

ТЕХНИКА  
И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ бакалавриат

30.182

А 26



учебник



В. М. Дегтярев  
В. П. Затыльникова

# ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

6-е издание



В. М. ДЕГТЯРЕВ, В. П. ЗАТЫЛЬНИКОВА

# ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

## УЧЕБНИК

*Для студентов  
учреждений высшего профессионального образования,  
обучающихся по техническим направлениям*

6-е издание, стереотипное



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2016



УДК 76:681.3/721.012(075.8)

ББК 30.182я73

Д261

Рецензент —

зав. кафедрой инженерной и компьютерной графики  
СПб ГУ ИТМО, доц., канд. техн. наук *В. Т. Тозик*

Д261 **Дегтярев В. М.**

Инженерная и компьютерная графика : учебник для студ. учреждений высш. образования / В. М. Дегтярев, В. П. Затыльникова. — 6-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2016. — 240 с. — (Сер. Бакалавриат).

ISBN 978-5-4468-3264-4

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по техническим направлениям подготовки (квалификация «бакалавр»).

Рассматриваются теоретические основы начертательной геометрии и инженерной графики, необходимые для создания конструкторской документации, построения изображений и чертежей деталей, сборочных единиц, сборочных чертежей, а также основные понятия компьютерной графики, применение ее для построения изображений, чертежей и решения задач геометрического моделирования.

Для студентов учреждений высшего образования.

УДК 76:681.3/721.012(075.8)

ББК 30.182я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Дегтярев В. М., Затыльникова В. П., 2011

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2011

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2011

ISBN 978-5-4468-3264-4

Создание изделий невозможно без пространственного моделирования объектов, разработки конструкторско-технологической документации, умения читать техническую документацию и обрабатывать изображения.

Чертежами человек пользуется с древних времен, а в конце XVIII в. Гаспар Монж создал современное пространственное представление объекта на плоскости в виде чертежа, который легко читается и сохраняет пропорции реального объекта. С этого момента началось развитие начертательной геометрии — науки, обеспечивающей развитие пространственного воображения человека и умения отобразить пространственный объект на чертеже. Методы начертательной геометрии позволяют преобразовывать чертежи, изображать переносы, повороты, пересечения объектов в пространстве, а также строить развертки, что имеет большое практическое значение. Эти методы используют и в современной компьютерной графике.

В первой части данного учебника достаточно полно изложены основные положения начертательной геометрии, необходимые для получения навыков пространственного представления геометрических объектов.

Технический прогресс и разделение функций между теми, кто создает новые машины, и теми, кто их выпускает, обусловили необходимость создания правил разработки и чтения технической документации. На основе этих правил разработаны положения, требования и стандарты разных уровней: стандарты предприятия, отраслевые, государственные, международные, позволяющие при создании изделий использовать любые виды кооперации.

Инженерная графика, представленная во второй части данного учебника, обеспечивает изучение правил разработки и чтения технической документации.

Развитие вычислительной техники позволило применить компьютеры для работы с изображениями. Рождение компьютерной графики относят к 1961 г., когда впервые были продемонстрированы ввод изображения детали с планшета в компьютер и отображение этой детали на его экране. При этом изображение записывалось в компьютере в цифровой форме, а следовательно, его можно было быстро изменять. Самые первые достижения

компьютерной графики были в области создания технических чертежей, однако в настоящее время невозможно найти область человеческой деятельности, где она не используется. Сегодня можно насчитать более десятка весьма серьезных графических приложений, которые помогают разрабатывать автомобили, самолеты, ракеты и другие сложные изделия, а конструкторские бюро, находящиеся в различных точках мира, могут обмениваться конструкторской документацией по Интернету.

Третья часть данного учебника посвящена рассмотрению основных понятий компьютерной графики, теоретических основ описания геометрических объектов и представления их в компьютере, а также компьютерным методам преобразования положений объектов в пространстве и построению изображений на экране компьютера.

Содержание учебника позволяет студентам получить полное представление о теории и практике создания инженерной технической документации и компьютерной графике, а также он может использоваться при создании графических компьютерных приложений для обработки изображений в различных областях науки и техники.

## НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ

---

Начертательная геометрия, являющаяся одним из разделов геометрии (наряду с геометрией элементарной, аналитической, дифференциальной, проективной и др.), исследует геометрические свойства тел и их сочетаний по изображению на чертеже, выполняемому точками и линиями.

Чертеж отображает следующие свойства предмета: *метрические*, включающие в себя линейные и угловые размеры самого предмета и его элементов, и *позиционные*, т. е. определяющие принадлежность и взаимное расположение элементов предмета или различных предметов.

Геометрическими элементами предмета могут быть:

- *точка* — бесконечно малая величина, не имеющая размера и имеющая три координаты размещения в пространстве;
- *линия*, состоящая из последовательности бесчисленного множества точек, не имеющих размера и подчиняющихся определенному закону распространения в пространстве;
- *поверхность*, частным случаем которой является плоскость, состоящая из совокупности множества точек, размещенных в пространстве по определенному закону распределения и не имеющая толщины.

На чертеже могут размещаться одно или несколько отображений одного и того же предмета, рассматриваемого с разных сторон. Эти отображения должны быть связаны друг с другом.

Для создания предмета (изделия) его чертеж должен выполняться с соблюдением трех основных требований:

- быть *однозначным*, т. е. давать возможность воссоздания конкретного предмета (изделия);
- быть *измеримым*, т. е. обеспечивать возможность воспроизведения всех размеров предмета (изделия);
- быть *наглядным*, т. е. позволяющим представить изображаемый предмет (изделие).

Чертеж формируется посредством пространственного отображения предмета на плоском экране, т. е. его проецированием.

**Проецирование** — это получение изображения на плоскости с помощью проецирующих лучей (световых или зрительных), исходящих из определенной точки пространства (центра проецирования), проходящих через точки изображаемого предмета и отображаемых на плоскости в виде точек и линий.

Плоскость, на которую проецируют предмет, называется *плоскостью проекций*. При этом все точки пространства, находящиеся на одном проецирующем луче, будут иметь одну и ту же проекцию на плоскости проекций. Откуда следует, что любая точка пространства всегда имеет одну проекцию, однако проекция точки не определяет положение этой точки в пространстве, т. е. проецирование позволяет пространственный предмет сделать плоским.

В зависимости от направления проецирующих лучей по отношению к плоскости проекций выделяют два метода проецирования: центральное и параллельное.

**Центральное проецирование.** При центральном проецировании все проецирующие лучи исходят из одной (центральной) точки пространства  $S$ , при этом они не параллельны друг другу и приходят к плоскости проекций  $\pi_0$  под различными углами. Если между точкой  $S$  и плоскостью  $\pi_0$  (рис. 1.1) расположить куб с вершинами  $A, B, C, D, E, F, G, H$  и провести прямые  $SA, SB, SC,$

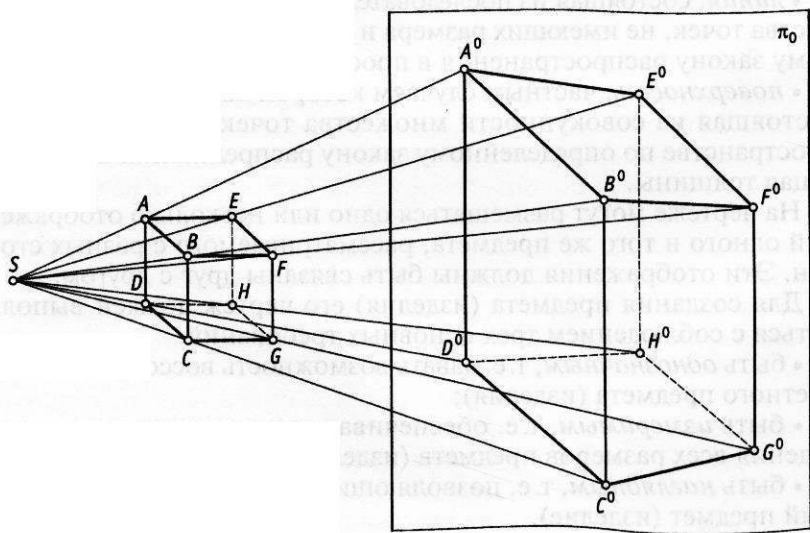


Рис. 1.1

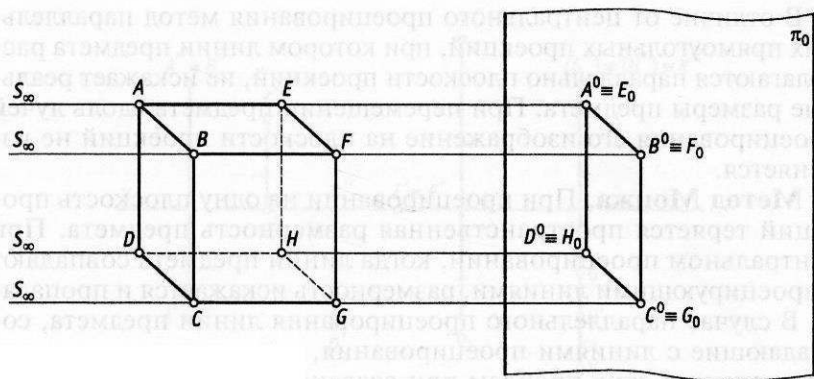


Рис. 1.2

$SD, SE, SF, SG, SH$  до пересечения их с плоскостью  $\pi_0$ , получим на этой плоскости проекции точек вершин куба  $A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0, G^0, H^0$ , соединение которых прямыми линиями и дает проекцию куба на плоскость  $\pi_0$ . Рассмотрим свойства центрального проецирования.

Метод центрального проецирования искажает реальные размеры при отображении предмета на плоскости проекций, так как при этом его линии в разных направлениях в пространстве уменьшаются не в одинаковое число раз, а следовательно, по изображению трудно судить о действительных размерах той или иной части данного предмета.

При приближении предмета к точке  $S$  изображение на плоскости проекций вырастает и искажается. Например, на рис. 1.1 передняя грань куба, расположенная ближе к центру проецирования, больше задней его грани, расположенной дальше от центра проецирования.

Метод центрального проецирования, сохраняя некоторую наглядность предмета, позволяет создавать различные зрительные эффекты в кино, на телевидении, в архитектуре и изобразительном искусстве.

Применение метода центрального проецирования для решения технических задач, в которых требуется отображать точные размеры предметов, весьма затруднительно.

**Параллельное проецирование.** Если удалить центр проекций (точка  $S_\infty$ ) в бесконечность, то проецирующие лучи практически будут параллельны друг другу (рис. 1.2).

Если проецирующие лучи направлены перпендикулярно плоскости проекций (под углом  $90^\circ$ ), проецирование называется *прямоугольным* (ортогональным).



В отличие от центрального проецирования метод параллельных прямоугольных проекций, при котором линии предмета располагаются параллельно плоскости проекций, не искажает реальные размеры предмета. При перемещении предмета вдоль лучей проецирования его изображение на плоскости проекций не изменяется.

**Метод Монжа.** При проецировании на одну плоскость проекций теряется пространственная размерность предмета. При центральном проецировании, когда линии предмета совпадают с проецирующими линиями, размерность искажается и пропадает. В случае параллельного проецирования линии предмета, совпадающие с линиями проецирования, превращаются в точки. Для решения этих проблем при создании чертежей известный французский ученый и инженер Гаспар Монж в конце XVIII в. предложил метод построения изображений, основанный на прямоугольном проецировании предмета на две взаимно-перпендикулярные плоскости.

Рассмотрим метод Монжа на примере проецирования точки  $A$ , расположенной в пространстве, на две взаимно-перпендикулярные плоскости (рис. 1.3): горизонтальную плоскость  $\pi_1$  и фронтальную плоскость  $\pi_2$ , пересекающиеся по линии  $OX$ , называемой *осью проекций*. Луч проецирования  $S_1$  точки  $A$  на горизонтальную плоскость дает горизонтальную проекцию  $A'$ , а луч проецирования  $S_2$  этой же точки  $A$  на фронтальную плоскость дает фронтальную проекцию  $A''$ . Таким образом мы проецируем точку  $A$ , рассматривая ее в пространстве сверху (в направлении  $S_1$ ) и спереди (в направлении  $S_2$ ). Затем, повернув горизонтальную плоскость  $\pi_1$  вокруг оси проекций  $OX$  на угол  $90^\circ$  до совмещения с фронтальной плоскостью  $\pi_2$ , получим одну плоскость — плоскость чертежа. Проекция  $A'$  и  $A''$  лежат на одной линии, перпен-

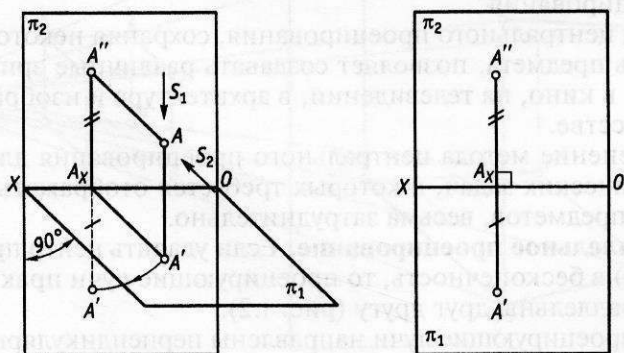


Рис. 1.3

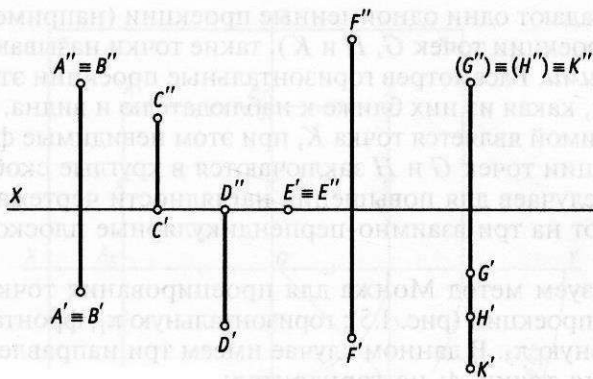


Рис. 1.4

дикулярной оси проекций  $OX$ . Эта линия, соединяющая горизонтальную  $A'$  и фронтальную  $A''$  проекции точки  $A$ , называется *линией связи*.

В результате указанного совмещения плоскостей  $\pi_1$  и  $\pi_2$  получают чертеж, известный под названием эпюр Монжа, который содержит все три пространственные координаты точки  $A$ :

- ширину (абсциссу) — расстояние от начала координат  $OA_X$ ;
- высоту (аппликату) — расстояние над горизонтальной плоскостью  $A_XA''$ ;
- глубину (ординату) — расстояние до фронтальной плоскости  $A'A_X$ .

Эпюр Монжа позволяет однозначно определять расположение точки в пространстве по двум ее совмещенным на одной плоскости (чертеже) проекциям.

Точки в пространстве могут занимать три различных положения: не принадлежать ни одной из плоскостей проекций (общее положение), принадлежать одной из плоскостей проекций (лежать на плоскости) и принадлежать сразу двум плоскостям проекций (лежать на оси проекций).

Эпюр Монжа позволяет определять взаимное расположение точек в пространстве (рис. 1.4).

Точки  $A$  и  $B$  совпадают в пространстве, а их проекции сливаются на горизонтальной и фронтальной плоскостях проекций. Точка  $C$  расположена на фронтальной плоскости, а ее горизонтальная проекция лежит на оси проекций. Точка  $D$  расположена на горизонтальной плоскости проекций, а ее фронтальная проекция лежит на оси проекций. Точка  $E$  принадлежит фронтальной и горизонтальной плоскостям проекций, при этом обе ее проекции сливаются и лежат на оси проекций. Точка  $F$  расположена выше, ближе и правее точек  $A$  и  $B$ . Если у несовпадающих

точек совпадают одни одноименные проекции (например, фронтальные проекции точек  $G$ ,  $H$  и  $K$ ), такие точки называются *конкурирующими*. Рассмотрев горизонтальные проекции этих точек, определим, какая из них ближе к наблюдателю и видна. В нашем случае видимой является точка  $K$ , при этом невидимые фронтальные проекции точек  $G$  и  $H$  заключаются в круглые скобки.

В ряде случаев для повышения наглядности чертежа предмет проецируют на три взаимно-перпендикулярные плоскости проекций.

Используем метод Монжа для проецирования точки на три плоскости проекций (рис. 1.5): горизонтальную  $\pi_1$ , фронтальную  $\pi_2$  и профильную  $\pi_3$ . В данном случае имеем три направления проецирования точки  $A$ : на горизонтальную плоскость —  $S_1$ , на фронтальную —  $S_2$ , на профильную —  $S_3$ . Горизонтальную плоскость проекций совмещаем с фронтальной посредством поворота ее на  $90^\circ$  вокруг оси  $OX$ , а профильную плоскость проекций совмещаем с фронтальной посредством поворота на  $90^\circ$  вокруг оси  $OZ$ , при этом ось  $OY$  разделяется на две части (рис. 1.6). Правый нижний квадрат чертежа не является плоскостью проекций, а служит для вспомогательных построений линий связи проекций.

Эпюр Монжа позволяет построить третью (профильную) проекцию точки, используя ее фронтальную и горизонтальную проекции (см. рис. 1.6). Перенос координат высоты и глубины точ-

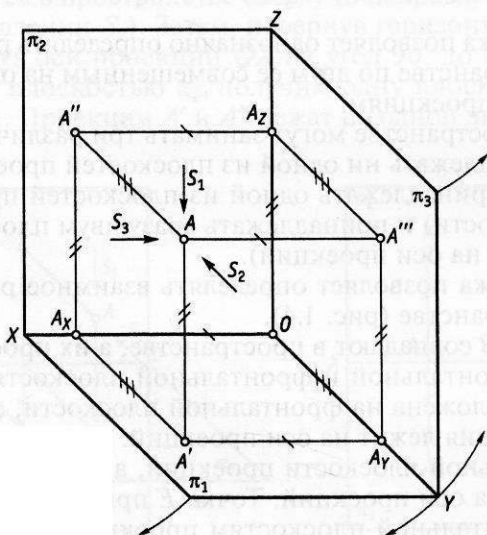


Рис. 1.5

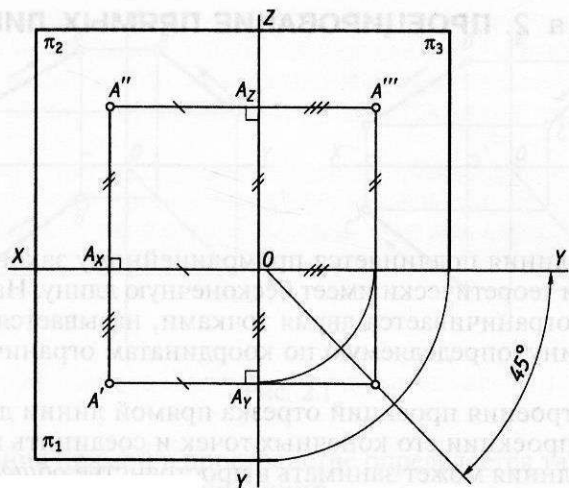


Рис. 1.6

ки можно осуществлять с помощью измерителя отрезков, циркуля или вспомогательной прямой, проведенной под углом  $45^\circ$  к разделенной оси  $Y$ .

Отметим, что проецирование на три плоскости проекций дает избыточную информацию, и в большинстве случаев достаточно построить эпюр Монжа из совмещенных плоскостей проекций  $\pi_1$  и  $\pi_2$  или  $\pi_2$  и  $\pi_3$ . В обоих этих случаях на чертеже будут иметься все три координаты точки в пространстве.

### Контрольные вопросы

1. Что изучает начертательная геометрия?
2. Дайте определения геометрических элементов предмета.
3. Почему метод проецирования называется центральным?
4. Чем отличается параллельный метод проецирования от центрального?
5. Что такое чертеж?
6. В чем состоит основной принцип метода Монжа?
7. Назовите положения точек в пространстве относительно плоскостей проекций и поясните, как они определяются на эпюре Монжа.
8. Какие точки называются конкурирующими и как определить видимость точек?

Прямая линия подчиняется прямолинейному закону распространения и теоретически имеет бесконечную длину. На практике она всегда ограничивается двумя точками, называется отрезком и имеет длину, определяемую по координатам ограничивающих ее точек.

Для построения проекций отрезка прямой линии достаточно построить проекции его конечных точек и соединить их.

Прямая линия может занимать в пространстве *общее положение* относительно плоскости проекций, т. е. положение, при котором она непараллельна ни одной из трех плоскостей проекций и имеет произвольные углы наклона к плоскостям проекций. Также прямая линия может занимать в пространстве *частные положения*, т. е. положения, при которых она расположена параллельно только одной из плоскостей проекций или параллельна сразу двум любым плоскостям проекций (при этом она перпендикулярна третьей плоскости проекций и проецируется на нее в точку).

Каждое положение прямой отображается определенным положением ее проекций относительно осей проекций. Следовательно, по положению проекций относительно осей можно установить положение прямой в пространстве.

**Проецирование прямой общего положения.** По расположению проекций прямой общего положения можно определить направление этой прямой в пространстве.

По отношению к направлению проецирования (к наблюдателю) прямая может быть (рис. 2.1) *восходящей* (прямая  $AB$  поднимается вверх по мере удаления от точки  $A$ , ближайшей к наблюдателю, при движении к другой ее точке  $B$ ) и *нисходящей* (прямая  $CD$  опускается вниз по мере удаления от точки  $D$ , ближайшей к наблюдателю, при движении к другой ее точке  $C$ ). При этом учитывают только одно направление проецирования: перпендикулярное плоскости  $\pi_2$ .

Иногда применяют простое для зрительного восприятия в пространстве положения прямых общего положения правило: *если фронтальная и горизонтальная проекции направлены одноименно по отношению к оси проекций, прямая восходящая, а если разноименно — нисходящая.*

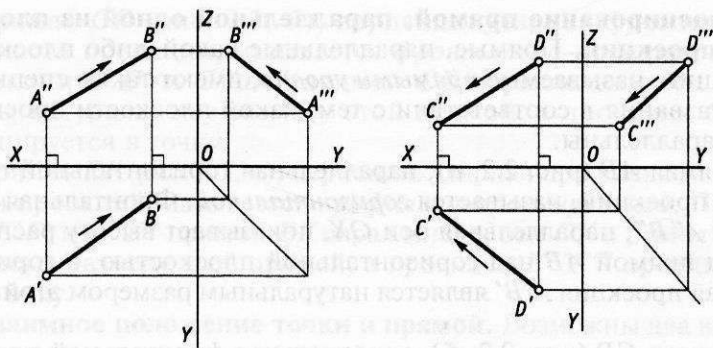


Рис. 2.1

Положение прямой в пространстве определяется также углами ее наклона к плоскостям проекций.

Угол между прямой и плоскостью проекций определяется между прямой натурального размера и ее проекцией на данную плоскость проекций (рис. 2.2).

Рассмотрев углы между прямой и плоскостями проекций, можно отметить следующее:

- если угол равен  $0$ , прямая параллельна плоскости проекций и ее проекция равна натуральному размеру этой прямой;
- при увеличении угла между прямой и плоскостью проекций проекция прямой начинает уменьшаться;
- при угле, равном  $90^\circ$ , прямая совпадает с линией проецирования и проецируется в точку.

Следовательно, проекция прямой не может быть больше натурального размера этой прямой.

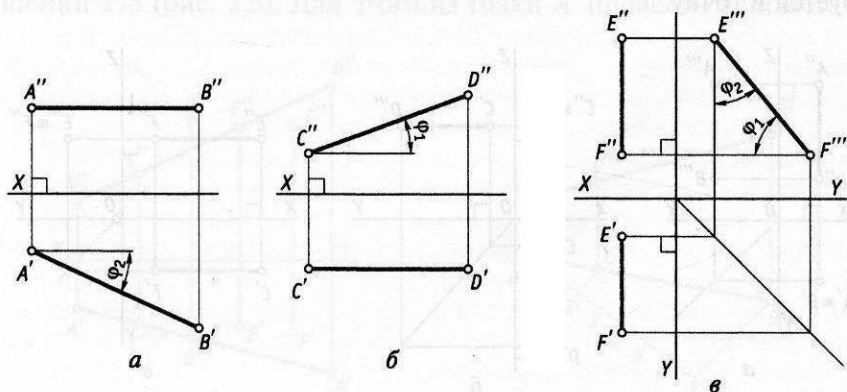


Рис. 2.2

**Проецирование прямой, параллельной одной из плоскостей проекций.** Прямые, параллельные какой-либо плоскости проекций, называемые *прямыми уровня*, имеют также специальные названия в соответствии с тем, какой плоскости проекций они параллельны.

Прямая  $AB$  (рис. 2.2, *а*), параллельная горизонтальной плоскости проекций, называется *горизонтальной*. Фронтальная проекция  $A''B''$ , параллельная оси  $OX$ , показывает высоту расположения прямой  $AB$  над горизонтальной плоскостью, а горизонтальная проекция  $A'B'$  является натуральным размером этой прямой.

Прямая  $CD$  (рис. 2.2, *б*), параллельная фронтальной плоскости проекций, называется *фронтальной*. Горизонтальная проекция  $C'D'$ , параллельная оси  $OX$ , показывает глубину расположения прямой  $CD$  до фронтальной плоскости, а фронтальная проекция  $C''D''$  соответствует натуральному размеру этой прямой.

Прямая  $EF$ , параллельная профильной плоскости проекций, называется *профильной*. Горизонтальная проекция  $E'F'$ , параллельная оси  $OY$ , и фронтальная проекция  $E''F''$ , параллельная оси  $OZ$ , показывают удаление прямой  $EF$  от профильной плоскости, а профильная проекция  $E'''F'''$  является натуральным размером этой прямой.

