27
<i>P</i> , мм		1,5	1,5	2,5	1,5	3,0	1,5	1,5	1,5	2,0	1,5	1,75	1,25	1,25	1,0	2,0
<i>m</i> , мм		33	25	33	35	36	28	25	38	45	37	16	20	15	15	38

\* Чертить в масштабе 2:1.

\*\* Чертить в масштабе 2,5:1.



**Шпильчатое соединение**

(в числителе указан мелкий шаг резьбы, в знаменателе — крупный)

<i>d</i> , мм	Номер варианта															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
<i>P</i> , мм	10*	8**	6**	20	18	16	24	12*	20	24	22	27	14	16	28	
	$\frac{1,25}{1,25}$	$\frac{1,0}{1,25}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{2,5}{2,5}$	$\frac{1,5}{2,5}$	$\frac{1,5}{2,0}$	$\frac{2,0}{2,0}$	$\frac{1,25}{1,25}$	$\frac{1,5}{2,5}$	$\frac{3,0}{3,0}$	$\frac{1,5}{2,5}$	$\frac{3,0}{3,0}$	$\frac{1,5}{1,5}$	$\frac{2,0}{2,0}$	$\frac{2,5}{2,5}$	
<i>m</i> , мм	10	9	10	28	31	28	32	18	21	23	26	28	23	28	30	
Материал корпуса	Легкий сплав							Чугун							Сталь	
Номер варианта																
<i>d</i> , мм	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	14	16	18	18	20	22	24	27	12*	14	16	20	6**	8**	10*	
<i>P</i> , мм	$\frac{2,0}{2,0}$	$\frac{1,5}{1,5}$	$\frac{1,5}{2,5}$	$\frac{2,5}{2,5}$	$\frac{2,5}{2,5}$	$\frac{1,5}{1,5}$	$\frac{2,0}{3,0}$	$\frac{2,0}{2,0}$	$\frac{1,75}{1,75}$	$\frac{1,5}{1,5}$	$\frac{1,5}{2,0}$	$\frac{1,5}{2,5}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,25}{1,5}$	
	23	20	18	33	21	19	23	25	23	33	36	38	12	20	20	
Материал корпуса	Легкий сплав							Чугун							Сталь	

\*Чертить в масштабе 2:1.

\*\*Чертить в масштабе 2,5:1.

**Трубное соединение**

Параметр	Номер варианта						
	1, 11, 21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5, 8, 15, 18,25, 28	6, 9, 16, 19, 26, 29	7, 10, 17, 20, 27, 30
$D_y$ , мм	8*	10*	15	20	25	32	40
$P$ , мм	1,33	1,33	1,81	1,81	2,3	2,3	2,3

\*Чертить в масштабе 2:1.

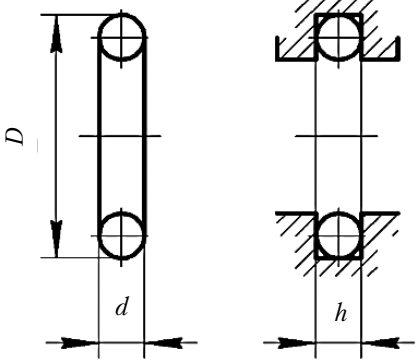
**Шпoнoчнoе сoединение**

Номер варианта															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$d$ , мм	22	24	25	26	28	30	32	34	36	38	40	42	45	48	50
$l$ , мм	22	24	25	26	28	30	32	34	36	38	40	42	40	38	45
$B$ , мм	28	30	32	32	34	36	38	40	42	45	48	48	48	45	52
$D_{\text{пр}}$ , мм	60	60	60	60	60	60	60	65	65	65	65	65	70	70	70
Номер варианта															
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$d$ , мм	22	24	25	26	28	30	32	34	36	38	40	42	45	48	50
$l$ , мм	38	36	32	30	26	23	30	32	34	36	38	40	32	32	48
$B$ , мм	45	42	38	36	32	34	36	38	40	42	45	48	48	48	55
$D_{\text{пр}}$ , мм	60	60	60	60	60	60	60	65	65	65	65	65	70	70	70