**Проекция прямой, параллельной двум плоскостям проекций.** Прямая, параллельная двум плоскостям проекций (или перпендикулярная третьей плоскости проекций), называется *проецирующей* (рис. 2.3) на третью плоскость проекций.

Прямая  $AB$  (рис. 2.3, *а*), перпендикулярная горизонтальной плоскости проекций, называется *горизонтально-проецирующей*. Проекция  $A''B''$  и  $A'''B'''$  прямой  $AB$  параллельны оси  $OZ$  и равны натуральному размеру этой прямой, а проекция  $A'B'$  проецируется в точку.

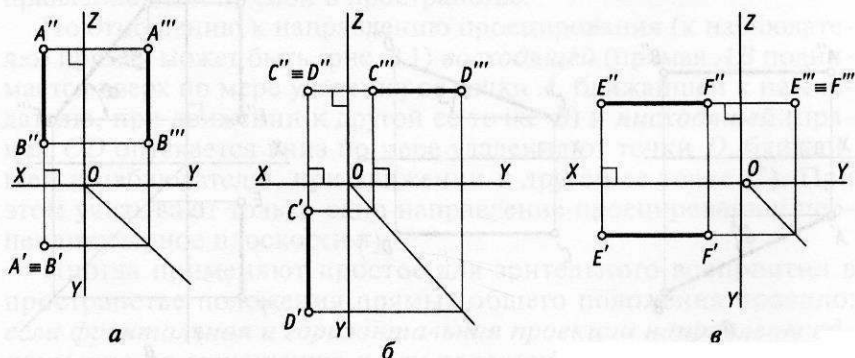


Рис. 2.3

Прямая  $CD$  (рис. 2.3, б), перпендикулярная фронтальной плоскости проекций, называется *фронтально-проецирующей*. Проекции  $C'D'$  и  $C'''D'''$  прямой  $CD$  параллельны оси  $OY$  и равны натуральному размеру этой прямой, а проекция  $C''D''$  проецируется в точку.

Прямая  $EF$  (рис. 2.3, в), перпендикулярная профильной плоскости проекций, называется *профильно-проецирующей*. Проекции  $E'F'$  и  $E''F''$  прямой  $EF$  параллельны оси  $OX$  и равны натуральному размеру этой прямой, а проекция  $E'''F'''$  проецируется в точку.

**Взаимное положение точки и прямой.** Возможны два взаимных положения точки и прямой: точка принадлежит прямой и точка не принадлежит прямой.

Если точка принадлежит прямой, то ее проекции принадлежат одноименным проекциям этой прямой и имеют линии связи, перпендикулярные соответствующим осям проекций.

Справедливо и обратное утверждение: если проекции точки принадлежат одноименным проекциям прямой, то и сама точка принадлежит изображенной прямой.

На рис. 2.4 точка  $C$  принадлежит прямой  $AB$ , так как обе ее проекции принадлежат проекциям этой прямой, а точки  $D, E, F$  не принадлежат прямой  $AB$ , так как одна или две их проекции не принадлежат проекциям прямой.

Одним из свойств параллельного проецирования является следующее: *отношение отрезков прямой линии равно отношению их проекций*, т.е. если точка делит отрезок прямой в заданном отношении, то проекция точки делит проекцию отрезка в том же отношении. Используя это свойство, можно решать задачи деления отрезка прямой линии на любое число частей.

Например, заданную прямую  $AB$  требуется разделить в отношении 2:5 (рис. 2.5). Для этого из точки  $A'$  проведем вспомога-

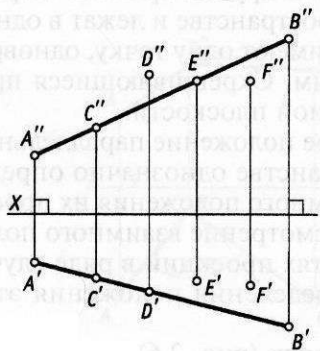


Рис. 2.4

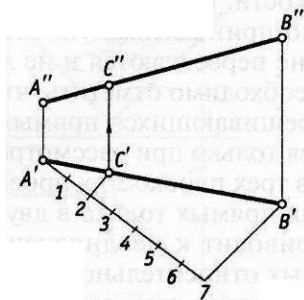


Рис. 2.5



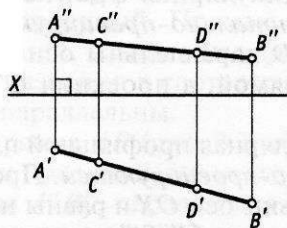


Рис. 2.6

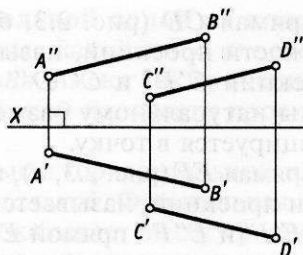


Рис. 2.7

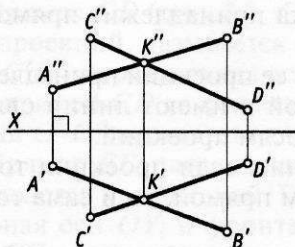


Рис. 2.8

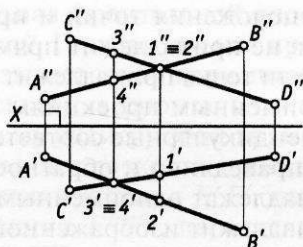


Рис. 2.9

тельную прямую и отложим на ней  $2 + 5$  отрезков произвольной длины, но равных между собой. Затем, проведя отрезок  $B'7$  и параллельно ему через точку 2 прямую до пересечения с проекцией  $A'B'$ , получим точку  $C'$  и соответственно точку  $C''$  на проекции  $A''B''$ . Полученная точка  $C$  делит прямую  $AB$  в отношении  $2:5$ .

**Взаимное положение двух прямых.** Две прямые в пространстве могут *совпадать*, быть *параллельными* друг другу, *пересекаться* и *скрещиваться*. Две прямые совпадают, когда все точки одной прямой сливаются с точками другой прямой. Параллельные прямые не пересекаются в пространстве и лежат в одной плоскости. Пересекающиеся прямые имеют одну точку, одновременно принадлежащую обеим прямым. Скрещивающиеся прямые не пересекаются и не лежат в одной плоскости.

Необходимо отметить, что взаимное положение параллельных и скрещивающихся прямых в пространстве однозначно определяется только при рассмотрении взаимного положения их проекций в трех плоскостях проекций. Рассмотрение взаимного положения прямых только в двух плоскостях проекций в ряде случаев приводит к неоднозначности определения положения этих прямых относительно друг друга.

Проекции двух совпадающих прямых (рис. 2.6) сливаются в плоскостях проекций.

Проекция двух параллельных прямых (рис. 2.7) параллельны между собой.

Проекция точки пересечения двух прямых (рис. 2.8) должна быть точкой пересечения проекций данных прямых.

Точки пересечения проекций скрещивающихся прямых (рис. 2.9) на одной плоскости проекций не совпадают с точками пересечения проекций прямых на других плоскостях проекций.

**Проекция плоских углов.** Плоские углы образуются двумя пересекающимися прямыми.

Если обе стороны плоского угла параллельны какой-либо плоскости проекций, то угол проецируется на эту плоскость в натуральном виде (рис. 2.10).

Если стороны угла занимают общее положение в пространстве, то угол проецируется на любую плоскость проекций с искажением.

Некоторой особенностью при проецировании обладает прямой угол: если хотя бы одна из его сторон параллельна какой-либо плоскости проекций, он проецируется на эту плоскость также в виде прямого угла (рис. 2.11). Это утверждение справедливо для системы параллельного прямоугольного проецирования.

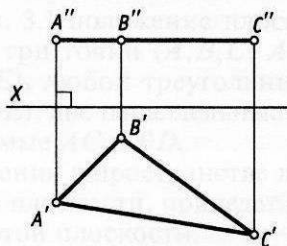


Рис. 2.10

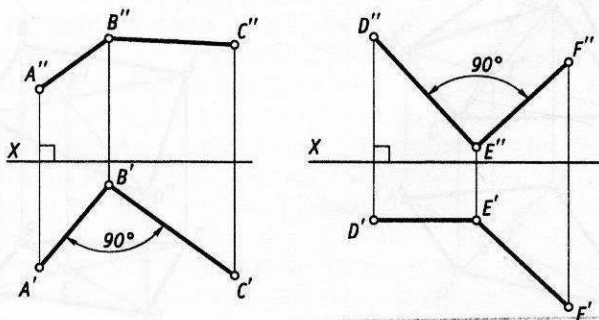
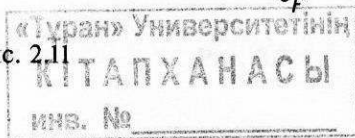


Рис. 2.11



## Контрольные вопросы

1. Как расположена относительно плоскостей проекций прямая общего положения?
2. Что такое восходящие и нисходящие прямые общего положения?
3. Какие положения прямой линии в системе  $\pi_1, \pi_2, \pi_3$  считаются частными?
4. В каких случаях проекция отрезка прямой линии равна размеру этого отрезка?
5. При каком условии две прямые являются пересекающимися?
6. Назовите необходимое условие для определения двух скрещивающихся прямых.
7. В каком случае прямой угол проецируется в виде прямого угла?

Плоскость в пространстве может быть задана следующими способами:

- тремя точками, не лежащими на одной прямой;
- прямой и точкой, не лежащей на этой прямой;
- двумя параллельными прямыми;
- двумя пересекающимися прямыми;
- любой плоской фигурой.

Следует отметить, что минимально необходимое число точек для задания плоскости — три, поэтому при любых способах задания плоскости можно выделить эти три точки, не лежащие на одной прямой.

**Построение проекций плоскости.** Для задания плоскости на чертеже достаточно построить проекции точек, прямых или фигур, определяющих данную плоскость.

Например, на рис. 3.1 положение плоскости в пространстве определяют: любые три точки ( $A, B, C$ ;  $A, C, D$ ;  $A, B, D$ ;  $B, C, D$ ;  $A, B, E$ ;  $B, C, E$ ;  $C, D, E$ ), любой треугольник ( $ABC$ ,  $ACD$ ,  $ABD$ ,  $BCD$ ,  $ABE$ ,  $BCE$ ,  $CDE$ ), две параллельные прямые  $AB$  и  $CD$ , две пересекающиеся прямые  $AC$  и  $BD$ .

Изменение положения в пространстве любой точки или прямой, принадлежащей плоскости, приведет к изменению положения в пространстве этой плоскости.

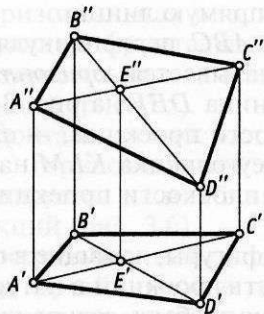


Рис. 3.1

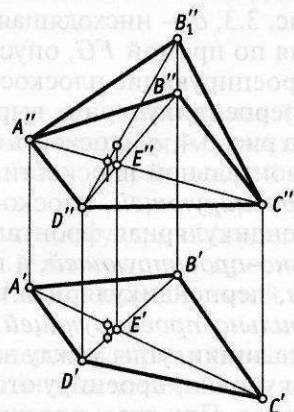


Рис. 3.2

Плоскую фигуру можно построить из любого числа точек, но при этом необходимо помнить, что все диагонали плоской фигуры должны пересекаться, а точки пересечения проекций диагоналей должны лежать на одной линии связи.

Трапеция  $ABCD$  на рис. 3.1 является плоской, так как ее диагонали  $AC$  и  $BD$  пересекаются в точке  $E$ .

Подняв точку  $B$  выше, получим трапецию  $AB_1CD$  (рис. 3.2), которая не является плоской, так как ее диагонали  $AC$  и  $B_1D$  не пересекаются ( $AC$  и  $B_1D$  — скрещивающиеся прямые) и точки пересечения их проекций не лежат на одной линии связи.

**Положение плоскости относительно плоскостей проекций.** Плоскость в пространстве может занимать *общее положение*, т. е. положение, при котором она не параллельна и не перпендикулярна ни одной из плоскостей проекций.

Плоскость, перпендикулярная одной из плоскостей проекций, называется *проецирующей*.

Плоскость, параллельная одной из плоскостей проекций, будет перпендикулярной (проецирующей) к двум другим плоскостям проекций, что очевидно из расположения трех взаимно-перпендикулярных плоскостей проекций системы параллельного прямоугольного проецирования. Плоскости, параллельные одной из плоскостей проекций, называются также *плоскостями уровня*.

Плоскость общего положения, как и прямая линия, может быть восходящей и нисходящей. Если точки плоскости поднимаются, удаляясь от наблюдателя, плоскость называется *восходящей*, если же они опускаются, — *нисходящей*.

На рис. 3.3, *а* точки плоскости, заданной треугольником  $ABC$ , удаляясь от наблюдателя по прямой  $BD$ , принадлежащей этой плоскости, от точки  $B$  к точке  $D$ , поднимаются вверх, следовательно, данная плоскость является восходящей. Плоскость  $EFH$  на рис. 3.3, *б* — нисходящая, так как ее точки, удаляясь от наблюдателя по прямой  $FG$ , опускаются вниз.

Проецирующие плоскости в плоскостях проекций, к которым они перпендикулярны, вырождаются в прямую линию.

На рис. 3.4, *а* плоскость треугольника  $ABC$ , перпендикулярная горизонтальной плоскости проекций, называется *горизонтально-проецирующей*, плоскость треугольника  $DEF$  на рис. 3.4, *б*, перпендикулярная фронтальной плоскости проекций, — *фронтально-проецирующей*, а плоскость треугольника  $KLM$  на рис. 3.4, *в*, перпендикулярная профильной плоскости проекций, — *профильно-проецирующей*.

Все линии, углы между ними, а также фигуры, лежащие в плоскости уровня, проецируются на плоскость проекций в натуральном виде. При этом плоскости уровня могут быть *горизонтальными*, *фронтальными* и *профильными*.

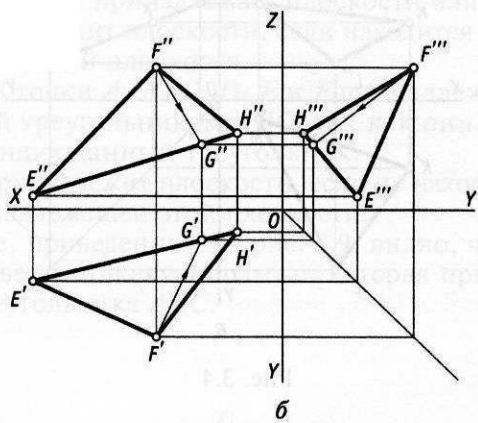
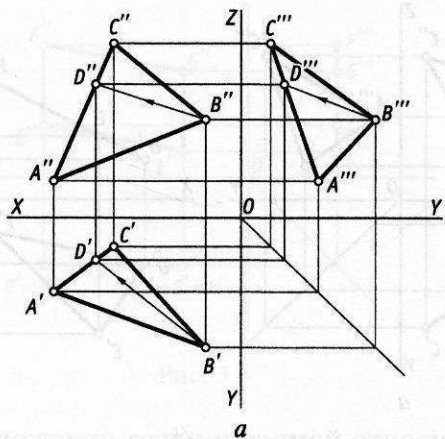
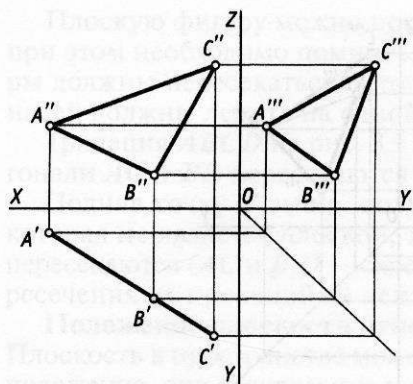


Рис. 3.3

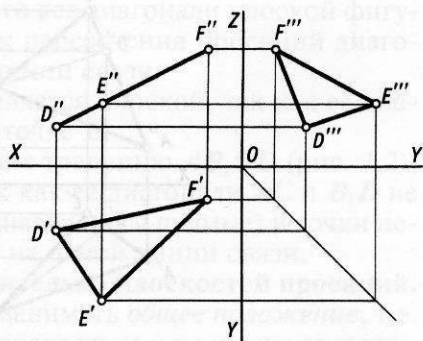
Горизонтальная плоскость уровня, перпендикулярная (проецирующая) фронтальной и профильной плоскостям проекций, проецируется на них в виде прямой линии, параллельной осям проекций (рис. 3.5).

Фронтальная плоскость уровня, перпендикулярная (проецирующая) горизонтальной и профильной плоскостям проекций, проецируется на них в виде прямой линии, параллельной осям проекций (рис. 3.6).

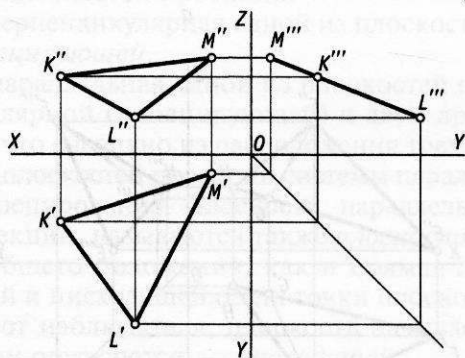
Профильная плоскость уровня, перпендикулярная (проецирующая) фронтальной и горизонтальной плоскостям проекций, проецируется на них в виде прямой линии, параллельной осям проекций (рис. 3.7).



a



б



в

Рис. 3.4

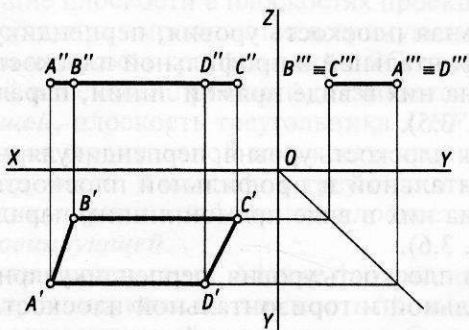


Рис. 3.5

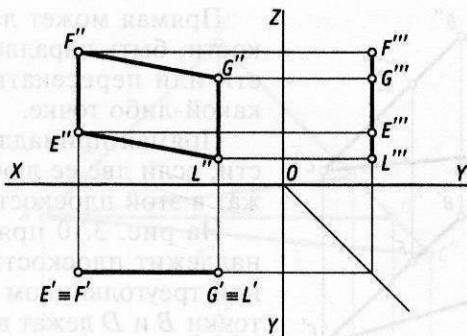


Рис. 3.6

**Взаимное положение точки и прямой относительно плоскости.** Точка может принадлежать плоскости или лежать вне ее.

Точка принадлежит плоскости, если находится на любой прямой, лежащей в этой плоскости.

На рис. 3.8 точки  $A, B, C, D, E$  и  $F$  принадлежат плоскости, образованной треугольником  $ABC$ , так как они лежат на прямых, образующих данный треугольник.

Точка не принадлежит плоскости, если не находится на любой прямой, принадлежащей этой плоскости.

На чертеже, приведенном на рис. 3.9, видно, что через точку  $D$  нельзя провести никакую прямую, которая принадлежала бы плоскости треугольника  $ABC$ .

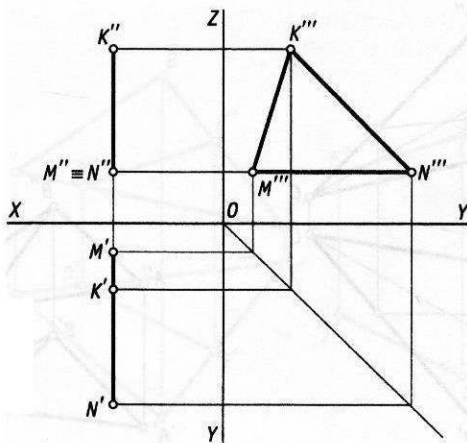


Рис. 3.7



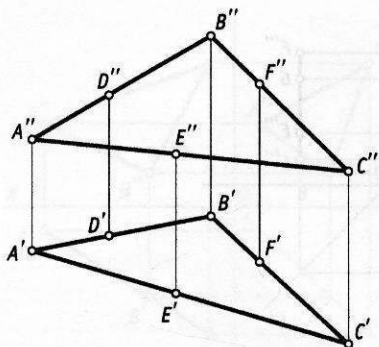


Рис. 3.8

Прямая может лежать в плоскости, быть параллельна плоскости или пересекать плоскость в какой-либо точке.

Прямая принадлежит плоскости, если две ее любые точки лежат в этой плоскости.

На рис. 3.10 прямая  $BD$  принадлежит плоскости, образованной треугольником  $ABC$ , так как точки  $B$  и  $D$  лежат в этой плоскости.

Из множества прямых, принадлежащих плоскости, выделяют линии, параллельные плоскостям проекций.

Эти линии, характеризующие направление плоскости в пространстве, называются *главными линиями плоскости*: *горизонталь* (параллельна горизонтальной плоскости проекций), *фронталь* (параллельна фронтальной плоскости проекций) и *профильная прямая* (параллельна профильной плоскости проекций).

В плоскости, образованной треугольником  $ABC$  на рис. 3.11, линия  $AD$  — горизонталь,  $AE$  — фронталь, а  $BF$  — профильная прямая.

Прямая параллельна плоскости, если она параллельна любой прямой, лежащей в этой плоскости.

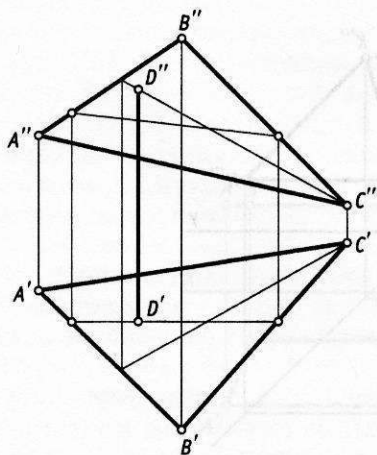


Рис. 3.9

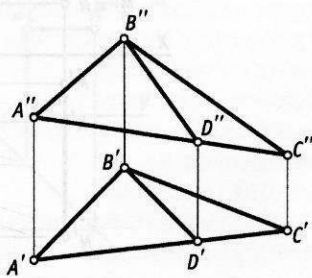


Рис. 3.10

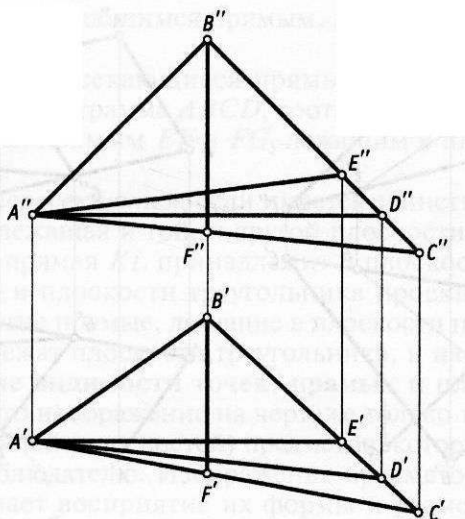


Рис. 3.11

На рис. 3.12 прямая  $FG$  параллельна прямой  $DE$ , лежащей в плоскости треугольника  $ABC$  (так как проекция  $F''G''$  параллельна проекции  $D''E''$ , а проекция  $F'G'$  параллельна проекции  $D'E'$ ), следовательно, прямая  $FG$  параллельна плоскости  $ABC$ .

Прямая пересекает плоскость, если у них имеется единственная совместная точка.

На рис. 3.13 прямая  $FG$  пересекает прямую  $DE$ , лежащую в плоскости треугольника  $ABC$ , в точке  $K$ , следовательно, прямая

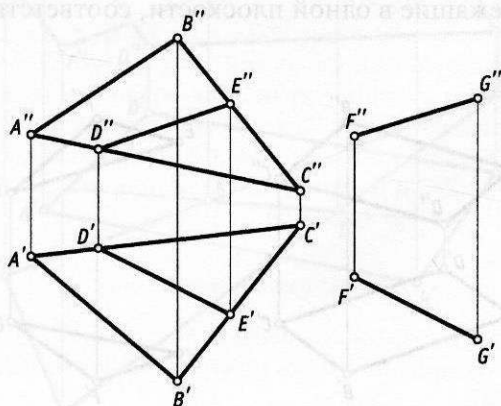


Рис. 3.12

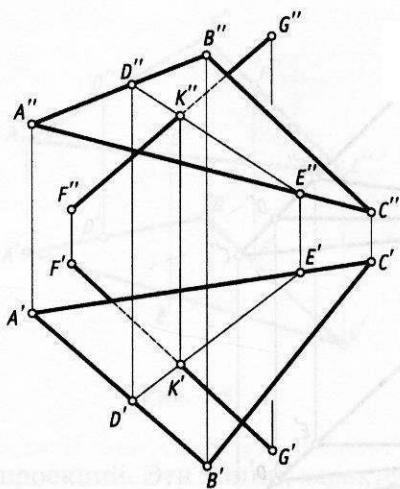


Рис. 3.13

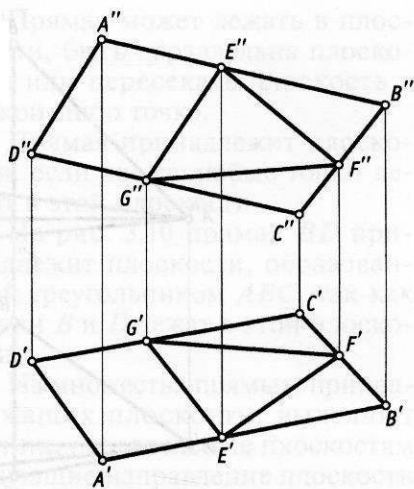


Рис. 3.14

$FG$  пересекает плоскость треугольника  $ABC$  в точке  $K$ , принадлежащей плоскости  $ABC$ .

**Взаимное положение двух плоскостей.** Плоскости могут сливаться в пространстве, быть параллельными или пересекаться.

Плоскости *сливаются*, если две прямые, принадлежащие одной плоскости, одновременно принадлежат и другой плоскости.

На рис. 3.14 плоскости, образованные параллелограммом  $ABCD$  и треугольником  $EFG$ , сливаются, так как на плоскостях проекций видно, что любые две прямые одной плоскости принадлежат и другой плоскости.

Плоскости *параллельны* между собой, если две пересекающиеся прямые, лежащие в одной плоскости, соответственно парал-

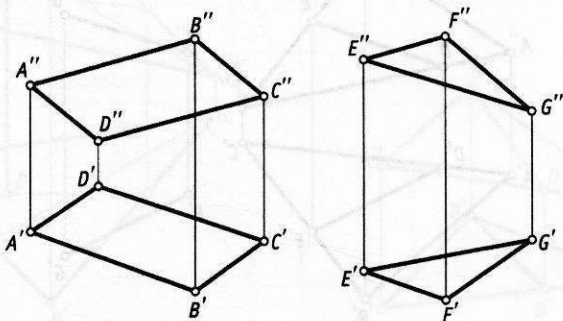


Рис. 3.15

лельны двум пересекающимся прямым, лежащим в другой плоскости.

На рис. 3.15 пересекающиеся прямые  $AB$  и  $BC$ , лежащие в плоскости параллелограмма  $ABCD$ , соответственно параллельны пересекающимся прямым  $EF$  и  $FG$ , лежащим в плоскости треугольника  $EFG$ .

Плоскости *пересекаются*, если имеется единственная прямая линия, принадлежащая и той, и другой плоскости.

На рис. 3.16 прямая  $KL$  принадлежит и плоскости параллелограмма  $ABCD$ , и плоскости треугольника проекций  $EFG$ . При этом любые другие прямые, лежащие в плоскости параллелограмма, не принадлежат плоскости треугольника, и наоборот.

**Определение видимости точек, прямых и плоских фигур.** Видимость — это изображение на чертеже только тех точек, прямых и поверхностей (плоскостей) предметов, которые расположены ближе к наблюдателю. Изображение предметов с учетом видимости улучшает восприятие их формы и размещения в пространстве.

Определение видимости — это определение точек предмета, лежащих на одном луче проецирования (называемых конкурирующими), и обозначение на чертеже только тех из них, которые расположены по этому лучу ближе к наблюдателю. Если необходимо указать невидимые точки, их обозначения на той плоско-

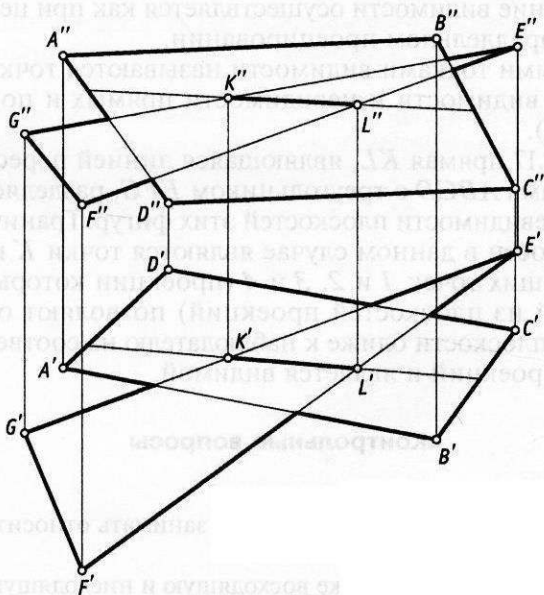


Рис. 3.16

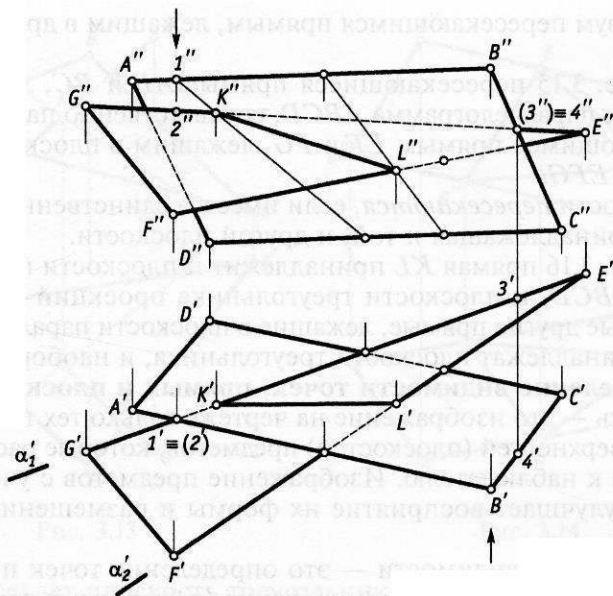


Рис. 3.17

сти проекций, где проекции точек совпадают, заключают в круглые скобки. Невидимые линии изображаются на чертеже штриховыми линиями.

Определение видимости осуществляется как при центральном, так и при параллельном проецировании.

Граничными точками видимости называются точки, разделяющие зоны видимости и невидимости прямых и поверхностей (плоскостей).

На рис. 3.17 прямая  $KL$ , являющаяся линией пересечения параллелограмма  $ABCD$  с треугольником  $EFG$ , разделяет зоны видимости и невидимости плоскостей этих фигур. Граничными точками видимости в данном случае являются точки  $K$  и  $L$ , а пары конкурирующих точек  $1$  и  $2$ ,  $3$  и  $4$  (проекции которых совпадают на одной из плоскостей проекций) позволяют определить, какая часть плоскости ближе к наблюдателю на соответствующей плоскости проекций и является видимой.

### Контрольные вопросы

1. Как задается плоскость на чертеже?
2. Какие положения плоскость может занимать относительно плоскостей проекций?
3. Как определить на чертеже восходящую и нисходящую плоскости общего положения?

4. Какие положения занимают горизонтально-проецирующая, фронтально-проецирующая и профильно-проецирующая плоскости?
5. Как определить углы между проецирующими плоскостями и плоскостями проекций?
6. Где располагается проекция любой точки, находящейся в проецирующих плоскостях?
7. Какие положения занимают плоскости уровня?
8. Как определяются углы наклона плоскости уровня к плоскостям проекций?
9. Каково условие принадлежности точки плоскости?
10. Дайте определения горизонтали, фронтали и профильной прямой плоскости.
11. Каковы условия параллельности прямой и плоскости?
12. Как могут располагаться две плоскости относительно друг друга?

Использование частных положений прямых линий и плоских фигур относительно плоскостей проекций значительно упрощает построение чертежа и позволяет отобразить натуральные размеры прямых линий, плоских фигур, расположенных на одной плоскости проекций, и расстояний между ними. Для такого преобразования чертежа используют:

- введение дополнительных плоскостей проекций таким образом, чтобы прямая линия или плоская фигура, не изменяя своего положения в пространстве, оказалась в каком-либо частном положении в новой системе плоскостей проекций — способ перемены плоскостей проекций;

- изменение положения прямой линии или плоской фигуры посредством поворота вокруг некоторой оси таким образом, чтобы прямая или плоская фигура оказалась в частном положении относительно неизменной системы плоскостей проекций — способ вращения.

Преобразование чертежа (для достижения необходимого результата) при определении натуральных размеров отрезков и углов может осуществляться многократно одним или разными способами.

**Способ перемены плоскостей проекций.** При использовании способа перемены плоскостей проекций (рис. 4.1) положение то-

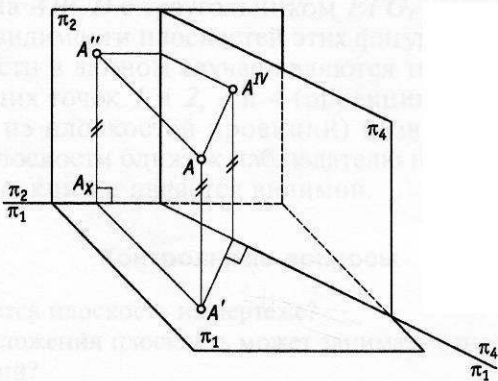


Рис. 4.1

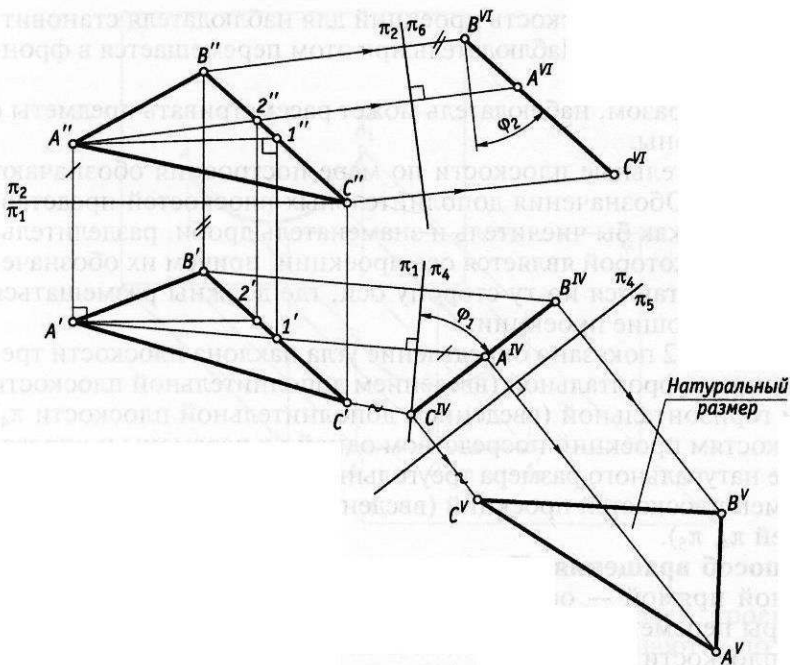


Рис. 4.2

чек, линий, плоских фигур, поверхностей в пространстве остается неизменным, а система  $\pi_1, \pi_2$  дополняется плоскостями, образующими с  $\pi_1$  или  $\pi_2$ , или между собой системы двух взаимно-перпендикулярных плоскостей, принимаемых за плоскости проекций.

При введении дополнительной плоскости проекций проводят новую ось системы проекций (рис. 4.2), разделяющую две плоскости проекций в новой системе проекций. При этом новую ось проводят либо параллельно, либо перпендикулярно проекциям прямых, чтобы получить частное положение этих прямых в новой системе проекций.

При построении в новой системе плоскостей следует соблюдать те же условия положения наблюдателя, которые были установлены в первоначальной системе проекций.

Если новая ось проводится на горизонтальной плоскости, значит, изменяется положение фронтальной плоскости проекций и дополнительная плоскость проекций для наблюдателя становится фронтальной. Наблюдатель при этом перемещается в горизонтальной плоскости.

Если новая ось проводится на фронтальной плоскости, значит, изменяется положение горизонтальной плоскости проекций и



дополнительная плоскость проекций для наблюдателя становится горизонтальной. Наблюдатель при этом перемещается в фронтальной плоскости.

Таким образом, наблюдатель может рассматривать предметы с любой стороны.

Дополнительные плоскости по мере построения обозначают  $\pi_4$ ,  $\pi_5$  и т. д. Обозначения дополнительных плоскостей представляют собой как бы числитель и знаменатель дроби, разделительной чертой которой является ось проекций, причем их обозначения располагаются по ту сторону оси, где должны размещаться соответствующие проекции.

На рис. 4.2 показано определение угла наклона плоскости треугольника к фронтальной (введением дополнительной плоскости  $\pi_6$ ) и горизонтальной (введением дополнительной плоскости  $\pi_4$ ) плоскостям проекций посредством одной их перемены и определение натурального размера треугольника  $ABC$  выполнением двух перемен плоскостей проекций (введением дополнительных плоскостей  $\pi_4$ ,  $\pi_5$ ).

**Способ вращения.** При вращении вокруг некоторой неподвижной прямой — оси вращения — каждая точка вращаемой фигуры перемещается в плоскости, перпендикулярной этой оси (т. е. плоскости вращения).

Точка вращаемой фигуры перемещается по окружности, центр которой находится в точке пересечения оси вращения этой фигуры с плоскостью вращения, называемой центром вращения, а радиус этой окружности равен расстоянию от вращаемой точки до центра вращения и называется радиусом вращения.

Если какая-либо из точек данной системы находится на оси вращения, то при ее вращении эта точка считается неподвижной.

Ось вращения может быть задана или выбрана. В последнем случае ее выгодно располагать перпендикулярно одной из плоскостей проекций, так как при этом упрощаются построения.

Действительно, если ось вращения перпендикулярна, например, плоскости  $\pi_2$ , то плоскость, в которой происходит вращение точки, параллельна плоскости  $\pi_2$ . Следовательно, траектория этой точки на плоскость  $\pi_2$  проецируется в виде окружности без искажения, а на плоскость  $\pi_1$  — в виде отрезка прямой линии (рис. 4.3).

На рис. 4.4 показан поворот треугольника  $ABC$  вокруг выбранной оси  $O$  на угол  $\varphi$ .

Если вращать отрезок прямой линии или плоскую фигуру вокруг оси, перпендикулярной плоскости проекций, то проекция на эту плоскость не изменится ни по виду, ни по размеру, изменится лишь положение этой проекции относительно оси проекций. Что же касается проекции на плоскость, параллельную оси вра-

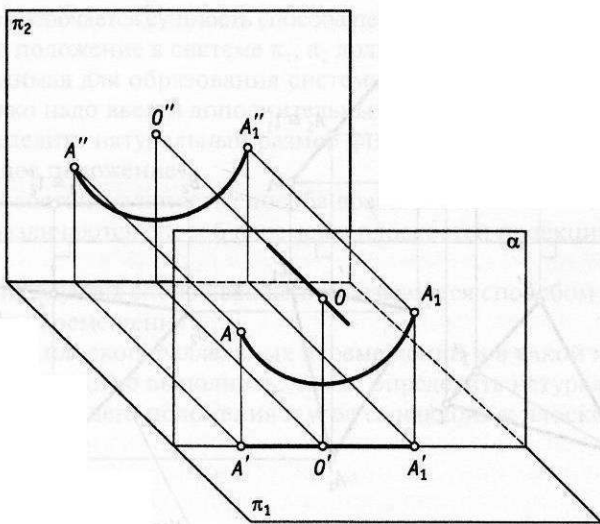


Рис. 4.3

щения, все ее точки (за исключением, конечно, точек, проекции которых расположены на оси вращения) перемещаются по прямым, параллельным оси проекций, и, следовательно, изменяются ее форма и размер. В этом случае можно не указывать проек-

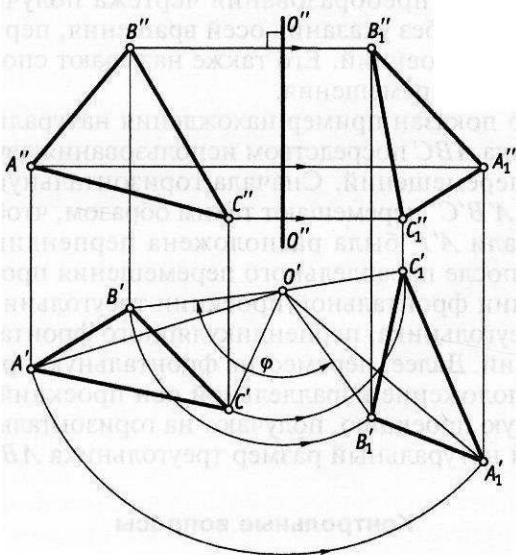


Рис. 4.4

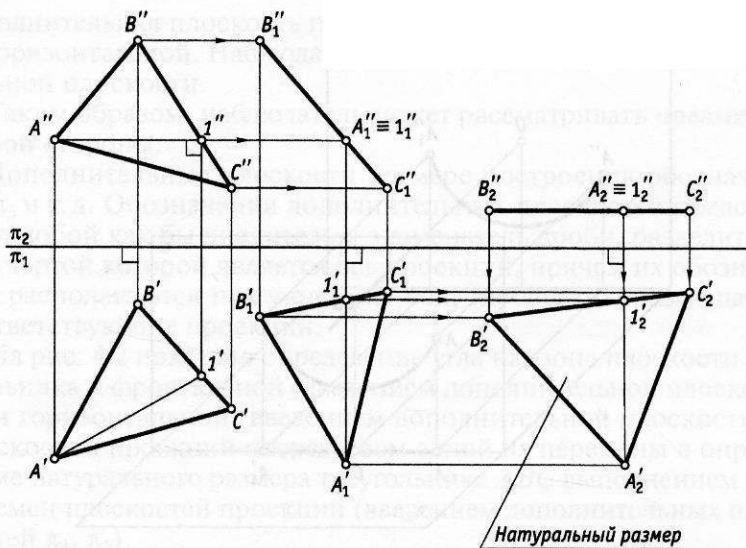


Рис. 4.5

цию оси вращения, не устанавливая радиус вращения, а, не изменяя вид и размер одной из проекций заданной плоской фигуры, переместить ее в требуемое положение и построить другую проекцию с помощью линий, параллельных оси проекций.

Данный способ преобразования чертежа получил название способа вращения без указания осей вращения, перпендикулярных плоскостям проекций. Его также называют способом плоскопараллельного перемещения.

На рис. 4.5 показан пример нахождения натурального размера треугольника  $ABC$  посредством использования двух плоскопараллельных перемещений. Сначала горизонтальную проекцию треугольника  $A'B'C'$  перемещают таким образом, чтобы проекция его горизонтали  $A'I'$  была расположена перпендикулярно оси проекций, и после параллельного перемещения проекций точек при построении фронтальной проекции треугольника получают плоскость треугольника, перпендикулярную фронтальной плоскости проекций. Далее, переместив фронтальную проекцию треугольника в положение параллельной оси проекций и построив горизонтальную проекцию, получают на горизонтальной плоскости проекций натуральный размер треугольника  $ABC$ .

### Контрольные вопросы

1. Для чего требуется преобразовывать чертежи?
2. Какие способы преобразования чертежа вы знаете?

3. В чем заключается сущность способа перемены плоскостей проекции?
4. Какое положение в системе  $\pi_1, \pi_2$  должна занять плоскость  $\pi_3$  проекций, вводимая для образования системы  $\pi_4, \pi_1$ ?
5. Сколько надо ввести дополнительных плоскостей в систему  $\pi_1, \pi_2$ , чтобы определить натуральный размер фигуры, плоскость которой занимает общее положение?
6. В чем состоит сущность способа вращения?
7. Чем различаются способ перемены плоскостей проекций и способ вращения?
8. В каких случаях способ вращения называется способом плоскопараллельного перемещения?
9. Сколько плоскопараллельных перемещений и в какой последовательности необходимо выполнить, чтобы определить натуральный размер плоскости общего положения и угол ее наклона к плоскостям проекций?

## 5.1. Построение проекций многогранника

*Многогранником* называется часть пространства, ограниченная со всех сторон плоскими фигурами — многоугольниками (гранями). Линия, принадлежащая одновременно двум граням, называется *ребром* многогранника, а точка, принадлежащая одновременно трем или более ребрам, — его *вершиной*.

Так как многогранник состоит из таких геометрических объектов как вершины (точки), ребра (отрезки прямых линий) и грани (многоугольники), то при построении чертежа этого тела необходимо выполнять следующие условия их проецирования.

1. На проекциях многогранника вершины должны находиться попарно на линиях связи (рис. 5.1).

2. Если хотя бы одна грань многогранника является многоугольником с числом сторон больше трех, необходимо найти все вершины многоугольника в этой плоскости.

3. Контур многогранника всегда является видимым, а видимость линий внутри контура определяется методом конкурирующих точек (на рис. 5.1 это точки 1 и 2).

4. В начертательной геометрии проекции вершин многогранника обозначают буквами или цифрами, что позволяет по двум проекциям однозначно определить третью проекцию.

Очень важно уметь строить проекции точек и линий, принадлежащих поверхности геометрического тела.

Например, задана фронтальная проекция  $K''$  точки  $K$  на поверхности многогранника (см. рис. 5.1). Определим горизонтальную проекцию этой точки.

Недостающие проекции точки, лежащей на поверхности многогранника, строятся следующим образом:

- через заданную проекцию точки проводят проекцию произвольной прямой, принадлежащей соответствующей грани, —  $S''M''$ ;

- находят вторую проекцию этой прямой —  $S'M'$ ;

- с помощью линий связи находят недостающую проекцию точки  $K'$  на найденной проекции прямой —  $S'M'$ .

При рассмотрении построений изображений многогранников ограничимся проецированием пирамиды и призмы.

*Пирамидой* называется многогранник, одна из граней которого является произвольным многоугольником (основанием), а его

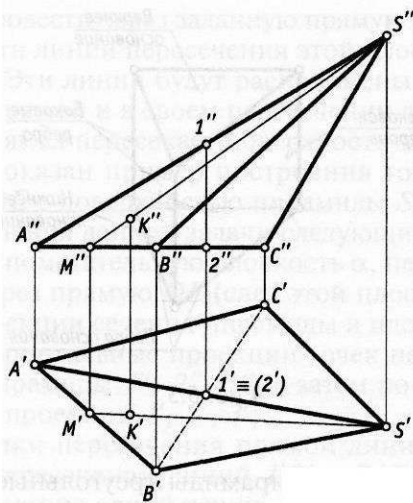


Рис. 5.1

остальные грани (боковые) — это треугольники, имеющие общую вершину. На рис. 5.2 изображена пирамида  $SABCD$ , имеющая основание  $ABCD$  и боковые грани — треугольники  $SAB$ ,  $SBC$ ,  $SCD$ ,  $SAD$  с общей вершиной  $S$ .

Стороны  $SA$ ,  $SB$ ,  $SC$ ,  $SD$  граней пирамиды — боковые ребра и стороны  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ ,  $AD$  при основании — ребра основания — являются отрезками прямых линий.

Пирамида называется *правильной*, если ее основанием является правильный многоугольник, а вершина проецируется в центр основания. Все боковые ребра правильной пирамиды конгруэнтны, а все ее боковые грани — конгруэнтные равнобедренные треугольники. В зависимости от вида многоугольника, лежащего

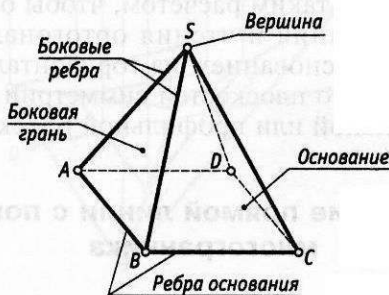


Рис. 5.2

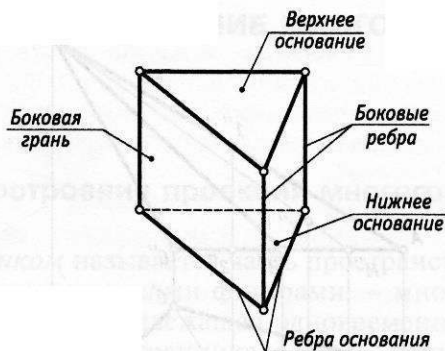


Рис. 5.3

в основании, различают пирамиды треугольные, четырехугольные, пятиугольные и т. д.

*Призмой* называется многогранник, две грани которого —  $n$ -угольники, лежащие в параллельных плоскостях, а остальные  $n$  граней — параллелограммы (рис. 5.3).

Многоугольники, лежащие в параллельных плоскостях, являются основаниями призмы, а параллелограммы — ее боковыми гранями. Основания призмы конгруэнтны. Объединенные боковые грани представляют собой боковую поверхность призмы.

По числу углов основания призмы подразделяют на треугольные, четырехугольные, пятиугольные и т. д.

Призма называется *прямой*, если ее боковые ребра перпендикулярны плоскостям основания, и *наклонной* — в противном случае.

Перед построением ортогонального чертежа геометрического тела необходимо произвести анализ формы этого тела и составляющих ее геометрических элементов.

Положение геометрического тела по отношению к плоскостям проекций выбирают с таким расчетом, чтобы оно обеспечивало удобство проецирования и чтения ортогонального чертежа. Обычно тело ставят основанием на горизонтальную плоскость проекций и одну из его плоскостей симметрии располагают параллельно фронтальной или профильной плоскости проекций.

## 5.2. Пересечение прямой линии с поверхностью многогранника

При пересечении поверхности призмы или пирамиды прямой линией получают две точки — входа и выхода. Чтобы найти эти

точки, следует провести через заданную прямую вспомогательную плоскость и найти линии пересечения этой плоскости с гранями многогранника. Эти линии будут расположены в одной плоскости с заданной прямой и в своем пересечении дадут точки, в которых данная прямая пересекает поверхность многогранника.

На рис. 5.4 показан пример построения точек пересечения прямой линии  $DE$  с поверхностью пирамиды  $SABC$ .

Алгоритм решения данной задачи следующий:

- проводим вспомогательную плоскость  $\alpha$ , перпендикулярную плоскости  $\pi_2$ , через прямую  $DE$  (след этой плоскости  $\alpha''$ );
- находим проекции сечения пирамиды и плоскости  $\alpha$ . Сначала определяем фронтальные проекции точек пересечения плоскости и ребер пирамиды  $1''$ ,  $2''$ ,  $3''$ , а затем по линиям связи — горизонтальные проекции  $1'$ ,  $2'$ ,  $3'$ ;
- находим точки пересечения прямой линии  $DE$  с гранями пирамиды. На пересечении линий  $1'2'$  и  $D'E'$  получаем горизонтальную проекцию одной точки —  $K'$ , а на пересечении линий  $2'3'$  и  $D'E'$  — проекцию второй точки —  $M'$ . По горизонтальным проекциям определяем положение фронтальных проекций —  $K''$  и  $M''$ ;
- определяем видимость, т.е. между точками  $K$  и  $M$  отрезок прямой линии будет невидимым.