**Шлицевое соединение**

Номер варианта	$Z \times d \times D \times b$	$B, \text{ мм}$	$D_p, \text{ мм}$	Номер варианта	$Z \times d \times D \times b$	$B, \text{ мм}$	$D_p, \text{ мм}$
1	6×58×32×7	32	60	16	6×58×32×7	45	60
2	6×32×36×7	32	60	17	6×32×36×7	45	60
3	8×36×40×7	40	63	18	8×36×40×7	32	63
4	8×42×46×8	45	70	19	8×42×46×8	36	70
5	8×46×50×9	45	70	20	8×46×50×9	40	70
6	6×26×32×6	32	60	21	6×26×32×6	38	60
7	6×28×34×7	34	60	22	6×28×34×7	42	60
8	8×32×38×6	38	63	23	8×32×38×6	48	63
9	8×36×42×7	42	65	24	8×36×42×7	32	65
10	8×42×48×8	48	70	25	8×42×48×8	34	70
11	10×26×32×4	32	60	26	10×26×32×4	45	60
12	10×23×35×4	36	60	27	10×23×35×4	45	60
13	10×32×40×5	40	65	28	10×32×40×5	32	65
14	10×36×45×5	45	70	29	10×36×45×5	36	70
15	10×42×52×6	45	72	30	10×42×52×6	40	72

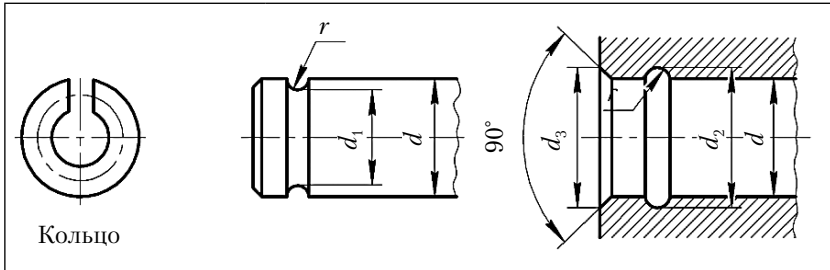
**Круглые резиновые кольца**



The technical drawing shows two views of a round rubber ring. The left view is a front view showing a vertical cylinder with diameter  $d$  and height  $D$ . The right view is a side view showing the ring's thickness  $h$  and its cross-section, which is a trapezoidal shape with a circular hole in the center. The drawing uses standard engineering notation for dimensions and hatching for the cross-section.

$D$ , мм	$d$ , мм	$h$ , мм
8, 10, 12, 14, 15, 16	2,0	1,5
18, 20, 22, 25	2,5	2,0
28, 30, 32, 35, 40	3,0	2,3
45, 50, 55, 60, 65	4,0	3,1
70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 120	5,0	3,8
125, 130, 140, 150, 160, 180, 200, 220, 240, 250, 260, 280, 300	6,0	

**Проточки под запорные кольца**



Номинальный диаметр оси или отверстия $d$ , мм	Проточка наружная $d_1$ , мм	$r$ , мм	Проточка внутренняя, мм		
			$d_2$	$d_3$	$t$
20	18,8	1,2	21,2	22,5	4
22	20,8		23,2	24,5	
25	23,8		26,2	27,5	
28	26,8		29,2	30,5	
30	28,8		31,2	32,5	
32	30,5	1,6	33,5	35,5	5
36	34,5		37,5	39,5	
38	36,5		39,5	41,5	
40	38,5		41,5	43,5	
42	40,5		43,5	45,5	
45	43,5		46,5	48,5	
48	46,5		49,5	51,5	
50	48,5		51,5	53,5	
55	53,0	2,0	57,5	60,0	6
60	58,0		62,5	65,0	
65	63,0		67,5	70,0	
70	68,0		72,5	75,0	
75	73,0		77,5	80,0	
80	78,0		82,5	85,0	
85	83,0		87,5	90,0	
90	88,0		92,5	95,0	
95	93,0		97,5	100,0	
100	98,0		102,5	105,0	

*Примечание.* Проточки предусматриваются и на диаметрах 4–18 мм.