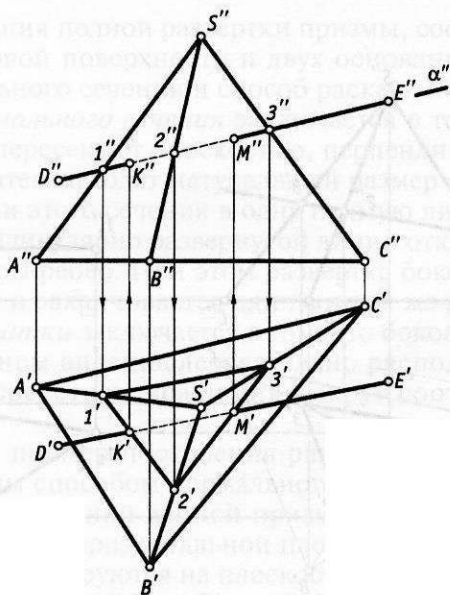


Рис. 5.4



### 5.3. Пересечение многогранника плоскостью

Линия пересечения гранной поверхности плоскостью есть плоская замкнутая ломаная линия. Звенья этой линии являются линиями пересечения соответствующих граней многогранника и секущей плоскости.

На рис. 5.5 в качестве примера заданы пирамида  $SABC$  и секущая плоскость  $\alpha$ , перпендикулярная плоскости  $\pi_2$ . Определим проекции сечения и его натуральный размер.

Для построения фигуры, получаемой при пересечении пирамиды плоскостью, найдем точки, в которых ребра пирамиды пересекают эту плоскость:  $1$  — точка пересечения ребра  $SA$  с плоскостью  $\alpha$ ,  $2$  — точка пересечения ребра  $SB$  с плоскостью  $\alpha$ ,  $3$  — точка пересечения ребра  $SC$  с плоскостью  $\alpha$ .

На фронтальной плоскости проекций определяем проекции этих точек —  $1''$ ,  $2''$ ,  $3''$ , а затем по линиям связи находим горизонтальные проекции —  $1'$ ,  $2'$ ,  $3'$ . Соединив проекции на горизонтальной плоскости проекций, получим горизонтальную проекцию сечения. На фронтальной плоскости проекций проекция сечения совпадает со следом секущей плоскости ( $1''$ ,  $2''$ ,  $3''$ ).

Для определения натурального размера сечения применяют один из способов преобразования чертежа. В данном примере используем способ плоскопараллельного перемещения (см. рис. 4.5).

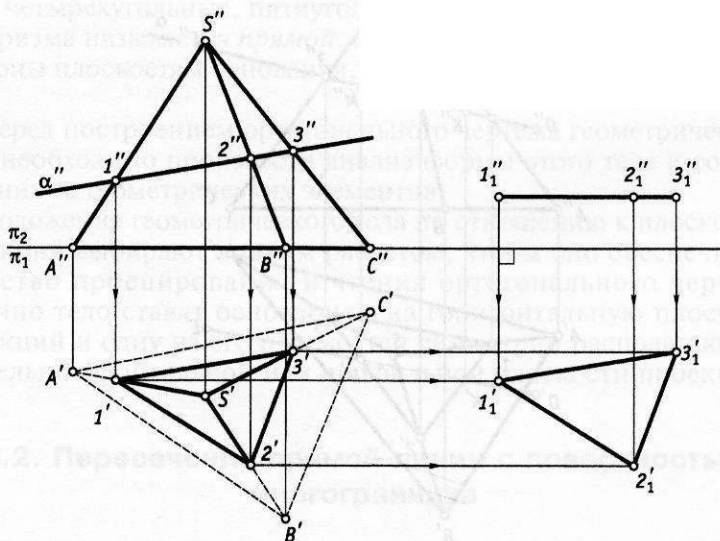


Рис. 5.5

Полученная проекция  $1'_1, 2'_1, 3'_1$  является натуральным размером сечения пирамиды плоскостью.

## 5.4. Развертки гранных поверхностей

*Разверткой* называется фигура, получаемая при перемещении всех граней многогранника в плоскости чертежа, причем без складок и разрывов.

Построение развертки поверхности многогранника сводится к построению изображений его граней в натуральном виде.

Рассмотрим полную развертку поверхности пирамиды, состоящей из боковой поверхности и основания.

На рис. 5.6 дан чертеж трехгранной пирамиды, из которого видно, что основание пирамиды треугольник  $ABC$  параллелен плоскости  $\pi_1$ . Следовательно, горизонтальные проекции ребер при основании пирамиды изображены в натуральном виде, т.е.  $A'C' = AC$ ,  $A'B' = AB$ ,  $B'C' = BC$ , а ее боковые ребра — это отрезки прямых линий общего положения. Натуральный размер боковых ребер на рис. 5.6 определен методом плоскопараллельного перемещения:  $S''_1A''_1 = SA$ ,  $S''_1B''_1 = SB$ ,  $S''_1C''_1 = SC$ . Далее по натуральным размерам ребер, учитывая общие вершины треугольников, которые являются гранями пирамиды, строим развертку.

Для построения полной развертки призмы, состоящей из развертки ее боковой поверхности и двух оснований, используют способ нормального сечения и способ раскатки.

*Способ нормального сечения* заключается в том, что поверхность призмы пересекают плоскостью, перпендикулярной боковым ребрам. Затем находят натуральный размер сечения, разворачивают линии этого сечения в одну прямую линию и в точках сечения перпендикулярно развернутой линии откладывают натуральные размеры ребер. При этом развертка боковой поверхности начинается и заканчивается одним и тем же ребром.

*Способ раскатки* заключается в том, что боковые грани призмы в натуральном виде последовательно располагают в одной плоскости посредством вращения вокруг соответствующего ребра.

Рассмотрим пример построения развертки трехгранной наклонной призмы способом нормального сечения (рис. 5.7).

Плоскости оснований данной призмы (треугольники  $ABC$  и  $EFD$ ) параллельны горизонтальной плоскости проекций, и ребра основания проецируются на плоскость  $\pi_1$  в натуральном виде, т.е.  $A'B' = AB$ ,  $B'C' = BC$ ,  $A'C' = AC$ . Боковые ребра этой призмы параллельны плоскости  $\pi_2$  и, следовательно, проецируются

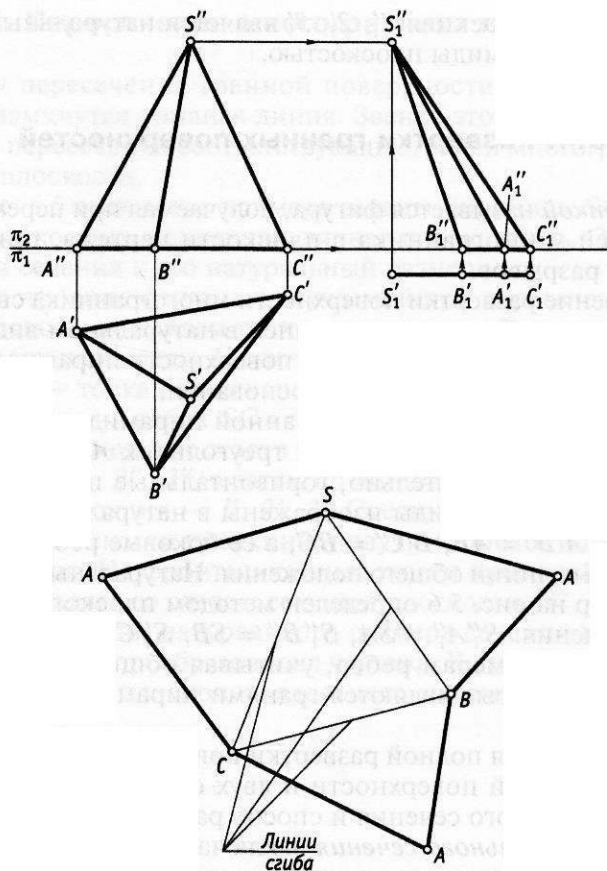


Рис. 5.6

на фронтальную плоскость тоже в натуральном виде, т. е.  $A''E'' = AE$ ,  $B''F'' = BF$ ,  $C''D'' = CD$ .

Для построения боковых граней (четыреугольников) пересечем заданную поверхность призмы фронтально-проецирующей плоскостью  $\alpha$  (см. рис. 5.7), перпендикулярной боковым ребрам. При этом фронтальные проекции ребер и секущей плоскости будут взаимно-перпендикулярны, так как ребра являются фронтальными прямыми. В сечении получим треугольник  $123$ , фронтальная проекция которого  $1''2''3''$ , а горизонтальная —  $1'2'3'$ .

Натуральные размеры сторон этого треугольника определяем способом плоскопараллельного перемещения.

Замкнутую ломаную линию сечения  $1_1' 2_1' 3_1'$  развернем в прямую линию  $1231$ , и в точках  $1, 2, 3, 1$  проведем к ней перпендикуляры. Затем в точке  $1$  отложим вверх отрезок  $1A = 1''A''$ , а

вниз — отрезок  $IE = I'E'$ . Аналогично построим в натуральном виде ребра в точках 2, 3, 1 и пристроим к ребрам  $AC$  и  $DE$  стороны треугольников оснований в натуральном виде. Получим полную развертку поверхности призмы.

Рассмотрим пример построения развертки трехгранной наклонной призмы способом раскатки (рис. 5.8), который заключается в том, что грани призмы поворачиваются вокруг ребра до положения, параллельного плоскости  $\pi_2$ .

В этом случае вершины  $A, E, B, F, C, D$  призмы будут перемещаться в плоскостях, перпендикулярных ее ребрам, а так как грани изображаются на плоскости  $\pi_2$  без искажения, то, поворачивая одну грань за другой, получим боковую развертку данной

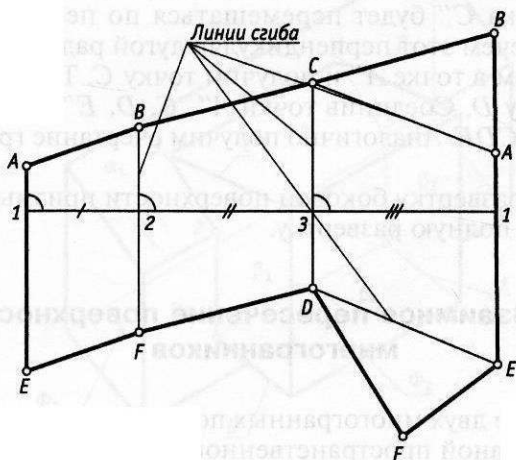
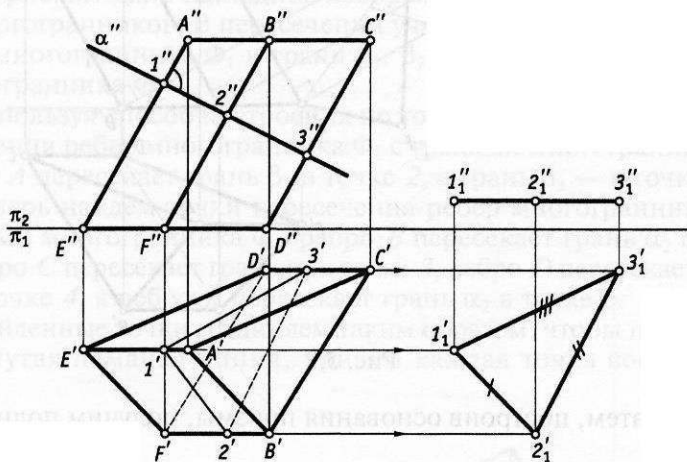


Рис. 5.7

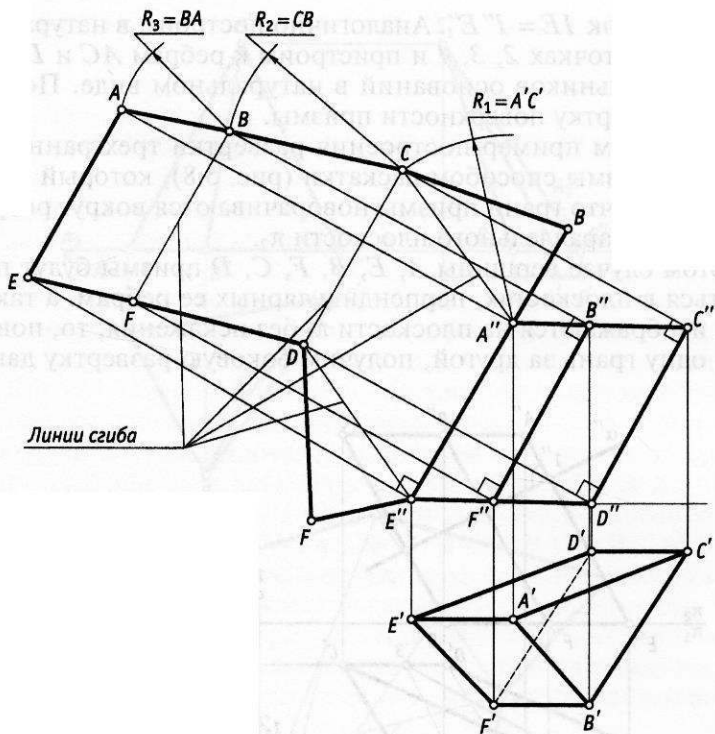


Рис. 5.8

призмы. Затем, построив основания призмы, получим полную ее развертку.

Начнем построение с грани  $AEDC$ . При ее вращении вокруг ребра  $AE$  точка  $C''$  будет перемещаться по перпендикуляру к  $C''D''$ . Пересечем этот перпендикуляр дугой радиуса  $R_1 = A'C' = AC$  с центром в точке  $A''$  и получим точку  $C$ . Также можно определить точку  $D$ . Соединив точки  $A''$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E''$ , получим очертание грани  $ACDE$ . Аналогично получим очертание граней  $CBFD$  и  $BAEF$ .

Дополнив развертку боковой поверхности призмы основаниями, получим полную развертку.

## 5.5. Взаимное пересечение поверхностей многогранников

Пересечение двух многогранных поверхностей происходит по замкнутой ломаной пространственной линии. В некоторых частных случаях линия пересечения может оказаться плоской.

Пересечение может быть полным или частичным. При полном пересечении получают две линии, а при частичном — одну.

Для построения линии пересечения многогранников применяют два способа: по точкам и по звеньям или их комбинации. При этом выбирают способ, который в зависимости от условий задания обуславливает наиболее простые построения.

*Способ построения по точкам* заключается в следующем. Определяем точки пересечения ребер первого многогранника с гранями второго и ребер второго с гранями первого. Через построенные точки последовательно проводим ломаную линию. При этом отрезки прямых линий проводим лишь через те точки, которые принадлежат одной и той же грани.

На рис. 5.9 дано наглядное изображение двух пересекающихся многогранников. В пересечении участвуют грани  $\alpha_1, \alpha_2$  и ребро  $A$  многогранника  $\Phi_1$  и грани  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  и ребра  $B, C, D, E$  многогранника  $\Phi_2$ .

Используя способ построения по точкам, определим точки пересечения ребер многогранника  $\Phi_1$  с гранями многогранника  $\Phi_2$ : ребро  $A$  пересекает грань  $\beta_1$  в точке 2, а грань  $\beta_3$  — в точке 5.

Теперь найдем точки пересечения ребер многогранника  $\Phi_2$  с гранями многогранника  $\Phi_1$ : ребро  $B$  пересекает грань  $\alpha_2$  в точке 1, ребро  $C$  пересекает грань  $\alpha_1$  в точке 3, ребро  $D$  пересекает грань  $\alpha_1$  в точке 4, а ребро  $E$  пересекает грань  $\alpha_2$  в точке 6.

Найденные точки соединяем таким образом, чтобы получилась замкнутая ломаная линия, причем каждая точка соединяется

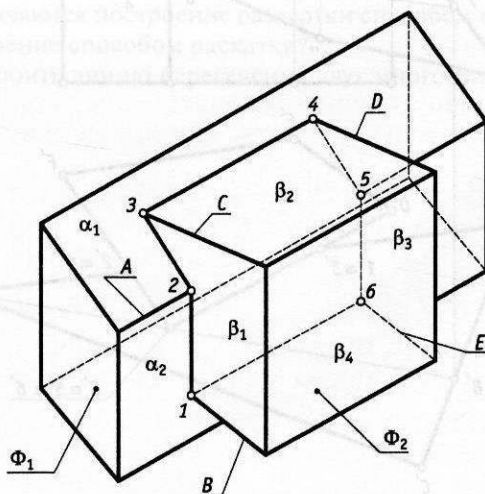


Рис. 5.9

только с двумя соседними точками. Соединять можно только точки, принадлежащие одной грани.

*Способ построения по звеньям* заключается в следующем. Определяем отрезки прямых линий, по которым грани первого многогранника пересекают грани второго многогранника.

Эти отрезки прямых линий являются звеньями ломаной линии, получаемой при взаимном пересечении многогранных поверхностей.

Найдем линии пересечения граней двух многогранников (рис. 5.9) и получим замкнутую ломаную пространственную линию:

- линия  $1\ 2$  — результат пересечения плоскостей  $\alpha_2$  и  $\beta_1$ ;
- линия  $2\ 3$  — результат пересечения плоскостей  $\alpha_1$  и  $\beta_1$ ;
- линия  $3\ 4$  — результат пересечения плоскостей  $\alpha_1$  и  $\beta_2$ ;
- линия  $4\ 5$  — результат пересечения плоскостей  $\alpha_1$  и  $\beta_3$ ;
- линия  $5\ 6$  — результат пересечения плоскостей  $\alpha_2$  и  $\beta_3$ ;
- линия  $6\ 1$  — результат пересечения плоскостей  $\alpha_2$  и  $\beta_4$ .

Для примера построим линию пересечения четырехгранной призмы  $DEFG$  и трехгранной пирамиды  $SABC$  (рис. 5.10).

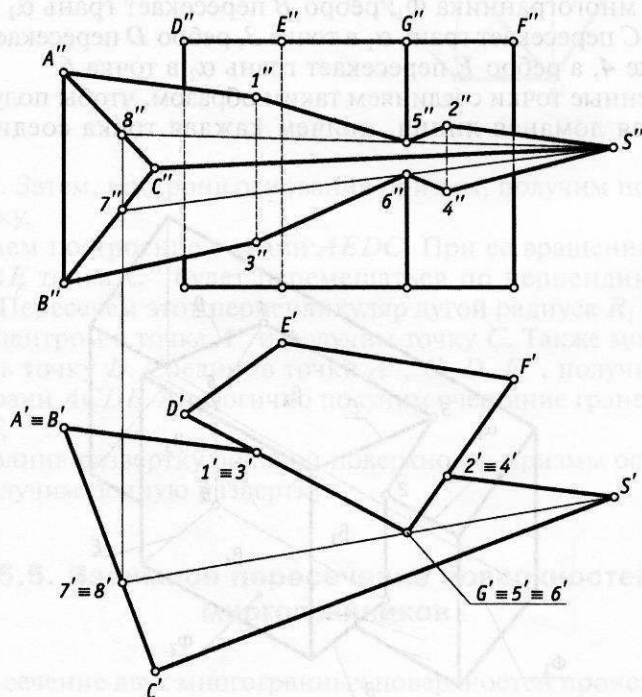


Рис. 5.10

Найдем точки пересечения ребер пирамиды с гранями призмы — 1, 2, 3, 4 и ребер призмы с гранями пирамиды — 5, 6.

Горизонтальные проекции  $1'$ ,  $2'$ ,  $3'$ ,  $4'$  точек пересечения находятся на боковых гранях призмы, являющихся горизонтально-проецирующими плоскостями.

Ребро  $G$  призмы является горизонтально-проецирующим, и проекции точек пересечения этого ребра с гранями пирамиды можно определить на горизонтальной проекции ребра  $G'$  ( $5'$  и  $6'$ ).

С помощью вспомогательных прямых  $S7$  и  $S8$  определим положение фронтальных проекций  $5''$  и  $6''$  точек.

Соединив полученные проекции точек, получим проекции линий пересечения двух многогранников. На горизонтальной плоскости проекций эта линия совпадает с горизонтальным очерком призмы, так как призма занимает частное положение.

### Контрольные вопросы

1. Что такое многогранник и каковы его элементы?
2. Какой многогранник называется пирамидой и какой — призмой?
3. Каковы условия проецирования многогранника?
4. Как построить недостающую проекцию точки, лежащей на поверхности многогранника?
5. Как построить фигуру сечения, получаемую при пересечении пирамиды или призмы плоскостью?
6. Как построить точки пересечения прямой линии с поверхностью многогранника?
7. Как построить развертку поверхности пирамиды?
8. Чем различаются построение развертки способом нормального сечения и построение способом раскатки?
9. Как построить линию пересечения двух многогранников?



### 6.1. Классификация аксонометрических проекций

*Аксонометрической проекцией* (или аксонометрией) называется наглядное изображение геометрического тела, полученное в результате параллельного проецирования его на некоторую плоскость, называемую плоскостью аксонометрических проекций (или картинной плоскостью), вместе с осями прямоугольных координат, которые определяют положение этого тела в пространстве (рис. 6.1).

При этом для обеспечения наибольшей наглядности изображения необходимо правильно выбрать направление аксонометрического проецирования  $S_\alpha$ , т. е. обеспечить видимость наибольшего числа элементов тела.

Аксонометрические изображения используют в технической документации для получения наиболее полного представления о форме предмета, однако при этом все ребра и грани полученной модели имеют искаженные размеры и форму, что затрудняет определение истинных размеров предмета.

Аксонометрическая проекция, полученная при прямоугольном проецировании на картинную плоскость, называется *прямоугольной*. Аксонометрическая проекция, полученная при выполнении проецирования на картинную плоскость под любым другим углом, называется *косоугольной*.

При косоугольном проецировании (в отличие от прямоугольного проецирования) происходит искажение пропорций отдельных частей тела, что неприемлемо при решении инженерных задач.

Оси пространственной системы координат, в которой находится рассматриваемый объект, спроецированные на картинную плоскость  $\alpha$  (рис. 6.2), называются аксонометрическими.

В зависимости от взаимного расположения осей координат, картинной плоскости и направления проецирования отрезки, откладываемые на осях, например  $x$ ,  $y$ ,  $z$  — координаты точки  $A$ , проецируются на картинную плоскость с различным искажением:

$$\frac{x_1}{x} = k; \quad \frac{y_1}{y} = m; \quad \frac{z_1}{z} = n.$$

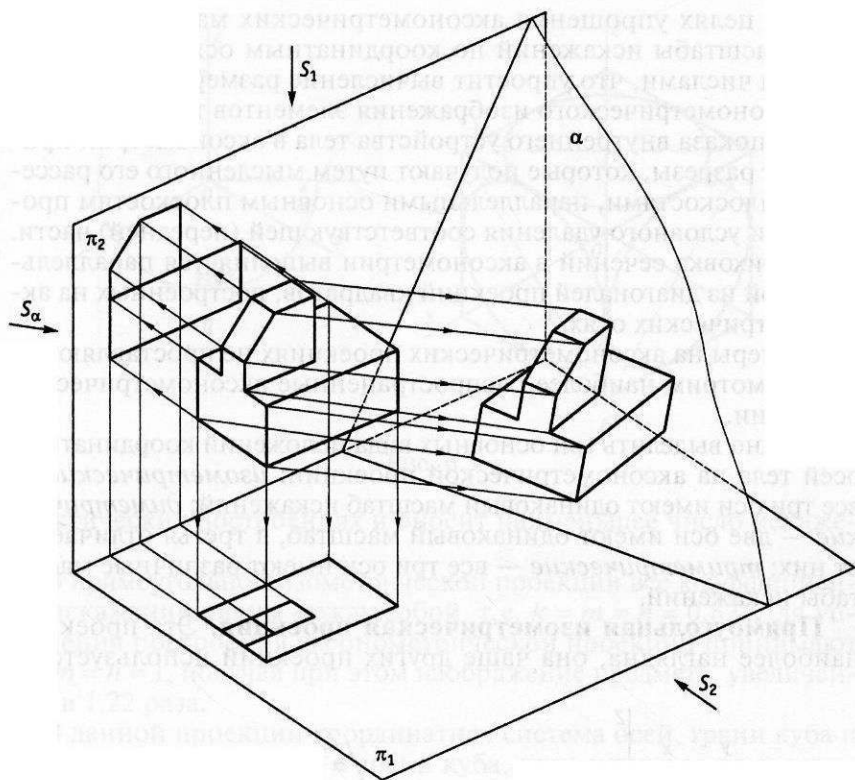


Рис. 6.1

Отношения  $k$ ,  $m$ ,  $n$  отрезков на аксонометрических осях к отрезкам на координатных осях называются *коэффициентами искажений* координат.

В случае равенства отрезков, откладываемых на координатных и аксонометрических осях, коэффициенты  $k$ ,  $m$ ,  $n$  равны единице и называются *приведенными*, а масштабы искажений — аксонометрическими.

По соотношению общих размеров тела и его изображения аксонометрические проекции подразделяются на две группы: *нормальные* (точные) и *увеличенные*.

Нормальные изображения получают при непосредственном аксонометрическом проецировании. При этом масштабы искажений по координатным осям будут в общем случае дробными числами, что затрудняет вычисление размеров тела и построение аксонометрического изображения.

Увеличенные аксонометрические изображения получают из нормальных изображений, пропорционально увеличивая их раз-

меры в целях упрощения аксонометрических масштабов, при этом масштабы искажений по координатным осям могут быть целыми числами, что упростит вычисление размеров и построение аксонометрического изображения элементов тела.

Для показа внутреннего устройства тела в аксонометрии применяют разрезы, которые получают путем мысленного его рассечения плоскостями, параллельными основным плоскостям проекций, и условного удаления соответствующей (передней) части.

Штриховка сечений в аксонометрии выполняется параллельно одной из диагоналей проекций квадратов, построенных на аксонометрических осях.

Размеры на аксонометрических проекциях не проставляются.

Рассмотрим наиболее распространенные аксонометрические проекции.

Можно выделить три основных вида положений координатных осей тела на аксонометрической проекции: *изометрические* — все три оси имеют одинаковый масштаб искажений; *диметрические* — две оси имеют одинаковый масштаб, а третья отличается от них; *триметрические* — все три оси имеют различные масштабы искажений.

**Прямоугольная изометрическая проекция.** Эта проекция наиболее наглядна, она чаще других проекций используется в

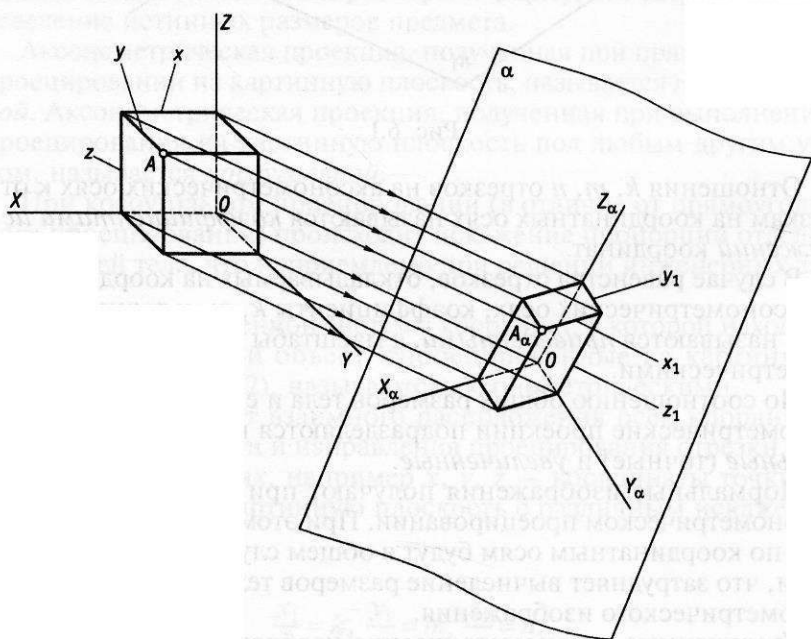


Рис. 6.2

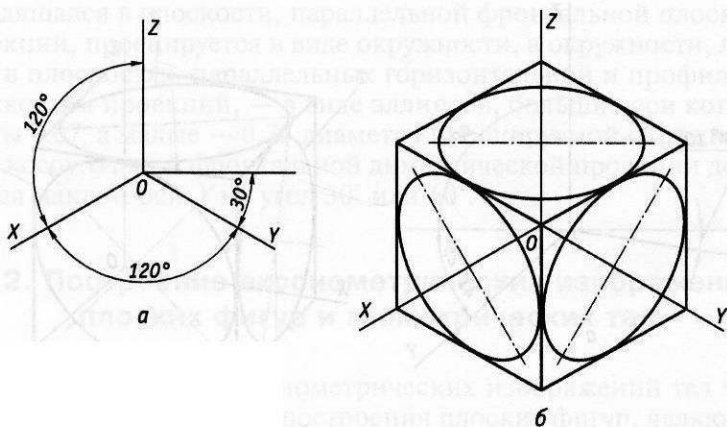


Рис. 6.3

практических построениях и вносит наименьшее число искажений.

В прямоугольной изометрической проекции все коэффициенты искажений равны между собой, т.е.  $k = m = n = 0,82$ . Для упрощения построения аксонометрической проекции принимают  $k = m = n = 1$ , получая при этом изображение предмета, увеличенное в 1,22 раза.

В данной проекции координатная система осей, грани куба и окружности, вписанные в грани куба, проецируются на аксонометрическую плоскость так, как показано на рис. 6.3. Все три получаемые при этом эллипса одинакового размера: их большие оси, перпендикулярные аксонометрическим осям, равны 1,22 диаметра окружности, а малые оси, совпадающие с аксонометрическими осями, равны 0,71 диаметра окружности.

**Прямоугольная диметрическая проекция.** В этой проекции предпочтительно строить изображения удлиненных тел.

В прямоугольной диметрической проекции коэффициенты искажения по осям  $X$  и  $Z$  равны 0,94, а по оси  $Y$  — 0,47. Для упрощения построения коэффициенты искажений по осям  $X$  и  $Z$  принимают равными 1, а по оси  $Y$  — 0,5, при этом получая изображение предмета, увеличенное в 1,06 раза.

В данной проекции координатная система осей, грани куба и окружности, вписанные в грани куба, проецируются на аксонометрическую плоскость так, как показано на рис. 6.4. Получаемые при этом эллипсы 1 и 3 одинакового размера: их большие оси, перпендикулярные аксонометрическим осям, равны 1,06 диаметра окружности, а малые оси, совпадающие с аксонометрическими осями, равны 0,35 диаметра окружности. Малая ось эллипса 2 равна 0,95 диаметра окружности.

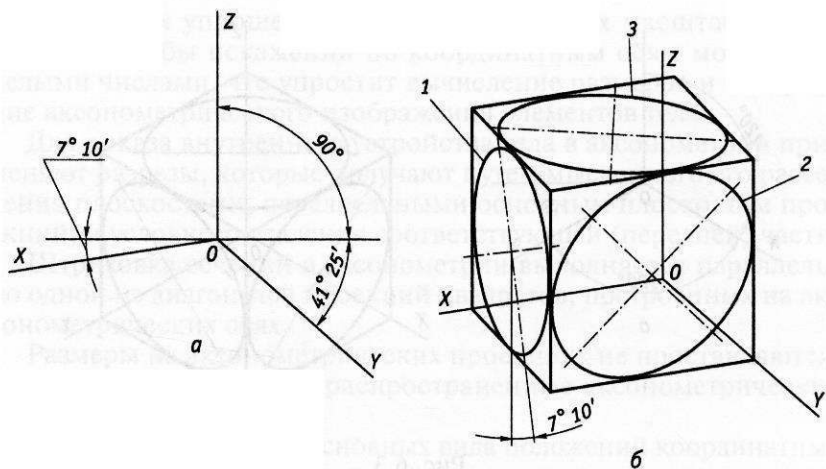


Рис. 6.4

**Косоугольная фронтальная диметрическая проекция.** Используется в тех случаях, когда на чертеже имеется множество окружностей (например, отверстий), расположенных на плоскостях, параллельных фронтальной плоскости. Эти окружности на аксонометрической проекции изображаются без искажений, что значительно упрощает построения.

Коэффициенты искажения по осям  $X$  и  $Z$  принимаются здесь равными 1, а по оси  $Y$  — 0,5.

В данной проекции координатная система осей, грани куба и окружности, вписанные в грани куба, проецируются на аксонометрическую плоскость, как показано на рис. 6.5. Окружность,

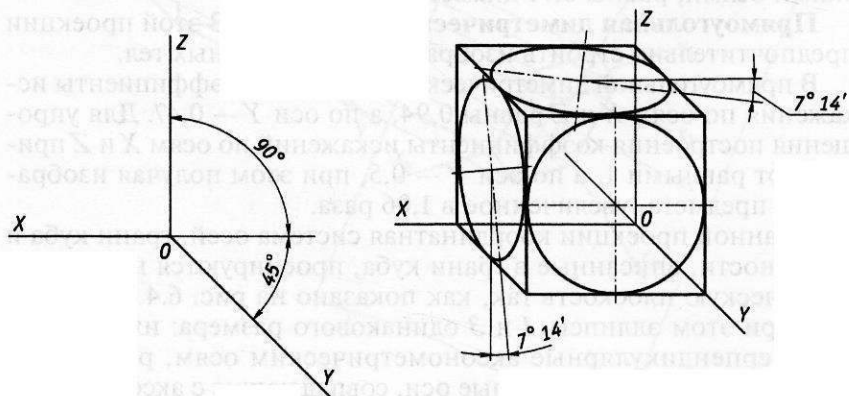


Рис. 6.5

находящаяся в плоскости, параллельной фронтальной плоскости проекций, проецируется в виде окружности, а окружности, лежащие в плоскостях, параллельных горизонтальной и профильной плоскостям проекций, — в виде эллипсов, большие оси которых равны 1,07, а малые — 0,33 диаметра проецируемой окружности.

В косоугольной фронтальной диметрической проекции допускается наклон оси  $Y$  на угол  $30^\circ$  или  $60^\circ$ .

## 6.2. Построение аксонометрических изображений плоских фигур и геометрических тел

При выполнении аксонометрических изображений тел часто возникает необходимость построения плоских фигур, являющихся элементами изображаемых тел.

Суть таких построений заключается в следующем: по прямоугольным проекциям определяют координаты отдельных точек фигур, переносят их с учетом коэффициентов искажений на аксонометрическую проекцию и, соединяя точки, получают аксонометрическое изображение.

Алгоритм построения аксонометрических проекций плоских фигур следующий:

- отмечаем и обозначаем точки на исходном изображении в ортогональной проекции. Для многоугольников отмечаем все вершины. Для криволинейных фигур обязательно отмечаем граничные точки по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , а между ними промежуточные точки с шагом, обеспечивающим плавность кривой при вычерчивании;

- измеряем координаты точек на осях в ортогональной проекции;

- переносим координаты точек на аксонометрические оси;

- строим точки на аксонометрической проекции;

- соединяем построенные точки линиями в последовательности, отмеченной на ортогональной проекции (точки многогранников — прямыми линиями, точки криволинейных фигур — плавными кривыми без изломов).

Данный алгоритм используется при построении всех видов аксонометрических проекций любых пространственных фигур (изометрических, диметрических и триметрических).

На рис. 6.6 показано построение в прямоугольной диметрии аксонометрической проекции пятиугольника, лежащего в горизонтальной плоскости проекций.

На рис. 6.7 показано построение в прямоугольной изометрии аксонометрической проекции окружности, лежащей в фронтальной плоскости проекций.

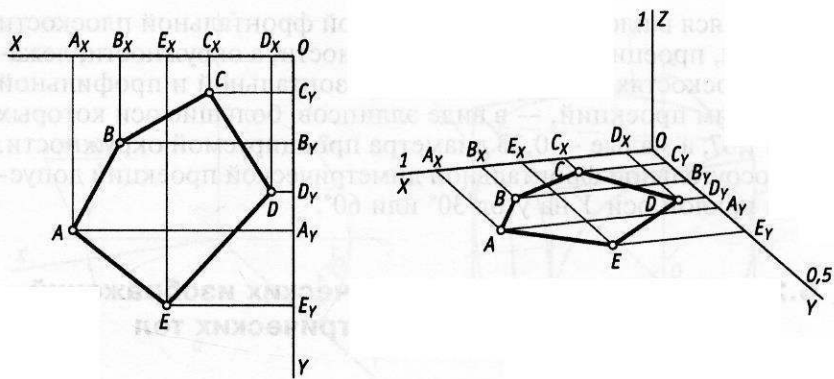


Рис. 6.6

Порядок построения аксонометрических изображений геометрических тел следующий:

- разделить геометрическое тело на отдельные элементы (многоугольники, окружности, кривые замкнутые линии и т. п.);
- построить выделенные элементы в аксонометрической проекции, используя приведенный алгоритм;
- определить видимость линий на аксонометрическом изображении;
- выполнить необходимые сечения для выявления внутренних форм тела.

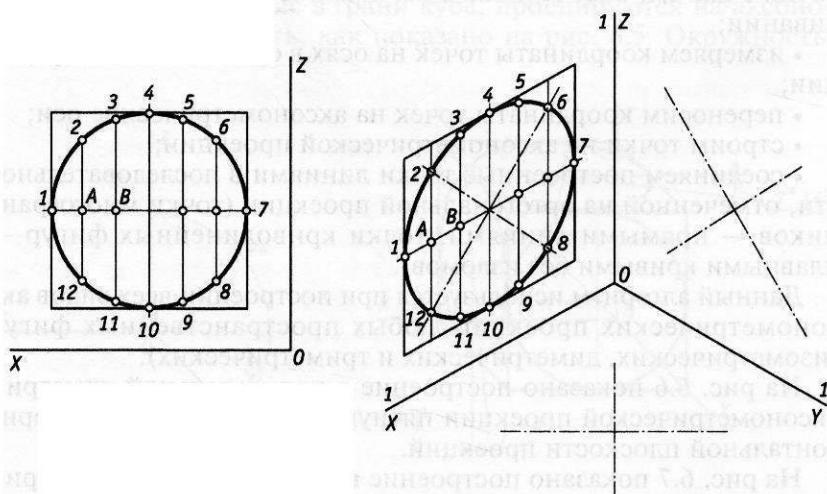


Рис. 6.7

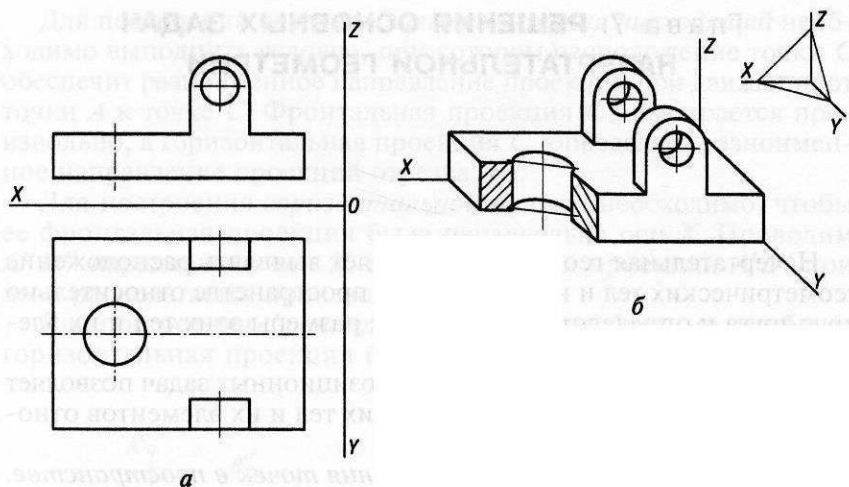


Рис. 6.8

На рис. 6.8 показан пример построения по исходным ортогональным проекциям (рис. 6.8, а) аксонометрического изображения прямоугольной детали с тремя отверстиями в косоугольной фронтальной диметрической проекции (рис. 6.8, б).

### Контрольные вопросы

1. Какое проецирование называется аксонометрическим и для чего его используют?
2. В чем состоит различие между косоугольной и прямоугольной аксонометрическими проекциями?
3. Что такое коэффициенты искажений?
4. Какие коэффициенты называются приведенными?
5. По какому признаку аксонометрические изображения подразделяют на нормальные и увеличенные?
6. Какие аксонометрические проекции называются изометрическими, диметрическими и триметрическими?
7. Чему равны коэффициенты искажений в прямоугольных изометрической и диметрической проекциях?
8. Каков алгоритм построения аксонометрических изображений плоских фигур?
9. Каков порядок построения аксонометрических изображений геометрических тел?



## Глава 7. РЕШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Начертательная геометрия позволяет выявлять расположение геометрических тел и их элементов в пространстве относительно друг друга и определять натуральные размеры этих тел и их элементов.

**Позиционные задачи.** Решение позиционных задач позволяет определить положение геометрических тел и их элементов относительно плоскостей проекций.

1. *Определение взаимного положения точек в пространстве.* Требуется построить наглядное изображение точек  $A, B, C, D$ , заданных проекциями на рис. 7.1, а.

*Решение.* Построим наглядное изображение пространственной системы координат (рис. 7.1, б). Относительно начала системы координат (точка  $O$ ) на осях пространственной системы по оси  $X$  отложим отрезки  $OA_X, OB_X, OC_X, OD_X$ ; по оси  $Y$  — отрезки  $OA_Y, OB_Y, OC_Y, OD_Y$ ; по оси  $Z$  — отрезки  $OA_Z, OB_Z, OC_Z, OD_Z$ . Проведя три линии связи для каждой точки, определим их положение на наглядном изображении: точка  $A$  находится в фронтальной плоскости проекций, так как ее координата  $OA_Y = 0$ ; точка  $B$  не принадлежит ни одной из плоскостей проекций; точка  $C$  находится в горизонтальной плоскости проекций, так как ее координата  $OC_Z$  равна нулю; точка  $D$  находится на оси  $X$ , так как ее координаты  $OD_Y$  и  $OD_Z$  равны нулю.

Наглядное изображение позволяет более просто определить взаимное расположение точек в пространстве.

2. *Построение отрезка прямой линии по заданным условиям.* Требуется построить чертежи отрезков прямой линии (рис. 7.2) общего положения восходящей ( $AB$ ), общего положения нисходящей ( $AC$ ), горизонтальной ( $AD$ ), фронтальной ( $AG$ ), горизонтально-проецирующей ( $AE$ ) и фронтально-проецирующей ( $AF$ ).

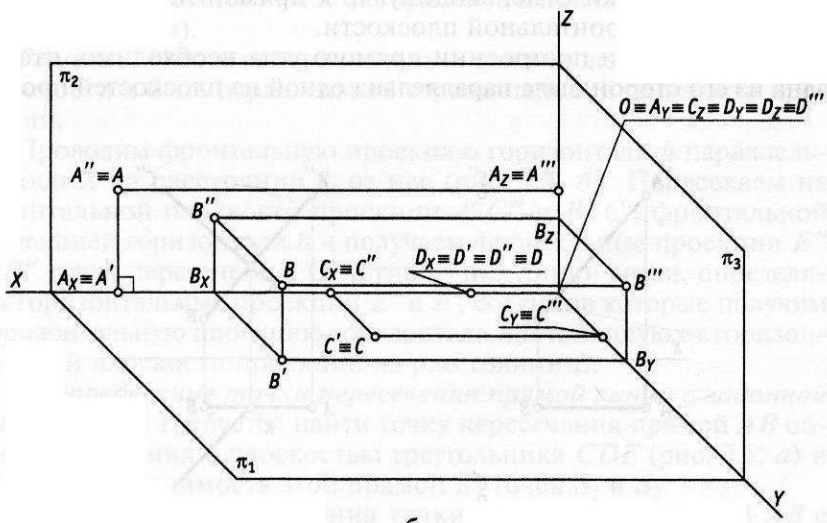
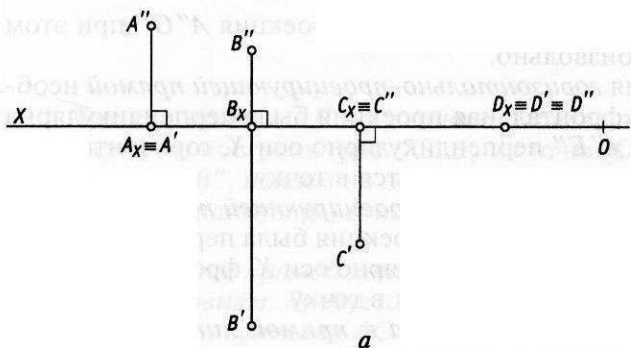
*Решение.* Сначала строим проекции точки  $A$ .

Для построения *прямой общего положения восходящей* необходимо выполнить условие, при котором расположение точки  $B$  обеспечит одноименное направление проекций при движении от точки  $A$  к точке  $B$ . Фронтальная проекция  $B''$  выбирается произвольно, а горизонтальная проекция  $B'$  определяет одноименное направление проекций отрезка  $AB$ .

Для построения *прямой общего положения нисходящей* необходимо выполнить условие, при котором расположение точки  $C$  обеспечит разноименное направление проекций при движении от точки  $A$  к точке  $C$ . Фронтальная проекция  $C''$  выбирается произвольно, а горизонтальная проекция  $C'$  определяет разноименное направление проекций отрезка  $AC$ .

Для построения *горизонтальной прямой* необходимо, чтобы ее фронтальная проекция была параллельна оси  $X$ . Проводим  $A''D''$  параллельно оси  $X$ , горизонтальная проекция  $A'D'$  при этом располагается произвольно.

Для построения *фронтальной прямой* необходимо, чтобы ее горизонтальная проекция была параллельна оси  $X$ . Проводим



б  
Рис. 7.1

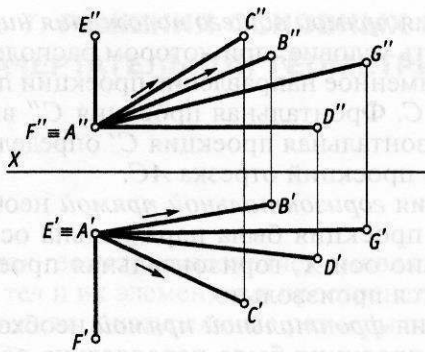


Рис. 7.2

$A'G'$  параллельно оси  $X$ , фронтальная проекция  $A''G''$  при этом располагается произвольно.

Для построения *горизонтально-проецирующей* прямой необходимо, чтобы ее фронтальная проекция была перпендикулярна оси  $X$ . Проводим  $A''E''$  перпендикулярно оси  $X$ , горизонтальная проекция  $A'E'$  при этом вырождается в точку.

Для построения *фронтально-проецирующей* прямой необходимо, чтобы ее горизонтальная проекция была перпендикулярна оси  $X$ . Проводим  $A'F'$  перпендикулярно оси  $X$ , фронтальная проекция  $A''F''$  при этом вырождается в точку.

3. *Построение перпендикуляра к прямой линии.* Требуется провести из точки  $C$  перпендикуляр к прямой  $AB$  (рис. 7.3, а), параллельной фронтальной плоскости.

*Решение.* При построении прямого угла необходимо, чтобы одна из его сторон была параллельна одной из плоскостей проек-

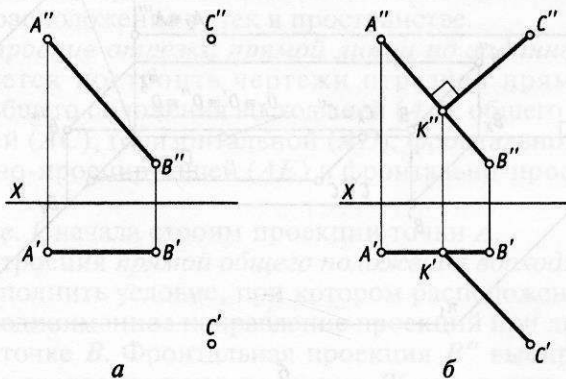


Рис. 7.3

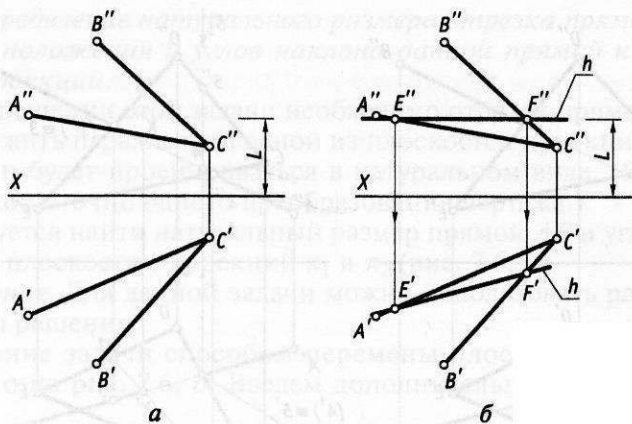


Рис. 7.4

ций. Так как прямая  $AB$  по условию параллельна фронтальной плоскости, то, построив (рис. 7.3, б) из точки  $C''$  перпендикуляр к проекции  $A''B''$ , найдем на ней проекцию  $K''$  (точка  $K$  — это основание перпендикуляра) и построим проекцию  $K'$  на проекции  $A'B'$ .

4. *Построение прямой линии, принадлежащей плоскости по заданным условиям.* Требуется в плоскости, заданной двумя пересекающимися прямыми  $AC$  и  $BC$ , провести горизонталь  $h$  этой плоскости на расстоянии  $L$  от горизонтальной плоскости проекции (рис. 7.4, а).

*Решение.* Искомая горизонталь  $h$  должна лежать в заданной плоскости и быть параллельной горизонтальной плоскости проекций.

Проводим фронтальную проекцию горизонтали  $h$  параллельно оси  $X$  на расстоянии  $L$  от нее (рис. 7.4, б). Пересекаем на фронтальной плоскости проекции  $A''C''$  и  $B''C''$  фронтальной проекцией горизонтали  $h$  и получаем фронтальные проекции  $E''$  и  $F''$  точек пересечения. Опустив из них линии связи, определяем горизонтальные проекции  $E'$  и  $F'$ , соединив которые получим горизонтальную проекцию горизонтали  $h$ , отстоящую от горизонтальной плоскости проекций на расстоянии  $L$ .

5. *Определение точки пересечения прямой линии с заданной плоскостью.* Требуется найти точку пересечения прямой  $AB$  общего положения с плоскостью треугольника  $CDE$  (рис. 7.5, а) и определить видимость этой прямой из точек  $S_1$  и  $S_2$ .

*Решение.* Для определения точки пересечения прямой  $AB$  с плоскостью  $CDE$  необходимо найти точку ( $K$ ) пересечения заданной прямой с любой прямой, лежащей в этой плоскости.