**Отливки из серого чугуна (ГОСТ 1412–85)**

Марка чугуна	Область применения
СЧ00	Неответственное литье: крышки, патрубки, станины, кронштейны и др.
СЧ12	Тонкостенные изделия: корпуса подшипников, блоки, барабаны, диски ходовых колес, грузы, стойки, подставки, корпуса электроаппаратуры, части вентилях, задвижек, насосов и пр.
СЧ15	Изделия со стенками средней толщины: зубчатые и червячные колеса, втулки, ролики, детали для электрических машин и приборов, корпуса, муфты, крышки подшипников и пр.
СЧ18	Толстостенные изделия: кожухи, муфты, корпуса, крышки, втулки, тормозные шкивы, колодки тормозов и пр.
СЧ21	Изделия мягкой и средней твердости: станины, картеры, большие зубчатые и червячные колеса
СЧ24	Особо ответственные изделия: гильзы и выхлопные трубы для авиационных двигателей, поршневые кольца, кожухи корпуса, крышки, втулки и пр.
СЧ28	Изделия особо сложной конфигурации: порошковые кольца, муфты, зубчатые колеса, золотники, кулачки и пр.
СЧ32 СЧ35	Изделия сложной конфигурации: цилиндры, барабаны, крышки, поршневые кольца, тормозные шкивы, зубчатые колеса и пр.
СЧ36 СЧ38	Катки, звездочки для сварных цепей, корпуса насосов, корпуса гидроприводов и пр.

*Примечания:* 1. Первые две цифры в обозначении марок серого чугуна указывают предел прочности на растяжение, кг/мм<sup>2</sup>, а последние две цифры – предел прочности на изгиб, кг/мм<sup>2</sup>.

2. Пример условного обозначения: СЧ16 ГОСТ 1412–85.

**Отливки из ковкого чугуна (ГОСТ 1215–79)**

Марка чугуна	Область применения
КЧ37–12 КЧ35–10 КЧ33–8 КЧ30–6 КЧ45–6 КЧ50–4 КЧ60–3 КЧ69–3 КЧ63–2	Изделия, работающие в условиях динамических нагрузок: кулочки, ножи, хомуты, муфты, шкивы, колодки, тормозные рычаги, рукоятки, пластинчатые цепи, гайки-барашки, контргайки, фитинги и пр.

*Примечания:* 1. Первые две цифры в обозначении марок ковкого чугуна указывают предел прочности на растяжение, кГ/мм<sup>2</sup>, последние две или одна цифры — относительное удлинение,%. 2. Пример условного обозначения: КЧ37–12 ГОСТ 1215–79.



**Сталь углеродистая обыкновенного качества (ГОСТ 380–88)**

Марка стали	Область применения
С <sub>т</sub> . 0	Кожухи, баки, шайбы, перила, ограждения, прокладки, настилы, будки и пр.
С <sub>т</sub> . 1	Трубы (водяные, паровые и газовые), анкеры в паровых котлах, прокладки, кожухи и пр.
С <sub>т</sub> . 2	Заклепки, трубы (дымогарные и жаровые), барабаны паровых котлов, цепи сварные и пластинчатые, валики, оси, кулачки, зубчатые колеса, шайбы, шплинты и пр.
С <sub>т</sub> . 3	Баки, резервуары, котлы, болты откидные, гайки, шайбы. Шплинты, установочные винты, крюки, серьги, ушки, петли, двутавровые балки, швеллеры, угольники, тавры, валики, оси, стяжки и пр.
С <sub>т</sub> . 4	Тяги, стрелы крановые, болты откидные, валы и оси передач, гайки-барашки и пр.
С <sub>т</sub> . 5	Валы и оси приводов и грузоподъемных механизмов, вагонные оси, муфты, дышла, пальцы кривошипов, оси (ходовых колес, блоков, барабанов), рельсы для кранов и пр.

*Примечания:* 1. Цифры в обозначении марок стали указывают на среднее содержание углерода в десятых долях процента.

3. Пример условного обозначения: С<sub>т</sub> 3 ГОСТ 380–88.

**Сталь углеродистая качественная конструкционная  
(ГОСТ 1050–88)**

Марка стали	Область применения
10 15	Зубчатые колеса коробок скоростей, грузоподъемные кованные крюки, серьги, барабаны грузоподъемных механизмов, болты гайки, винты, заклепки, кулачки, подвижные шпонки, планки направляющих, втулки, пальцы, оси, упоры
20	Оси и рычаги коробок скоростей и тормозов, валики, ролики, зубчатые колеса, поршневые и шатунные пальцы, болты-шурupy, грузоподъемные крюки, гайки для крюков, упоры, кулачки и пр.
25 30	Зубчатые колеса, поршни, шпонки, оси, валы, шатуны, муфты, фланцы, серьги, втулки, рычаги и пр.
35 40	Оси, тяги, валы, шатуны, штоки, рычаги, зубчатые колеса, рукоятки, ступицы, гаечные ключи, фланцы, диски, гайки, винты, болты, плунжеры, втулки, кольца, упоры, штифты и пр.
45 50	Коленчатые и карданные валы, шлицевые валы, шатуны, зубчатые колеса и рейки, диски сцепления, поршни, шпонки, клинья и планки направляющих, рукоятки, ступицы, фиксаторы, втулки, вилки и пр.
15 Г	Кулачковые валики, тяги, шарнирные муфты и пр.
50 Г	Пружины спиральные, валики, зубчатые колеса, диски шлицевые и пр.

*Примечания:* 1. Кроме указанных марок углеродистых качественных конструкционных сталей, имеются стали: 8, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, а также стали 20Г, 25Г, 30Г, 35Г, 40Г, 45Г, 55Г, 70Г и др.

2. В марке стали двухзначные цифры обозначают среднее содержание углерода в сотых долях процента, буква Г указывает наличие марганца.

3. Пример условного обозначения (ГОСТ 1050–88): Сталь 45; Сталь 65Г.

**Бронзы безоловянистые (ГОСТ 493–79)  
и антифрикционные (ГОСТ 613–79)**

	Марка бронзы	Область применения
ГОСТ 493–54	Бр. А5	Ленты, полосы.
	Бр. АЖ9–4Л	Прутки, фасонное литье, втулки и вкладыши подшипников, упорные кольца.
	Бр. АЖН10–4–4Л	Прутки, трубы, литье, зубчатые колеса, червяки и пр.
	Бр. КМ <sub>ц</sub> 3–1 Бр. СН60–2,5	Проволока, полосы, ленты, прутки. Крупные фасонные отливки
ГОСТ 613–56	Бр. ОЦ6–6-3	Мелкие подшипники, сальники, втулки. Гайки ходовых винтов.
	Бр. ОЦ5–5-5	
	Бр. ОЦ4–4-17	Венцы червячных колес, гнезда клапанов, корпуса насосов, гайки с крупным шагом. Мелкие детали (втулки, шайбы и пр.)
	Бр. ОЦ3–12-5	
	Бр. ОЦ10–2	
Бр. ОЦ4–3		

*Примечания:* 1. Кроме указанных марок бронзы, имеются Бр. АМ<sub>ц</sub>9–2Л, Бр. АМ<sub>ц</sub>9–2, Бр. АМ<sub>ц</sub>10–2Л, Бр. АМН11–6-6; Бр. АМ<sub>ц</sub>5, КМ<sub>ц</sub>3–1 и др.  
2. Пример условного обозначения: Бр. АЖ9–4 ГОСТ 493–79, Бр. ОЦ4–4-7 ГОСТ 613–79.

**Латуни**

Материал и марка латуни	Пример обозначения на чертеже и область применения
<p>Латунь литейная ГОСТ 17711–80: ЛЦ40МцЗА2, ЛЦ40Мц1.5, ЛЦЗОАЗ и др.</p> <p>Латунь для обработки давлением ГОСТ 15527–70: Л 60, Л 68, ЛС59–1В, ЛК8030 и др.</p>	<p>ЛЦЗОАЗ ГОСТ 17711–80 Л 60 ГОСТ 15527–70</p> <p>Изготавливают трубки, проволоку, листы, прутки и т.д.</p>

**Алюминиевые сплавы**  
**(ГОСТ 2685–75, ГОСТ 4784–74, ГОСТ 13722–68)**

Марка алюминиевого сплава		Область применения
ГОСТ 2685–63	АЛ 2 АЛ 3	Отливки деталей разных форм
	АЛ 9 АЛ 12	Отливки тонкостенных деталей сложных форм
ГОСТ 4784–74	АК2 АК3	Кованные и штампованные детали разных форм

*Примечания:* 1. Кроме указанных марок алюминиевых сплавов, имеются АЛ 1, АЛ 4, АЛ 5, АЛ 6, АЛ 7, АЛ 8, АЛ 10, АЛ 11, АК1, АК4, АК5, АК6, АК7, АК8, АК9, из дюралюминия Д1; Д6 и др.

2. Буква Л в обозначении марок алюминиевых сплавов указывает, что алюминиевый сплав предназначен для литья, буква К указывает, что алюминиевый сплав предназначен дляковки и штамповки. Цифра указывает условный номер справа.

3. Пример условного обозначения: АЛ 5 ГОСТ 2685–75, АК6 ГОСТ 4784–74, Д8 ГОСТ 13722–68.

# Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>3</b>
-----------------------	----------

## НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ

<b>Принятые условные обозначения .....</b>	<b>5</b>
--	----------

<b>Глава 1. Виды проецирования .....</b>	<b>6</b>
--	----------

1.1. Центральное проецирование.....	6
1.2. Параллельное проецирование .....	7
1.3. Ортогональное проецирование .....	8
1.4. Свойство ортогонального проецирования.....	8
1.4.1. Позиционные свойства.....	8
1.4.2. Метрические свойства.....	9
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>11</i>

<b>Глава 2. Ортогональные системы двух и трех плоскостей проекций.</b>	
--	--

<b>Чертеж Монжа.....</b>	<b>12</b>
--------------------------	-----------

<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>15</i>
--	-----------

<b>Глава 3. Прямая линия на чертеже .....</b>	<b>16</b>
---	-----------

3.1. Положение прямой в пространстве .....	16
3.2. Определение натуральной величины отрезка прямой общего положения и углов наклона ее к плоскостям проекций .....	20
3.3. Взаимное расположение двух прямых.....	20
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>24</i>

<b>Глава 4. Плоскость на чертеже.....</b>	<b>25</b>
---	-----------

4.1. Способы задания плоскости на чертеже.....	25
4.2. Положение плоскости относительно плоскостей проекций.....	26
4.3. Прямые и точки, лежащие в плоскости .....	29
4.4. Главные линии плоскости.....	30
4.5. Углы наклона плоскости к плоскостям проекций.....	32
4.6. Взаимное расположение прямой и плоскости.....	33
4.7. Взаимное расположение двух плоскостей.....	34
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>35</i>

<b>Глава 5. Методы преобразования проекций .....</b>	<b>37</b>
--	-----------

5.1. Преобразование проекций способом замены плоскостей проекций.....	37
5.2. Методы вращения .....	40
5.2.1. Метод плоскопараллельного переноса (метод вращения без указания осей) .....	41
5.2.2. Метод вращения вокруг проецирующей оси.....	43
5.2.3. Метод вращения вокруг линии уровня .....	45
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>47</i>

<b>Глава 6. Поверхности .....</b>	<b>48</b>
6.1. Основные определения.....	48
6.2. Линейчатые поверхности с одной направляющей .....	48
6.3. Линейчатые поверхности с двумя направляющими (поверхности Каталана) .....	50
6.4. Винтовые поверхности.....	52
6.5. Поверхности вращения .....	54
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>57</i>
<b>Глава 7. Позиционные задачи.....</b>	<b>58</b>
7.1. Решение главных позиционных задач по первому алгоритму .....	58
7.2. Решение главных позиционных задач по второму алгоритму.....	59
7.3. Пять сечений прямого кругового конуса плоскостью .....	61
7.4. Решение главных позиционных задач по третьему алгоритму .....	62
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>71</i>
<b>Глава 8. Развертки поверхностей.....</b>	<b>72</b>
8.1. Развертка поверхности многогранников.....	72
8.2. Построение разверток конической и цилиндрической поверхностей .....	75
8.3. Приближенная развертка поверхностей .....	77
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>78</i>

## ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

<b>Глава 9. Геометрическое черчение.....</b>	<b>79</b>
9.1. Общие правила выполнения чертежей .....	79
9.1.1. Форматы.....	79
9.1.2. Масштабы .....	81
9.1.3. Линии.....	81
9.1.4. Подготовка карандаша к работе.....	85
9.1.5. Графическое обозначение материалов.....	85
9.1.6. Шрифты чертежные.....	86
9.1.7. Нанесение размеров.....	89
9.1.8. Методические указания по выполнению и оформлению альбомов чертежей с заданиями.....	91
9.2. Сопряжения .....	91
9.3. Деление окружности на равные части.....	94
9.4. Построение циркульных и лекальных кривых.....	97
9.5. Уклон и конусность .....	102
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>105</i>
<b>Глава 10. Проекционное черчение .....</b>	<b>106</b>
10.1. Виды.....	106
10.1.1. Дополнительные виды.....	109
10.1.2. Местный вид .....	110
10.2. Сечения.....	112
10.3. Разрезы .....	114
10.3.1. Простые разрезы .....	115
10.3.2. Наклонные разрезы.....	116
10.3.3. Смешанные разрезы.....	117
10.3.4. Местный разрез.....	119