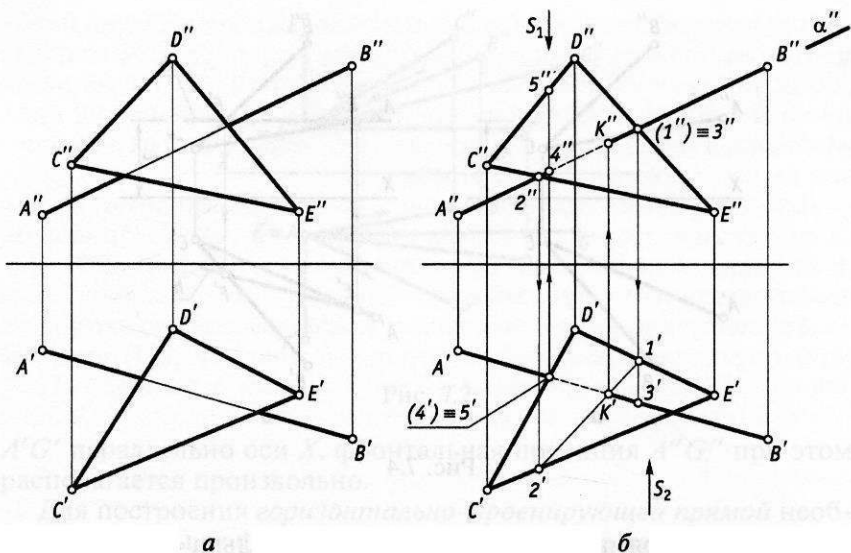


Рис. 7.5

Для того чтобы найти прямую, лежащую в плоскости, проведем вспомогательную секущую плоскость  $\alpha$  через заданную прямую  $AB$  перпендикулярно фронтальной плоскости проекций (рис. 7.5, б). Фронтальная проекция  $\alpha''$  этой плоскости совпадает с фронтальной проекцией  $A''B''$  прямой. Плоскость  $\alpha$  пересекает стороны треугольника  $CDE$  в точках 1 и 2. Линия 12, являющаяся линией пересечения плоскости  $CDE$  с плоскостью  $\alpha$ , пересекаясь с прямой  $AB$ , дает искомую точку  $K$ .

Для определения видимости в плоскостях проекций части прямой  $AB$ , закрытой плоскостью треугольника, воспользуемся методом конкурирующих точек. Границей видимости будет точка  $K$  пересечения прямой  $AB$  с плоскостью  $CDE$ . Рассмотрим фронтально конкурирующие точки 1, принадлежащую  $DE$ , и 3, принадлежащую  $AB$ . Так как к наблюдателю  $S_2$  точка 3 ближе, чем точка 1, следовательно, и прямая  $AB$  к нему ближе и часть этой прямой от точки 3 до точки  $K$  ему видна. Аналогично рассмотрим горизонтально конкурирующие точки 4 и 5. Так как по отношению к наблюдателю  $S_1$  точка 5 выше, чем точка 4, значит, и прямая  $AB$  дальше от него и часть этой прямой от точки 4 до точки  $K$  ему не видна.

**Метрические задачи.** Решение метрических задач позволяет определить натуральные размеры прямой линии и углы наклона ее отрезка к плоскостям проекций, а также натуральные размеры плоской фигуры и расстояние между предметами.

1. *Определение натурального размера отрезка прямой линии общего положения и углов наклона данной прямой к плоскостям проекций.*

При решении этой задачи необходимо отрезок прямой линии расположить параллельно одной из плоскостей проекций, на которую он будет проецироваться в натуральном виде. (В данном случае достаточно одного преобразования чертежа.)

Требуется найти натуральный размер прямой  $AB$  и углы ее наклона к плоскостям проекций  $\pi_1$  и  $\pi_2$  (рис. 7.6, а).

*Решение.* Для данной задачи можно использовать различные способы решения.

Решение задачи способом перемены плоскостей проекций показано на рис. 7.6, б. Введем дополнительную плоскость  $\pi_5$ .

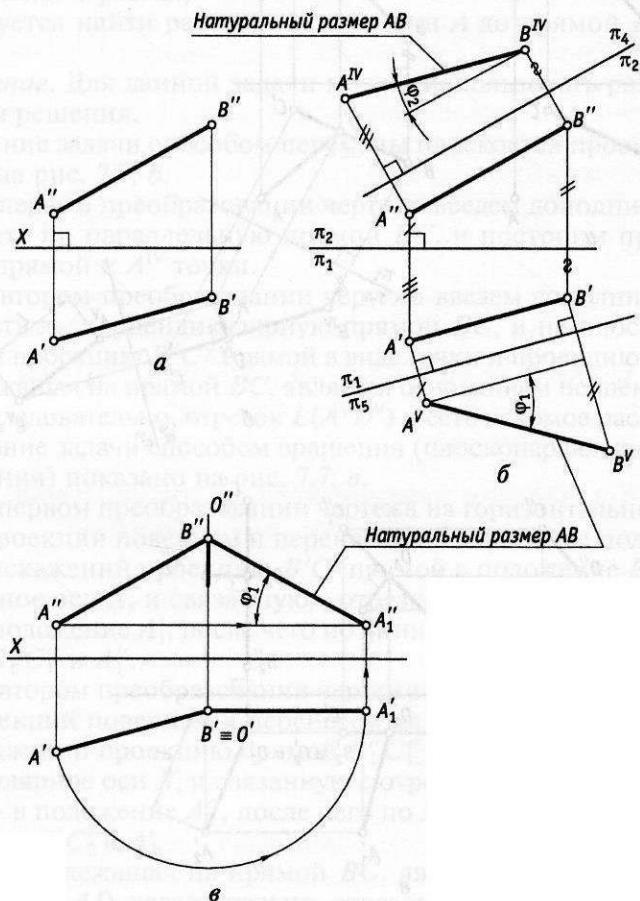


Рис. 7.6

Для того чтобы отрезок  $AB$  был параллелен плоскости  $\pi_5$ , проведем ось  $\pi_5/\pi_1$  параллельно проекции  $A'B'$ . Затем по линиям связи в плоскости  $\pi_5$  отложим расстояния проекций  $A''$  и  $B''$  от оси  $\pi_2/\pi_1$  и получим проекцию  $A^V B^V$ , которая является натуральным размером отрезка  $AB$ . При этом  $\varphi_1$  — это угол наклона прямой  $AB$  к горизонтальной плоскости проекций, а  $\varphi_2$  — к фронтальной, который получен введением дополнительной плоскости  $\pi_4$ .

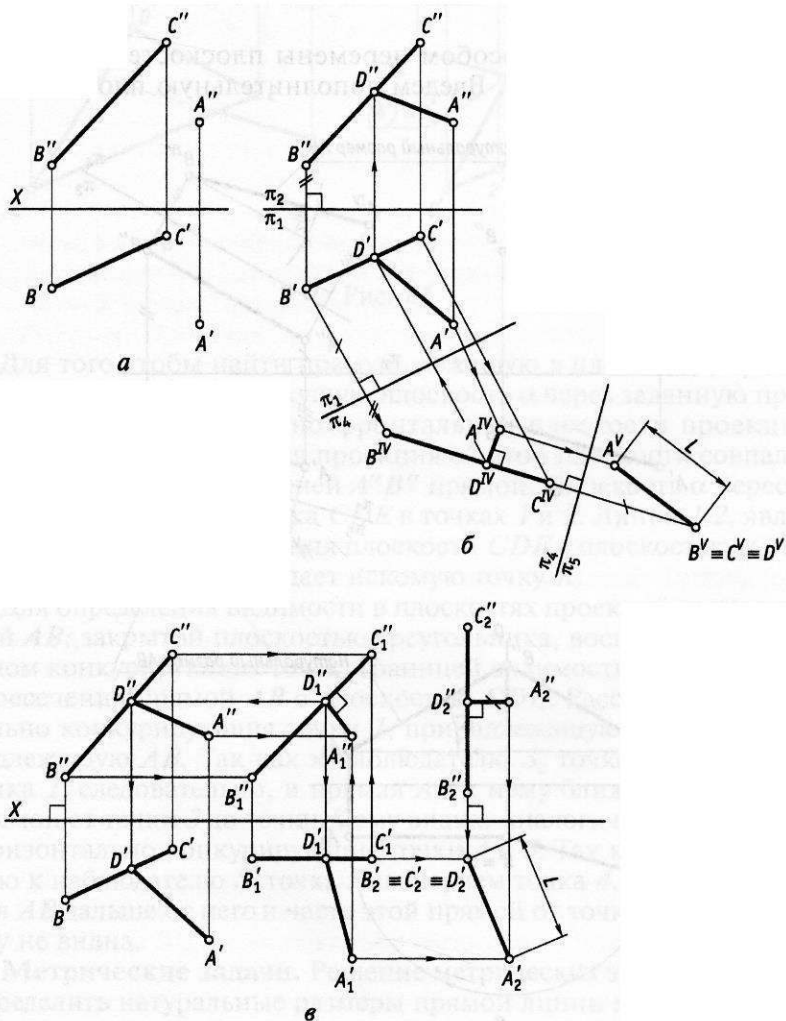


Рис. 7.7

Решение задачи способом вращения показано на рис. 7.6, в. На горизонтальной плоскости проекций вращаем точку  $A'$  вокруг оси  $O$ , проходящей через точку  $B'$ , по окружности с радиусом  $A'B'$  до положения  $A_1'B'$ , параллельного оси  $X$ . По линиям связи определяем положение  $A_1''$ . Проекция  $A_1''B''$  является натуральным размером отрезка  $AB$ , а  $\varphi_1$  — угол наклона прямой  $AB$  к горизонтальной плоскости проекций.

2. *Определение расстояния от точки до прямой общего положения.*

При решении этой задачи необходимо отрезок прямой линии расположить перпендикулярно одной из плоскостей проекций, на которую он будет проецироваться в виде точки, и затем соединить проекции прямой и точки. (В данном случае необходимы два преобразования чертежа.)

Требуется найти расстояние от точки  $A$  до прямой  $BC$  (рис. 7.7, а).

*Решение.* Для данной задачи можно использовать различные способы решения.

Решение задачи способом перемены плоскостей проекций показано на рис. 7.7, б.

При первом преобразовании чертежа введем дополнительную плоскость  $\pi_4$ , параллельную прямой  $BC$ , и построим проекции  $B^{IV}C^{IV}$  прямой и  $A^{IV}$  точки.

При втором преобразовании чертежа введем дополнительную плоскость  $\pi_5$ , перпендикулярную прямой  $BC$ , и на плоскости  $\pi_5$  получим проекцию  $B^VC^V$  прямой в виде точки и проекцию  $A^V$ . Точка  $D$ , лежащая на прямой  $BC$ , является основанием перпендикуляра  $AD$ , следовательно, отрезок  $L(A^VD^V)$  и есть искомое расстояние.

Решение задачи способом вращения (плоскопараллельного перемещения) показано на рис. 7.7, в.

При первом преобразовании чертежа на горизонтальной плоскости проекций повернем и перенесем на свободное поле чертежа без искажений проекцию  $B'C'$  прямой в положение  $B_1'C_1'$ , параллельное оси  $X$ , и связанную с отрезком  $BC$  проекцию  $A'$  точки — в положение  $A_1'$ , после чего по линиям связи определим проекции  $B_1''C_1''$  и  $A_1''$ .

При втором преобразовании чертежа на фронтальной плоскости проекций повернем и перенесем на свободное поле чертежа без искажений проекцию прямой  $B_1''C_1''$  в положение  $B_2''C_2''$ , перпендикулярное оси  $X$ , и связанную с отрезком  $BC$  проекцию точки  $A_1''$  — в положение  $A_2''$ , после чего по линиям связи определим проекции  $B_2'C_2'$  и  $A_2'$ .

Точка  $D$ , лежащая на прямой  $BC$ , является основанием перпендикуляра  $AD$ , следовательно, отрезок  $L(A_2'D_2')$  и есть искомое расстояние.



Инженерная графика, рассматривающая вопросы получения изображений изделия на плоскости, включает в себя:

- изучение правил построения изображений на чертежах;
- изучение системы условностей и упрощений, применяемых на чертежах;
- получение навыков выполнения эскизов, рабочих чертежей деталей, чертежей сборочных единиц и схем.

При выполнении чертежей и других конструкторских документов следует строго соблюдать соответствующие государственные стандарты.

## Глава 8. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ И ЕЕ ОФОРМЛЕНИИ

### 8.1. Общие сведения о Единой системе конструкторской документации

Конструкторская документация разрабатывается и оформляется по взаимосвязанным правилам и положениям, установленным государственными стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

*Стандарт* — это нормативно-технический документ, устанавливающий комплекс норм, правил, требований к любому виду выпускаемой продукции (услуг) и утвержденный компетентным органом.

Стандартами ЕСКД установлены виды изделий, для которых требуется выполнение конструкторской документации, ее комплектность и стадии разработки.

Схема обозначения стандартов ЕСКД показана на рис. 8.1.

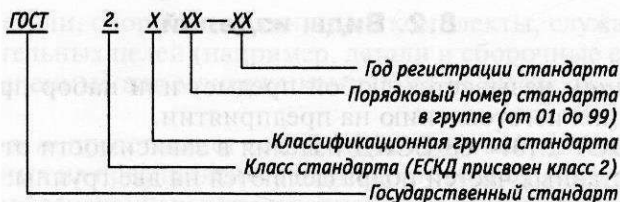


Рис. 8.1

Распределение стандартов ЕСКД по классификационным группам приведено в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Шифр группы	Содержание стандартов в группе	Номер стандартов
0	Общие положения	ГОСТ 2.001—2013... ГОСТ 2.001—93
1	Основные положения	ГОСТ 2.101—68... ГОСТ 2.124—85
2	Классификация и обозначение изделий в конструкторских документах	ГОСТ 2.201—80
3	Общие правила выполнения чертежей	ГОСТ 2.301—68... ГОСТ 2.321—84
4	Правила выполнения чертежей изделий машиностроения и приборостроения	ГОСТ 2.401—68... ГОСТ 2.430—85
5	Правила обращения конструкторских документов (учет, хранение, дублирование, внесение изменений)	ГОСТ 2.501—88... ГОСТ 2.503—90
6	Правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации	ГОСТ 2.601—2006... ГОСТ 2.609—79
7	Правила выполнения схем	ГОСТ 2.701—2008... ГОСТ 2.797—81
8	Правила выполнения строительных и судостроительных документов	ГОСТ 2.801—74... ГОСТ 2.857—75
9	Прочие стандарты	—

## 8.2. Виды изделий

*Изделием* называется любой предмет или набор предметов, подлежащих изготовлению на предприятии.

По ГОСТ 2.101—68 ЕСКД изделия в зависимости от наличия в них составных частей подразделяются на две группы:

- неспецифицированные — не имеющие составных частей (к ним относятся детали);
- специфицированные — состоящие из двух и более составных частей (сборочные единицы, комплексы, комплекты).

Виды изделий и их структура показаны на рис. 8.2.

*Деталью* называется изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций (например, валик из одного куса металла, литой корпус, печатная плата и т. д.).

*Сборочной единицей* называется изделие, составные части которого соединяются между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями: свинчиванием, сваркой, опрессовкой и т. п. (например, автомобиль, станок, телеграфный аппарат, микромодуль).

*Комплекс* представляет собой два или более специфицированных изделий, которые на изготавливающем их предприятии не соединяются сборочными операциями, но имеют взаимосвязанные эксплуатационные функции (например, цех-автомат, завод-автомат, автоматическая телефонная станция и т. д.). В состав комплекса кроме изделий для выполнения основных функций могут также

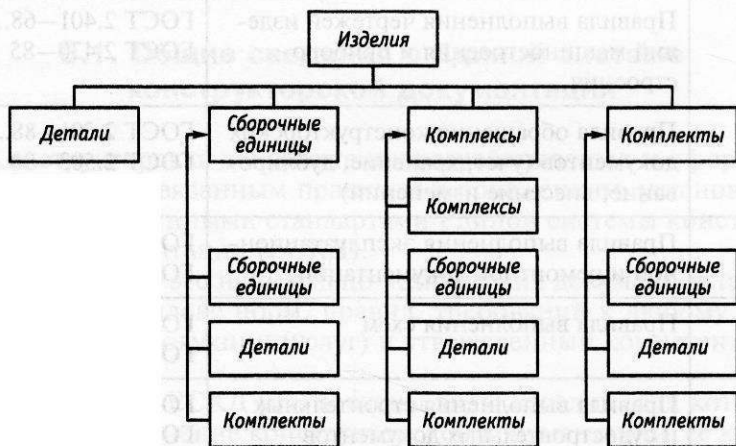


Рис. 8.2

входить детали, сборочные единицы и комплекты, служащие для вспомогательных целей (например, детали и сборочные единицы, предназначенные для монтажа комплекса на месте его эксплуатации).

*Комплект* представляет собой два или несколько изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и предназначенных для выполнения функций вспомогательного характера (например, комплект запасных частей, комплект инструмента, комплект измерительной аппаратуры и т. д.).

### 8.3. Виды и комплектность конструкторских документов

Конструкторскими документами являются чертежи, схемы и текстовые описания к ним (спецификации, технические условия к изделию, инструкции по эксплуатации и ремонту изделия и др.). Они должны содержать данные об устройстве и составных частях изделия, сведения, необходимые для его разработки, изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта.

Конструкторскую документацию для всех отраслей промышленности регламентирует ГОСТ 2.102—68. Приведем некоторые виды конструкторских документов (в скобках указан их шифр), предусмотренных этим ГОСТом:

*чертеж детали*, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля;

*сборочный чертеж* (СБ), содержащий изображение изделия и другие данные, необходимые для его сборки (изготовления) и контроля;

*чертеж общего вида* (ВО), определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его основных составных частей и поясняющий принцип работы;

*теоретический чертеж* (ТЧ), определяющий геометрическую форму (обводы) изделия и координаты расположения его составных частей;

*габаритный чертеж* (ГЧ), содержащий контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами;

*монтажный чертеж* (МЧ), содержащий контурное (упрощенное) изображение изделия, а также данные, необходимые для его установки (монтажа) на месте применения;

*схема* (по ГОСТ 2.701—76), показывающая в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними;

*спецификация*, определяющая состав сборочной единицы, комплекса или комплекта.

Проектирование и изготовление изделий производятся по этапам, что дает возможность конструировать, рассматривать и утверждать проекты на разных стадиях их разработки.

Эти основные этапы (стадии) проектирования сопровождаются определенной номенклатурой конструкторской документации.

В зависимости от стадии разработки конструкторские документы по ГОСТ 2.103—68 подразделяются на проектные и рабочие.

Номенклатуру конструкторских документов, разрабатываемых на изделия, в зависимости от стадии разработки устанавливает ГОСТ 2.102—68.

При определении комплектности конструкторских документов на изделие следует различать:

- основной конструкторский документ;
- основной комплект конструкторских документов;
- полный комплект конструкторских документов.

Основным конструкторским документом для деталей является чертеж детали, а для сборочных единиц, комплексов и комплектов — спецификация.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение понятия «стандарт».
2. Какие существуют виды изделий?
3. Какие виды конструкторских документов вы знаете?

## Глава 9. ОБЩИЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ

К стандартам оформления чертежей прежде всего относятся стандарты на форматы, масштабы, линии чертежа, основную надпись, графические обозначения материалов.

**Форматы.** *Форматом* называется размер листа бумаги, на котором выполняется чертеж или другие конструкторские документы.

Размеры форматов и их обозначения определяет ГОСТ 2.301—68.

Обозначения и размеры основных форматов приведены в табл. 9.1.

Чертежный лист ограничивается внешней рамкой, определяющей формат, которая выполняется тонкой линией.

Внутри внешней рамки сплошной линией, равной по толщине сплошной основной линии, принятой для обводки чертежа, проводят внутреннюю рамку.

Сверху, справа и снизу формата расстояние между линиями внутренней и внешней рамок принимается равным 5 мм. С левой стороны формата для подшивки и брошюровки чертежей оставляют полосу шириной 20 мм (рис. 9.1).

Основной формат А0 размером 841 × 1 189 мм с площадью, равной 1 м<sup>2</sup>, считается наибольшим. Остальные основные форматы получают последовательным делением предыдущего большего формата на две равные части параллельно меньшей его стороне (рис. 9.2).

Кроме того, допускается применение дополнительных форматов, получаемых увеличением размера короткой стороны основных форматов в кратное число раз. Например, дополнительный формат А4×6 содержит шесть форматов А4 и имеет размеры 297 × 1 261 (рис. 9.3).

**Основная надпись.** Основная надпись, содержащая основные сведения об изображенных объектах, располагается на конструкторских документах в правом нижнем углу (см. рис. 9.1, б), а на

Таблица 9.1

Обозначение формата по ГОСТ 2.301—68	А0	А1	А2	А3	А4
Размеры сторон формата, мм	841 × 1189	594 × 841	420 × 594	297 × 420	210 × 297

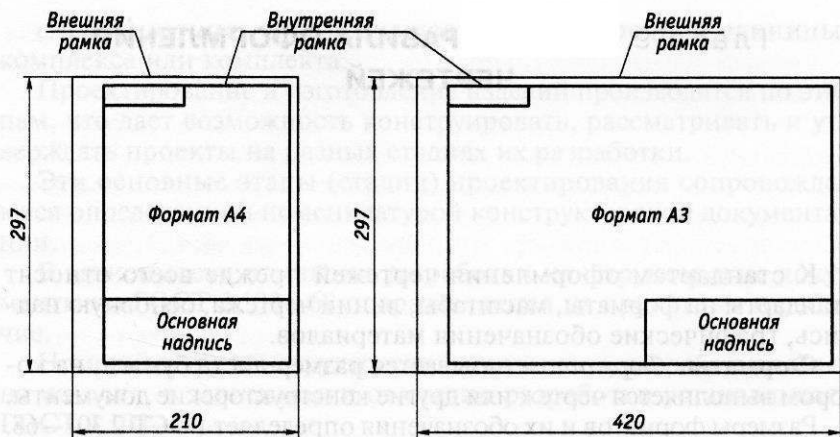


Рис. 9.1

листах формата А4 — только вдоль его короткой стороны (см. рис. 9.1, а).

Формы, размеры и содержание основной надписи определяет ГОСТ 2.104—2006.

Формы 1, 2 и 2а основной надписи для чертежей и схем показаны на рис. 9.4.

Для первого листа текстовых конструкторских документов основная надпись выполняется по форме 2, а для последующих листов — по форме 2а.

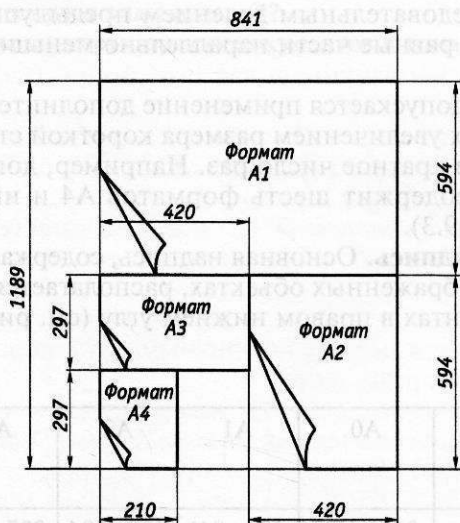


Рис. 9.2

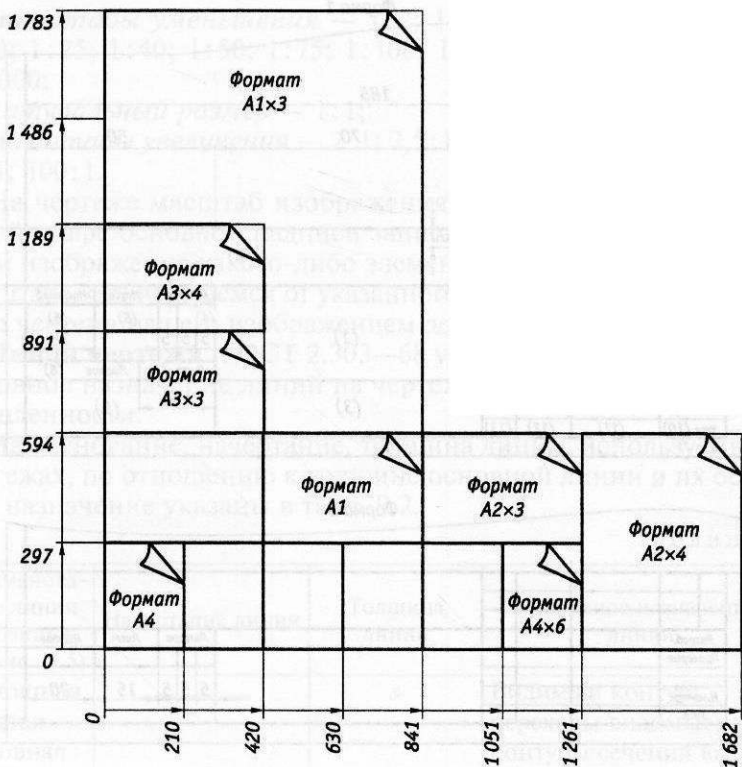


Рис. 9.3

На учебных чертежах обычно заполняются не все графы основной надписи (указаны в скобках), а только некоторые из них, например:

1 — наименование изделия (в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109—73), а также наименование документа, если этому документу присвоен шифр;

2 — обозначение документа по ГОСТ 2.201—80 (для учебных чертежей обозначение устанавливает соответствующая кафедра);

3 — обозначение материала детали (заполняется только на чертежах деталей);

4 — литера чертежа (для учебных чертежей буква У);

5 — масса изделия;

6 — масштаб изображения (в соответствии с ГОСТ 2.302—68 и 2.109—73);

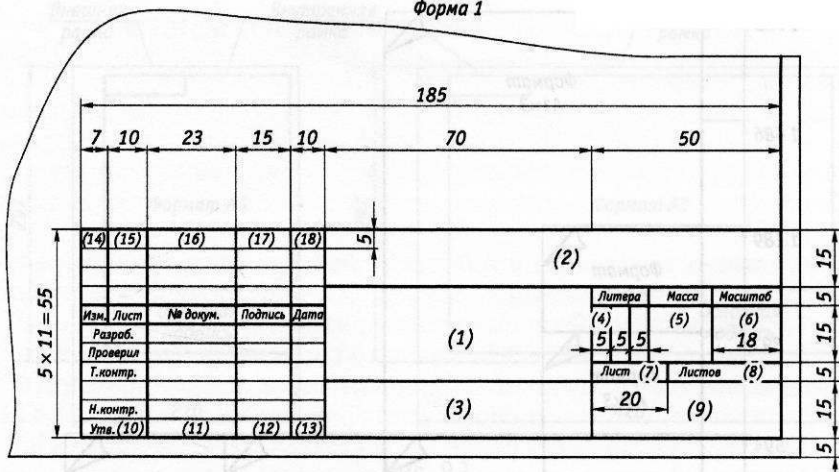
7 — порядковый номер листа;

8 — число листов (заполняется только на первом листе);

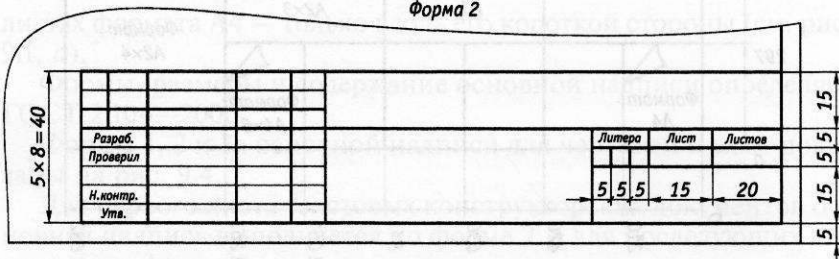
9 — название учебного заведения и шифр учебной группы;



Форма 1



Форма 2



Форма 2а

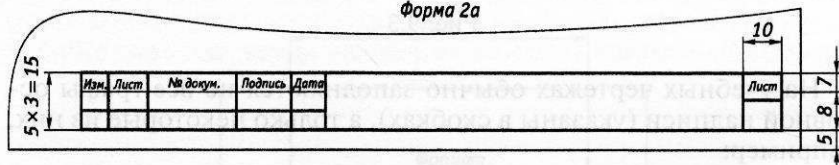


Рис. 9.4

10 — характер работы, выполненной лицом, подписавшим документ;

11 — фамилии лиц, подписывающих документ;

12 — подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 11;

13 — дата подписания документа.