10.3.5. Сложные разрезы .....	119
10.3.6. Расположение видов на формате.....	121
10.3.7. Построение третьей проекции и сечений .....	121
10.4. Аксонометрические проекции.....	125
10.4.1. Построение осей.....	126
10.4.2. Построение в аксонометрических проекциях окружности .....	127
10.4.3. Разрезы в аксонометрии.....	131
10.5. Штриховка в разрезах .....	132
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>136</i>
<b>Глава 11. Разъемные соединения .....</b>	<b>137</b>
11.1. Виды соединений.....	137
11.2. Изображение резьбовых соединений .....	137
11.3. Крепежные детали.....	145
11.4. Изображение соединений.....	151
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>164</i>
<b>Глава 12. Шероховатость .....</b>	<b>165</b>
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>170</i>
<b>Глава 13. Эскизирование деталей .....</b>	<b>171</b>
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>188</i>
<b>Глава 14. Чертеж общего вида.....</b>	<b>189</b>
14.1. Основные определения, порядок выполнения .....	189
14.2. Выбор главного вида и числа изображений. Порядок выполнения чертежа общего вида.....	190
14.3. Размеры на чертеже общего вида.....	191
14.4. Спецификация .....	191
14.5. Нанесение номеров позиций деталей.....	194
14.6. Примеры выполнения чертежей общего вида .....	195
14.7. Особенности выполнения чертежей общего вида.....	196
14.8. Элементы сборочных единиц .....	202
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>204</i>
<b>Глава 15. Чертежи деталей машин.....</b>	<b>205</b>
15.1. Рабочие чертежи деталей.....	205
15.2. Выполнение рабочих чертежей деталей.....	206
15.3. Нанесение размеров .....	208
15.3.1. Изображение корпусных деталей .....	211
15.3.2. Детали из листового материала .....	212
15.3.3. Изображение валов, тел вращения и зубчатых соединений .....	213
15.4. Чертежи деталей со стандартными изображениями .....	216
15.5. Чертежи зубчатых колес. Зубчатые и червячные передачи .....	217
15.6. Чертежи пружин .....	222
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>223</i>
<b>Библиографический список .....</b>	<b>224</b>
<b>Приложения.....</b>	<b>225</b>



Приложение 1. Диаметры и шаги метрических резьб общего назначения .....	225
Приложение 2. Канавки для выхода шлифовального круга при круговом шлифовании .....	227
Приложение 3. Размеры канавок для сальниковых уплотнений .....	228
Приложение 4. Нормальные линейные размеры, мм (ГОСТ 6636–69).....	229
Приложение 5. Размеры рифлений, мм (ГОСТ 21474–75).....	230
Приложение 6. Резьба дюймовая (ОСТ НКТП 1260) .....	231
Приложение 7. Болтовое соединение .....	232
Приложение 8. Шпилечное соединение.....	233
Приложение 9. Трубное соединение .....	234
Приложение 10. Шпоночное соединение .....	235
Приложение 11. Шлицевое соединение.....	236
Приложение 12. Круглые резиновые кольца .....	237
Приложение 13. Проточки под запорные кольца.....	238
Приложение 14. Отливки из серого чугуна (ГОСТ 1412–85) .....	239
Приложение 15. Отливки из ковкого чугуна (ГОСТ 1215–79) .....	240
Приложение 16. Сталь углеродистая обыкновенного качества (ГОСТ 380–88) .....	241
Приложение 17. Сталь углеродистая качественная конструкционная (ГОСТ 1050–88).....	242
Приложение 18. Бронзы безоловянистые (ГОСТ 493–79) и антифрикционные (ГОСТ 613–79).....	243
Приложение 19. Латунни .....	244
Приложение 20. Алюминиевые сплавы (ГОСТ 2685–75, ГОСТ 4784–74, ГОСТ 13722–68) .....	245

*Учебное издание*

**Чепурина Екатерина Леонидовна  
Рыбалкин Дмитрий Алексеевич  
Кушнарера Дарья Леонидовна  
Шнарас Елена Сергеевна  
Свиридов Алексей Сергеевич**

**НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА**

*Учебник*

Ответственный редактор

Подписано для размещения в Электронно-библиотечной  
системе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева 00.00.2023 г.  
Оригинал-макет подготовлен Издательством РГАУ-МСХА  
127550, Москва, Тимирязевская ул., 44  
Тел. 8 (499) 977-40-64