Графы 3 и 5 заполняются только на чертежах деталей.

**Масштабы.** Масштабом называется отношение линейных размеров изображения объекта на чертеже к действительным его размерам.

ГОСТ 2.302—68 и 2.109—73 устанавливают следующие ряды масштабов изображений на чертежах.

*масштабы уменьшения* — 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; 1:100; 1:200; 1:400; 1:500; 1:800; 1:1000;

*натуральный размер* — 1:1;


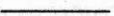

*масштабы увеличения* — 2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1.

На чертеже масштаб изображения указывают в соответствующей графе основной надписи записью типа 1:1; 1:2; 2:1 и т.д. Если изображение какого-либо элемента на чертеже выполнено в масштабе, отличающемся от указанного в основной надписи, то на поле чертежа над его изображением делают надпись типа A(2:1).

**Линии чертежа.** ГОСТ 2.303—68 устанавливает начертание и основное назначение линий на чертежах для всех отраслей промышленности.

Наименование, начертание, толщина линий, используемых на чертежах, по отношению к толщине основной линии и их основное назначение указаны в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Наименование линии (позиция на рис. 9.5)	Начертание линии	Толщина линии	Основное назначение линии
Сплошная толстая основная (1)		$s$	Видимый контур; переходы видимые; контуры сечений вынесенного и входящего в состав разреза
Сплошная тонкая (2)		От $s/3$ до $s/2$	Контур наложенного сечения; размерные и выносные; штриховка; полки линий-выносок; подчеркивание надписей; изображение пограничных деталей (обстановки); ограничение выносных элементов на видах, разрезах и сечениях; переходы воображаемые; следы плоскостей; построение характерных точек
Сплошная волнистая (3)		От $s/3$ до $s/2$	Изображение обрыва; разграничение вида и разреза

Наименование линии (позиция на рис. 9.5)	Начертание линии	Толщина линии	Основное назначение линии
Штриховая (4)		От $s/3$ до $s/2$	Невидимый контур; переходы невидимые
Штрихпунктирная тонкая (5)		От $s/3$ до $s/2$	Осевые и центровые; изображение сечений; оси симметрии для наложенных или вынесенных сечений
Штрихпунктирная утолщенная (6)		От $s/2$ до $2s/3$	Обозначение поверхностей, подлежащих термообработке или покрытию; изображение элементов, расположенных перед секущей плоскостью (наложенная проекция)
Разомкнутая (7)		От $s$ до $3s/2$	Линии сечений
Сплошная тонкая с изломом (8)		От $s/3$ до $s/2$	Изображение длинного обрыва
Штрихпунктирная с двумя точками (9)		От $s/3$ до $s/2$	Сгибы на развертках; изображение частей изделия в крайних или промежуточных положениях; изображение развертки, совмещенной с видом

Изображения предметов на чертеже выполняют линиями, различными по начертанию, размерам, толщине в соответствии с их назначением (см. табл. 9.2). Причем за исходную принята сплошная основная линия толщиной  $s = (0,5 \dots 1,4)$  мм. Толщина остальных линий на чертеже устанавливается по отношению к толщине основной линии, при этом толщина каждого типа линий на одном чертеже должна быть одинаковая для всех изображений.

Длину штрихов штриховых и штрихпунктирных линий следует выбирать в зависимости от размера изображения. Штрихи и

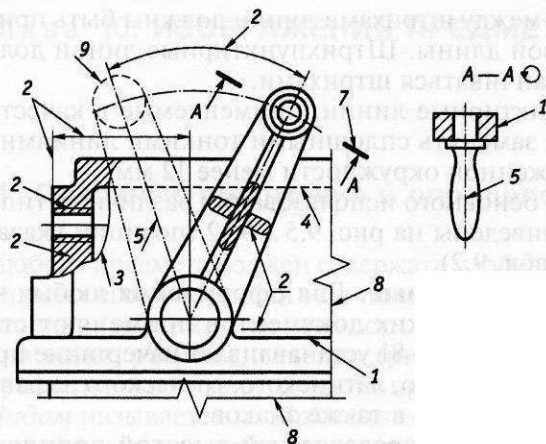


Рис. 9.5

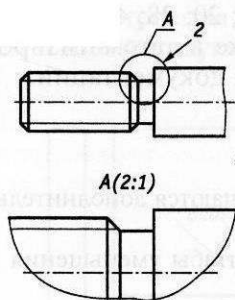


Рис. 9.6

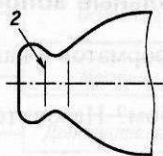


Рис. 9.7

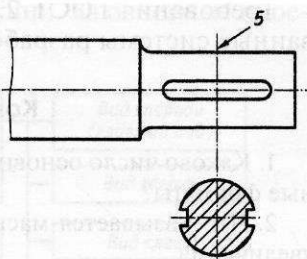


Рис. 9.8

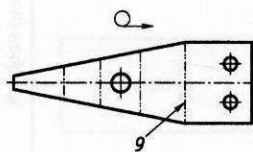


Рис. 9.9

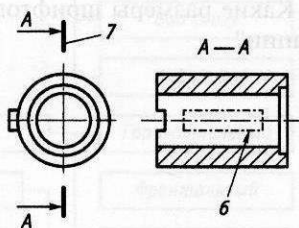


Рис. 9.10

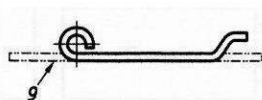


Рис. 9.11

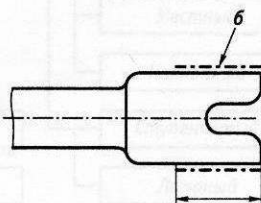


Рис. 9.12

промежутки между штрихами линии должны быть приблизительно одинаковой длины. Штрихпунктирные линии должны начинаться и заканчиваться штрихами.

Штрихпунктирные линии, применяемые в качестве центровых, следует заменять сплошными тонкими линиями, если диаметр изображенной окружности менее 12 мм.

Примеры основного использования различных типов линий и надписей приведены на рис. 9.5 ... 9.12 (позиции указаны в соответствии с табл. 9.2).

**Шрифты чертежные.** Для оформления любых чертежей и других конструкторских документов применяют стандартные шрифты. ГОСТ 2.304—81 устанавливает начертание прописных и строчных букв русского, латинского, греческого алфавитов, арабских и римских цифр, а также знаков.

Размер шрифта, определяемый высотой прописных букв в миллиметрах, может быть 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40.

Требования ГОСТ 2.304—81 внесены также в автоматизированные системы разработки конструкторской документации.

### **Контрольные вопросы**

1. Каково число основных форматов и как получают дополнительные форматы?
2. Что называется масштабом? Назовите масштабы уменьшения и увеличения.
3. Какие типы линий используются для изображения изделий на чертежах?
4. Какие размеры шрифтов используются в конструкторской документации?

### 10.1. Основные положения и определения

Чертеж любого предмета должен содержать изображения видимых и невидимых его плоскостей или поверхностей.

Изображения на чертеже в зависимости от их содержания подразделяют на виды, разрезы, сечения (рис. 10.1) и выполняют методом параллельного прямоугольного проецирования.

**Виды.** *Видом* называется изображение обращенной к наблюдателю видимой части поверхности предмета.

Для построения видов предмет располагают между наблюдателем и соответствующей плоскостью проекции. За основные плос-

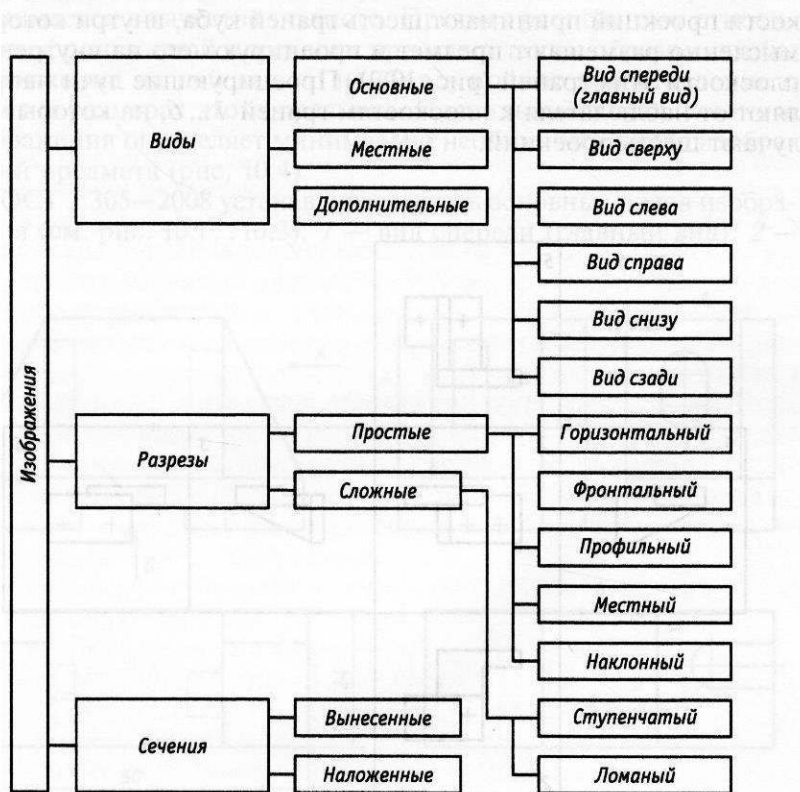


Рис. 10.1

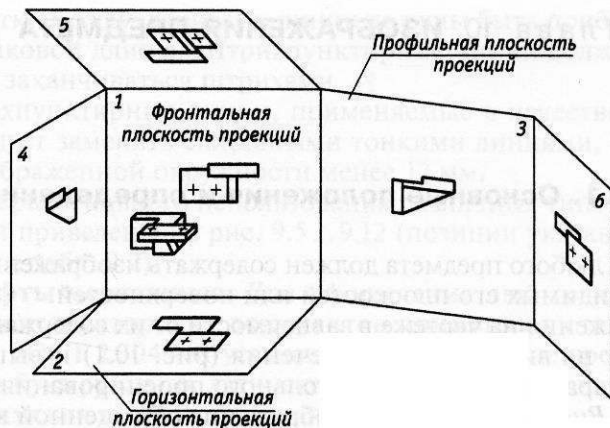


Рис. 10.2

кости проекций принимают шесть граней куба, внутри которого мысленно размещают предмет и проецируют его на внутренние плоскости этих граней (рис. 10.2). Проецирующие лучи направляют от наблюдателя к плоскостям граней 1... 6, на которых получают шесть проекций.

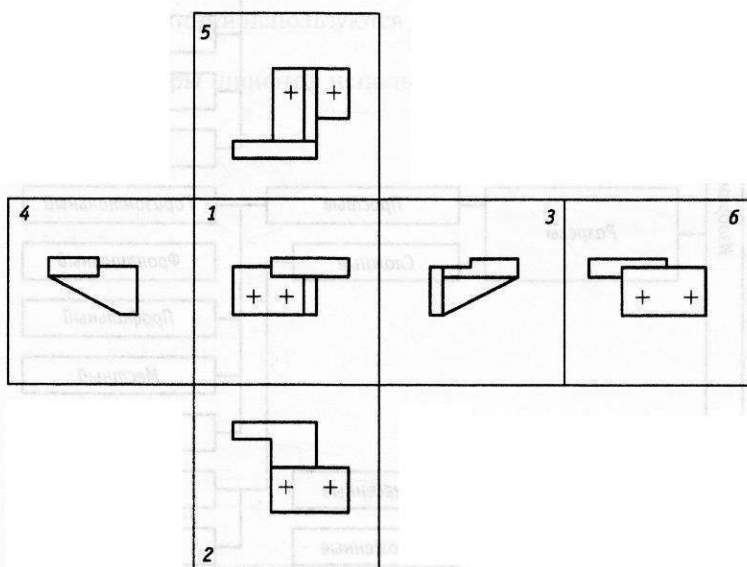


Рис. 10.3

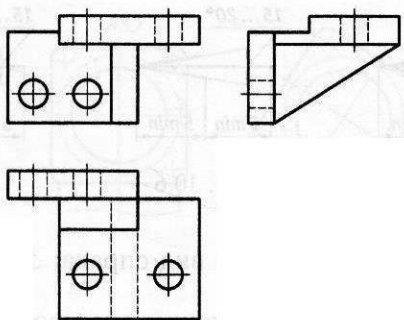


Рис. 10.4

Для получения чертежа грани *1... 6* куба разворачивают (строят развертку куба) и совмещают в одну плоскость с фронтальной плоскостью проекций — гранью *1* (рис. 10.3).

На чертеже изображение на фронтальной плоскости проекций принимается в качестве главного. Предмет располагают относительно фронтальной плоскости проекций таким образом, чтобы изображение на ней давало наиболее полное представление о форме и размерах этого предмета. Правильный выбор главного изображения определяет минимально необходимое число изображений предмета (рис. 10.4).

ГОСТ 2.305—2008 устанавливает шесть основных видов изображения (см. рис. 10.1 ... 10.3): *1* — вид спереди (главный вид); *2* —

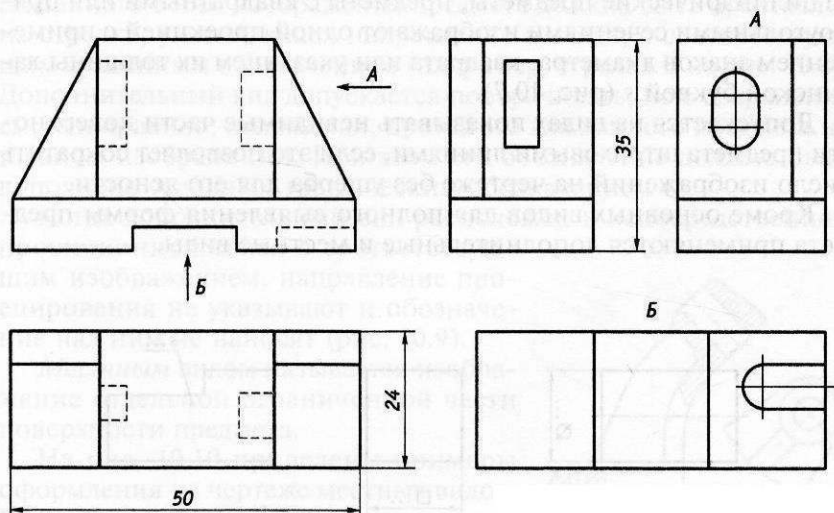


Рис. 10.5



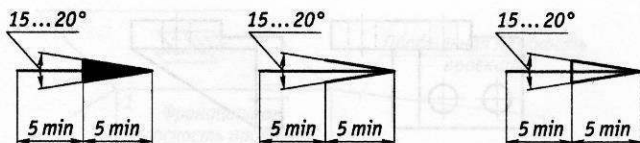


Рис. 10.6

вид сверху; 3 — вид слева; 4 — вид справа; 5 — вид снизу; 6 — вид сзади.

Если какой-либо вид расположен вне проекционной связи с главным изображением (видом или разрезом), отделен от него другими изображениями или выполнен на другом листе, то его обозначают прописной русской буквой в алфавитном порядке (делают надпись *А*, *Б* и т. д.), при этом направление взгляда (проецирования) указывают стрелкой, над которой ставят ту же букву (рис. 10.5).

Размер шрифта для надписи вида (см. рис. 10.5) должен быть больше, чем для размерных чисел на данном чертеже.

Изображения стрелок, указывающих направление взгляда, и соотношения их размеров приведены на рис. 10.6.

Число изображений на чертеже должно быть минимально возможным и в то же время достаточным для получения исчерпывающего представления о предмете при использовании установленных стандартами условных обозначений, знаков и надписей. Например, если не требуется характеристика каких-либо элементов, то цилиндрические предметы, предметы с квадратными или прямоугольными сечениями изображают одной проекцией с применением знаков диаметра, квадрата или указанием их толщины латинской буквой *s* (рис. 10.7).

Допускается на видах показывать невидимые части поверхности предмета штриховыми линиями, если это позволяет сократить число изображений на чертеже без ущерба для его ясности.

Кроме основных видов для полного выявления формы предмета применяются дополнительные и местные виды.

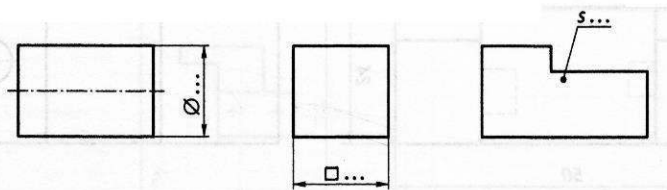


Рис. 10.7

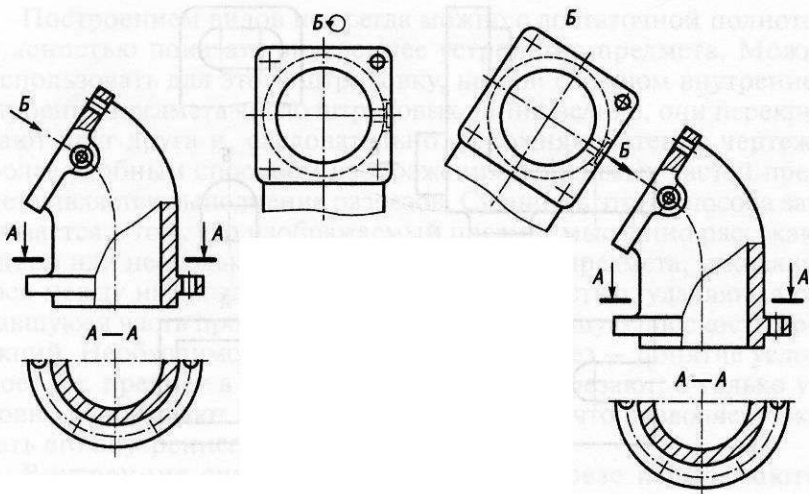


Рис. 10.8

*Дополнительным* называется вид, полученный проецированием предмета на произвольно выбранную плоскость, непараллельную основным плоскостям проекций.

Применяют дополнительные виды в тех случаях, когда какую-либо часть предмета невозможно показать на основных видах без искажения формы и размеров. Дополнительный вид должен быть отмечен на чертеже прописной русской буквой (рис. 10.8), а у связанного с ним изображения предмета должна быть проставлена стрелка, указывающая направление взгляда, с соответствующим буквенным обозначением (например, стрелка Б на рис. 10.8). Дополнительный вид допускается поворачивать, но с сохранением, как правило, положения, принятого для данного предмета на главном изображении. При этом его обозначение должно быть дополнено условным графическим обозначением  $\odot$ .

Когда дополнительный вид расположен в непосредственной проекционной связи с соответствующим изображением, направление проецирования не указывают и обозначение над ним не наносят (рис. 10.9).

*Местным* видом называется изображение отдельной ограниченной части поверхности предмета.

На рис. 10.10 приведены примеры оформления на чертеже местных видов. Если местный вид расположен в непосредственной проекционной связи с со-

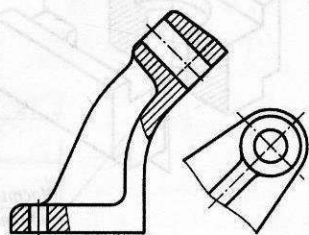


Рис. 10.9

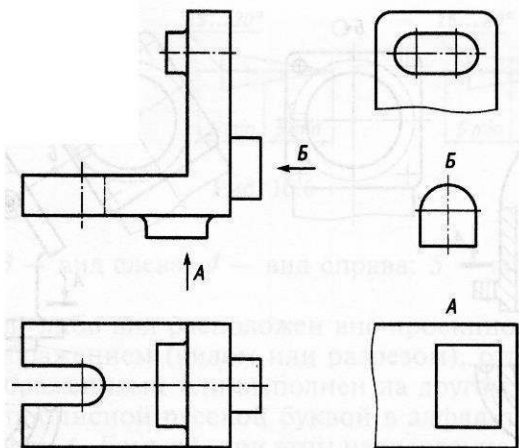


Рис. 10.10

ответствующим изображением, то над ним не наносят никаких надписей (например, местный вид, расположенный на месте вида слева на рис. 10.10). Если же местный вид расположен вне проекционной связи с изображением, то на чертеже указывают направление взгляда (см. *A* и *B* на рис. 10.10), а над видом наносят соответствующую надпись.

**Разрезы.** *Разрезом* называется изображение предмета мысленно рассеченного одной или несколькими плоскостями.

На разрезе показывают то, что находится в секущей плоскости и что расположено за ней (рис. 10.11).

*Часть детали, изображаемая при разрезе*

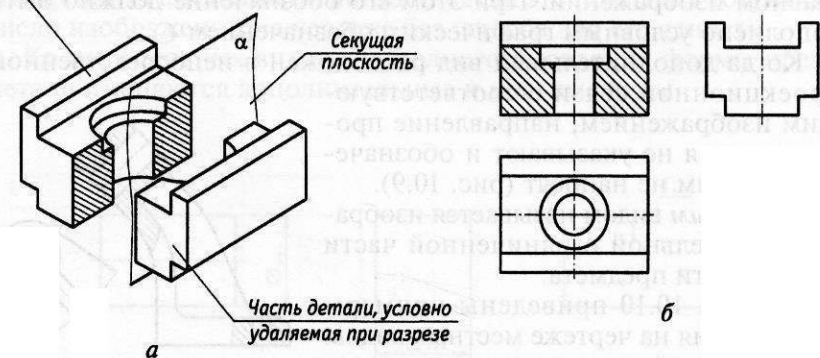


Рис. 10.11

Построением видов не всегда можно с достаточной полнотой и ясностью показать внутреннее устройство предмета. Можно использовать для этого штриховку, но при сложном внутреннем строении предмета число штриховых линий велико, они перекрывают друг друга и, следовательно, усложняют чтение чертежа. Более удобным способом изображения невидимых частей предмета является выполнение разрезов. Сущность этого способа заключается в том, что изображаемый предмет мысленно рассекают одной или несколькими плоскостями, часть предмета, находящуюся между наблюдателем и секущей плоскостью, удаляют, а оставшуюся часть проецируют на соответствующую плоскость проекций. Необходимо твердо уяснить, что разрез — понятие условное, т. е. предмет в действительности не разрезают, а только условно изображают на чертеже разрезанным, что позволяет показать его внутреннее устройство.

Внутренние очертания предмета в разрезе изображаются сплошными основными линиями, а то, что попадает непосредственно в секущую плоскость и называется сечением, выделяется на чертеже штриховкой, вид которой зависит от материала, из которого изготовлен предмет.

На рис. 10.11, а деталь рассечена фронтальной плоскостью  $\alpha$  вдоль оси по всей длине на две половины: переднюю и заднюю. При этом передняя часть детали считается условно удаленной, а оставшаяся часть проецируется на фронтальную плоскость проекций.

На рис. 10.11, б показан чертеж детали, содержащий три изображения: разрез на месте главного вида, вид сверху и вид слева. Так как разрез детали выполняется условно, вид детали сверху изображают непрозрачным. Таким образом, мысленное рассечение предмета относится только к данному разрезу и не влечет за собой изменения других изображений. Следовательно, чтобы выполнить разрез предмета, необходимо:

- в определенном месте предмета мысленно провести секущую плоскость;
- часть предмета, находящуюся между наблюдателем и секущей плоскостью, условно удалить;

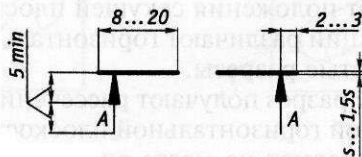


Рис. 10.12

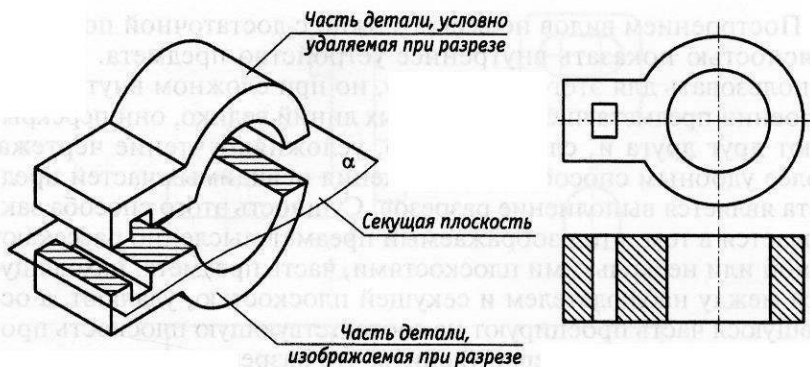


Рис. 10.13

- оставшуюся часть предмета спроецировать на соответствующую плоскость проекций и изобразить либо на месте одного из основных видов, либо на свободном поле чертежа;

- в случае необходимости ввести обозначение разреза.

В соответствии с требованием ГОСТ 2.305—2008 положение секущей плоскости на чертеже показывают линией сечения, обозначение которой показано на рис. 10.12.

Буква в обозначении линии сечения наносится с внешней стороны стрелок, указывающих направление взгляда. Разрез обозначается надписью типа *A—A* (две русские буквы через тире), которую располагают параллельно основной надписи над соответствующим изображением.

Если секущая плоскость совпадает с плоскостью симметрии предмета и соответствующие изображения расположены на одном и том же листе в проекционной связи с другими изображениями, положение секущей плоскости в горизонтальных, фронтальных и профильных разрезах не показывают и разрез не надписывают (см. рис. 10.11).

Разрезы принято классифицировать по различным признакам.

В зависимости от числа секущих плоскостей разрезы подразделяют на простые и сложные.

**Простым** называется разрез, выполненный одной секущей плоскостью.

В зависимости от положения секущей плоскости относительно плоскости проекций различают горизонтальные, фронтальные и профильные простые разрезы.

**Горизонтальный** разрез получают рассечением предмета плоскостью, параллельной горизонтальной плоскости проекций, и его изображение располагают на месте вида сверху или вида снизу (рис. 10.13).

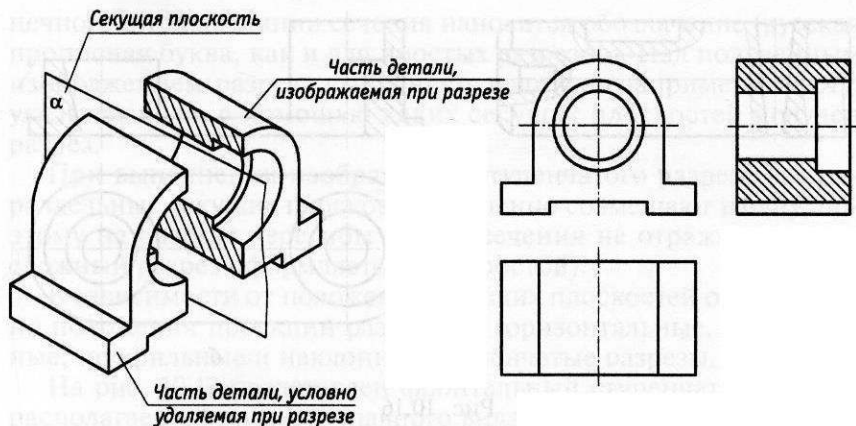


Рис. 10.14

**Фронтальный разрез** получают рассечением предмета плоскостью, параллельной фронтальной плоскости проекций, и его изображение располагают на месте главного вида (см. рис. 10.11).

**Профильный разрез** получают рассечением предмета плоскостью, параллельной профильной плоскости проекций, и его изображение располагают на месте вида слева или справа (рис. 10.14).

К простым также относятся наклонные и местные разрезы.

Разрез называется **наклонным**, если секущая плоскость составляет с горизонтальной плоскостью проекций угол, неравный  $90^\circ$ . Строят и располагают наклонный разрез в соответствии с направлением взгляда, указанным стрелками на линии сечения.

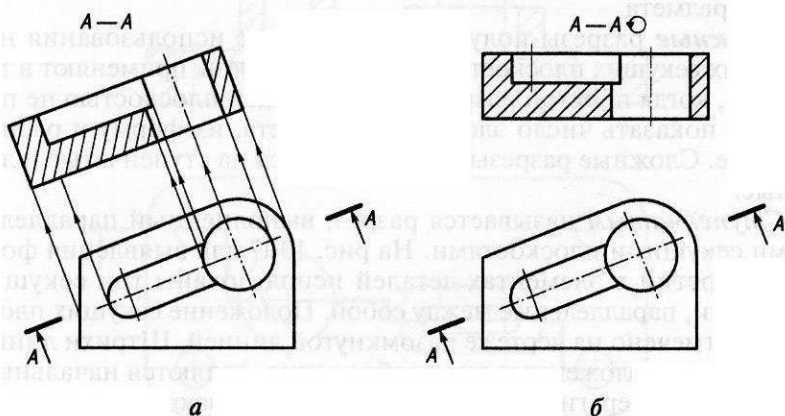


Рис. 10.15

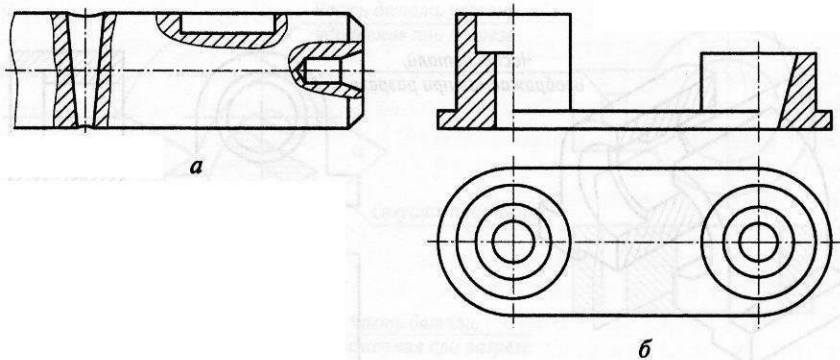


Рис. 10.16

Также допускается располагать его в любом месте поля чертежа (рис. 10.15, *a*) или с поворотом до положения, соответствующего положению, принятому для данного предмета на главном изображении (рис. 10.15, *б*). В последнем случае к надписи добавляют знак  $\odot$ .

**Местным** называется разрез, предназначенный для выявления конструктивных особенностей предмета в отдельном ограниченном месте.

Местный разрез выделяют на виде сплошной волнистой тонкой линией, которая не должна совпадать с какими-либо другими линиями изображения (рис. 10.16, *a*).

Если местный разрез выполняют на части предмета, представляющей собой тело вращения (например, цилиндрические элементы на рис. 10.16, *б*), то такой разрез можно отделить от вида штрихпунктирной линией, являющейся изображением оси этой части предмета.

**Сложные** разрезы получают в результате использования нескольких секущих плоскостей. Сложные разрезы применяют в тех случаях, когда простой разрез одной секущей плоскостью не позволяет показать число элементов предмета, их форму и расположение. Сложные разрезы подразделяются на ступенчатые и ломаные.

**Ступенчатым** называется разрез, выполненный параллельными секущими плоскостями. На рис. 10.17 для выявления формы отверстий в элементах деталей использованы три секущие плоскости, параллельные между собой. Положение секущих плоскостей отмечено на чертеже разомкнутой линией. Штрихи линии сечения, расположенные вне изображения, являются начальным и конечным. Перегибы линии сечения показывают места перехода от одной секущей плоскости к другой. Линии перегиба также выполняются штрихами разомкнутой линии. У начального и ко-

нечного штрихов линии сечения наносится обозначение (русская прописная буква, как и для простых разрезов). Над полученным изображением разреза выполняют надпись (например,  $A-A$ ), указывающую, с помощью каких секущих плоскостей получен разрез.

При выполнении изображения ступенчатого разреза все параллельные секущие плоскости мысленно совмещают в одну, поэтому на разрезе перегибы линии сечения не отражаются (т.е. сложный разрез оформляется как простой).

В зависимости от положения секущих плоскостей относительно положения проекций различают горизонтальные, фронтальные, профильные и наклонные ступенчатые разрезы.

На рис. 10.17 представлен фронтальный ступенчатый разрез, располагаемый на месте главного вида.

Ступенчатые разрезы допускается располагать на любом месте поля чертежа вне проекционной связи.

*Ломаным* называется разрез, полученный при рассечении предмета пересекающимися плоскостями (рис. 10.18).

Особенностью выполнения ломаных разрезов является то, что одну из секущих плоскостей вместе с фигурой сечения поворачивают вокруг линии пересечения плоскостей до совмещения с другой секущей плоскостью, параллельной какой-либо плоскости проекций, и только после этого обе фигуры сечения совмещают с плоскостью чертежа. При этом направление пово-

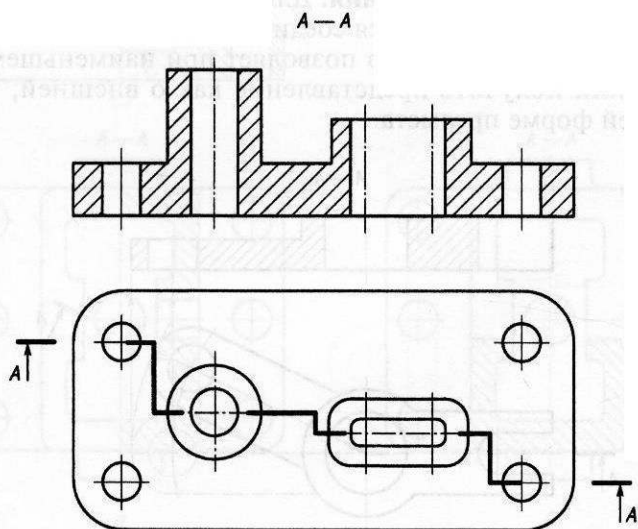


Рис. 10.17



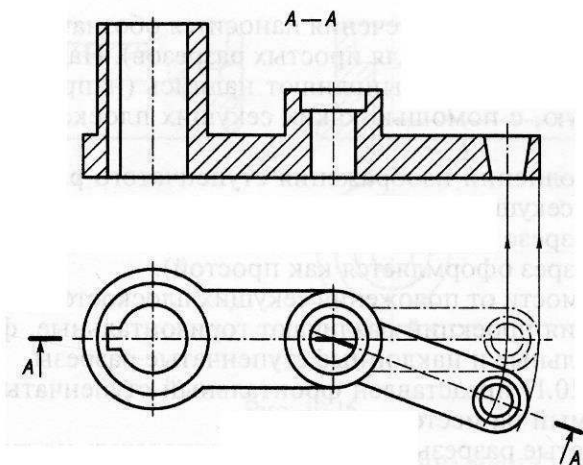


Рис. 10.18

рота секущей плоскости может не совпадать с направлением взгляда, указанным стрелками на линиях сечения (рис. 10.19).

При повороте секущей плоскости элементы предмета, расположенные за ней, вычерчивают так, как они проецируются на плоскость, с которой производится совмещение (рис. 10.20). Выступ *Б*, находящийся за секущей плоскостью, совмещаемой с фронтальной плоскостью, в повороте не участвует.

**Совмещенные изображения.** Для уменьшения числа изображений на чертеже допускается соединять часть вида с частью соответствующего разреза. Это позволяет при наименьшем числе изображений получить представление как о внешней, так и о внутренней форме предмета.

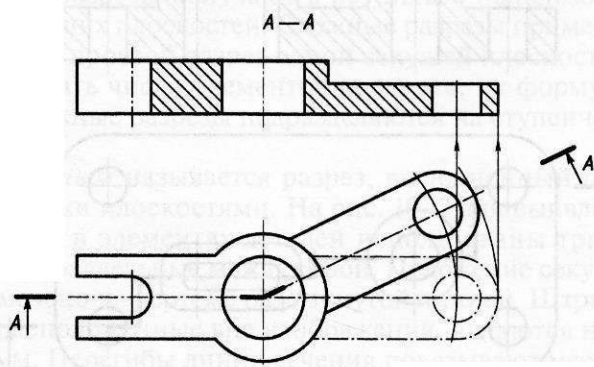


Рис. 10.19

При симметричной форме можно не показывать всю деталь в разрезе полностью, а изображать разрез только одной ее половины и внешний вид другой половины.

Если соединяющиеся части вида и разреза представляют собой симметричные фигуры, то их отделяют друг от друга тонкой штрихпунктирной линией. При этом часть изображения, представляющую собой разрез, обычно располагают правее (рис. 10.21, а) или ниже (рис. 10.21, б) оси симметрии, разделяющей соединяемые изображения.

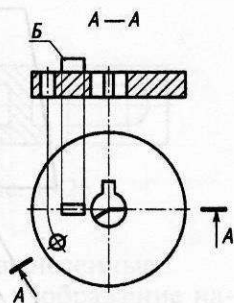


Рис. 10.20

На соединяемых частях вида обычно не проводят штриховые линии, соответствующие невидимым контурам.

Если с осью симметрии изображения совпадает какая-либо линия, например проекция ребра (рис. 10.22), то вид от разреза отделяют сплошной волнистой линией, проводимой левее или правее оси симметрии.

При изображении несимметричных деталей часть вида от части разреза также отделяют волнистой линией (рис. 10.23).

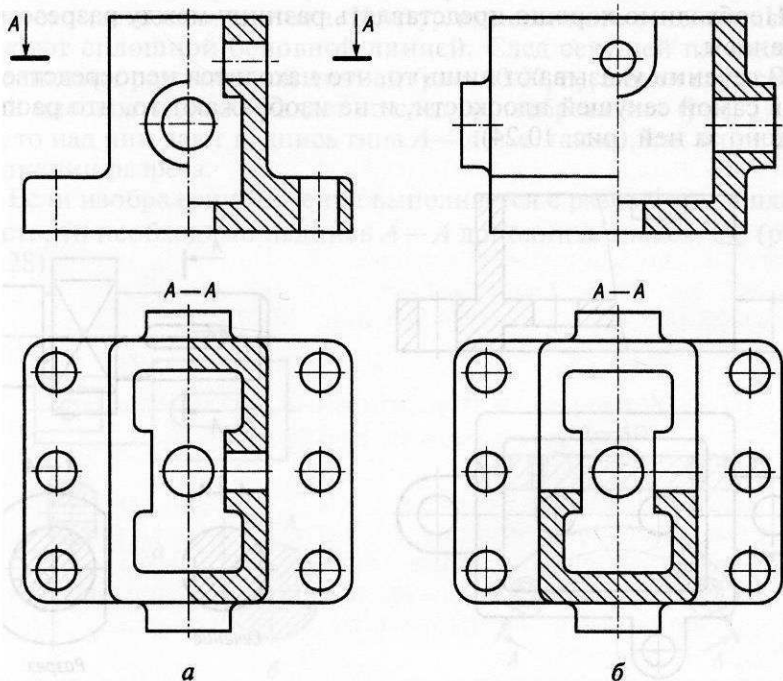


Рис. 10.21

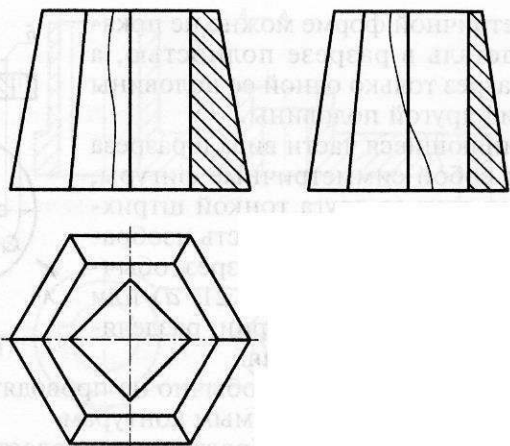


Рис. 10.22

**Сечения.** Сечением называется изображение, полученное при мысленном рассечении предмета одной или несколькими плоскостями. Сечение входит как составная часть в каждый разрез, но может существовать и как самостоятельное изображение.

Необходимо хорошо представлять разницу между разрезом и сечением.

В сечении указывают лишь то, что находится непосредственно в самой секущей плоскости, и не изображают то, что расположено за ней (рис. 10.24).

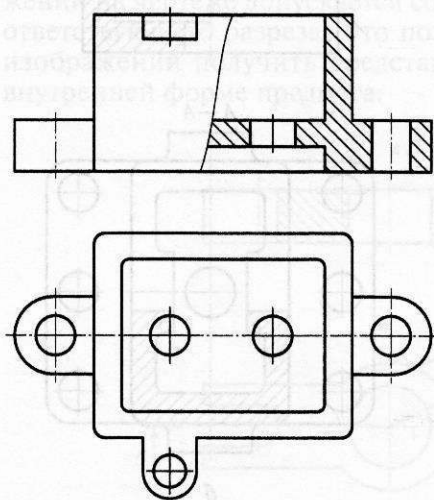


Рис. 10.23

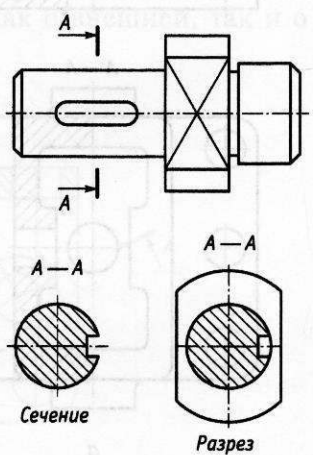


Рис. 10.24

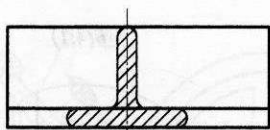


Рис. 10.25



Рис. 10.26

Сечения подразделяются на наложенные и вынесенные.

Сечение называется *наложенным*, если его изображение накладывают на изображение предмета в месте расположения секущей плоскости, т.е. совмещают фигуру сечения с соответствующим видом (рис. 10.25). Контур наложенного сечения изображают сплошной тонкой линией, причем контур изображения в месте расположения наложенного сечения не прерывают.

Допускается размещать сечения в разрыве между частями вида (рис. 10.26). Этот прием, как правило, применяют при изображении длинных деталей, имеющих однообразную форму на большом протяжении.

Сечение называется *вынесенным*, если оно выполняется отдельно от основного изображения и располагается на любом свободном месте поля чертежа. Контур вынесенного сечения изображают сплошной основной линией. След секущей плоскости обозначают разомкнутой линией (рис. 10.27, а), а если след секущей плоскости не совпадает со следом изображения (рис. 10.27, б), то над ним дают надпись типа  $A-A$ , т.е. так же, как и при выполнении разреза.

Если изображение сечения выполняется с разворотом в плоскость, то необходимо надпись  $A-A$  дополнить знаком  $\Omega$  (рис. 10.28).

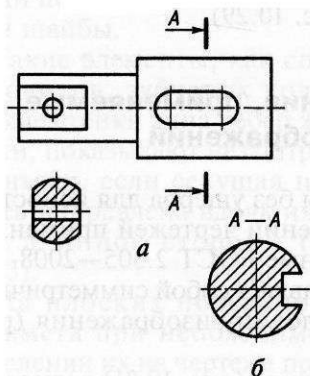


Рис. 10.27

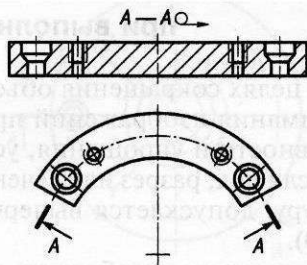


Рис. 10.28

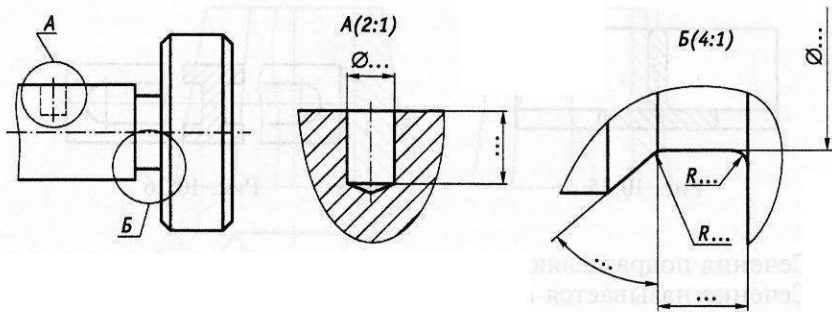


Рис. 10.29

Предпочтительны вынесенные и расположенные в разрыве сечения.

**Выносные элементы.** *Выносным элементом* называется отдельное дополнительное изображение (обычно увеличенное) какой-либо части предмета, требующей каких-то пояснений, например в отношении формы, размеров и т. д.

Выносные элементы применяют в тех случаях, когда невозможно на основном изображении показать мелкие элементы предмета с необходимыми подробностями.

Выносной элемент может содержать подробности, не указанные на соответствующем изображении, и может отличаться от него по содержанию (например, изображение может быть видом, а выносной элемент — разрезом).

Место выносного элемента на виде, разрезе или сечении отмечают замкнутой сплошной тонкой линией, например в форме окружности или овала, и обозначают прописной русской буквой, расположенной на полке линии-выноски. Над изображением выносного элемента указывают соответствующее обозначение и масштаб, в котором он выполнен (рис. 10.29).

## 10.2. Условности и упрощения, применяемые при выполнении изображений

В целях сокращения объема работы без ущерба для ясности и понимания изображений при выполнении чертежей применяют условности и упрощения, установленные ГОСТ 2.305—2008.

Если вид, разрез или сечение представляет собой симметричную фигуру, допускается вычерчивать половину изображения (рис. 10.30).

Допускается изображать часть предмета (рис. 10.31) с указанием числа одинаковых элементов и их расположения.

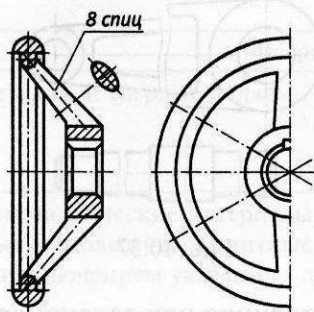


Рис. 10.30

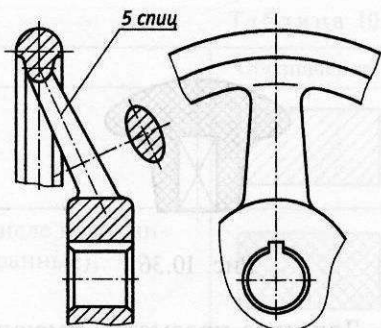


Рис. 10.31

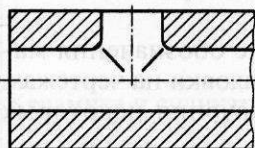


Рис. 10.32

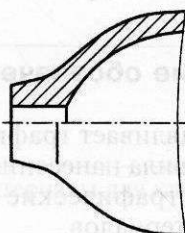


Рис. 10.33

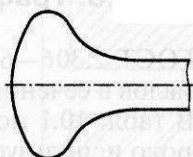


Рис. 10.34

Плавный переход от одной поверхности к другой изображают условно (рис. 10.32, 10.33) или совсем не показывают (рис. 10.34).

Такие детали, как, например, винты, заклепки, шпонки, непустотелые валы и шпиндели, шатуны, рукоятки, при продольном разрезе показывают нерассеченными. Как правило, на сборочных чертежах нерассеченными показываются также гайки и шайбы.

Такие элементы, как спицы маховиков, зубчатых колес и тонкие стенки типа ребер жесткости, показывают незаштрихованными, если секущая плоскость направлена вдоль их оси или длинной стороны (рис. 10.35).

На плоских поверхностях предмета при необходимости выделения их на чертеже проводят диагонали сплошными тонкими линиями (рис. 10.36).

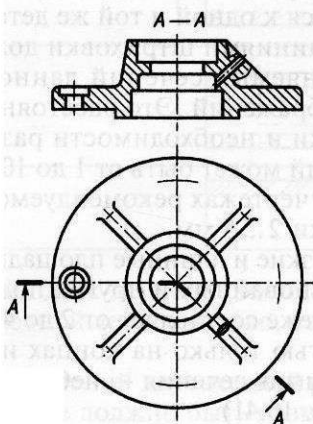


Рис. 10.35

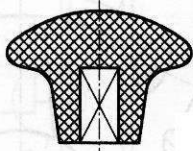


Рис. 10.36

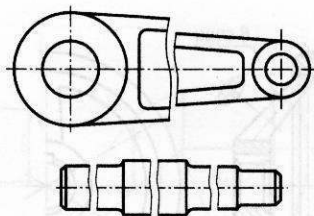


Рис. 10.37

Длинные предметы, имеющие постоянное или закономерно изменяющееся поперечное сечение (валы, прутки, фасонный прокат и т. п.), допускается изображать с разрывами (рис. 10.37).

### 10.3. Графические обозначения материалов

ГОСТ 2.306—68 устанавливает графические обозначения материалов в сечениях и правила нанесения штриховки на чертежах.

В табл. 10.1 показаны графические обозначения некоторых широко используемых материалов.

Штриховку в сечениях цветных, черных металлов и их сплавов выполняют сплошными тонкими параллельными линиями под углом  $45^\circ$  к линиям рамки чертежа (рис. 10.38).

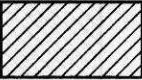
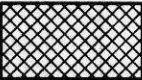
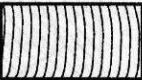
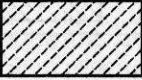

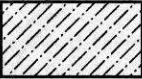
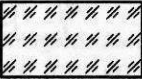
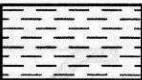

В случае когда направление штриховки совпадает с направлением линий контура, разрешается выполнять ее под углом  $30^\circ$  (рис. 10.39) или  $60^\circ$  (рис. 10.40).

Линии штриховки наносят с наклоном влево или вправо, но, как правило, в одну и ту же сторону на всех сечениях, относящихся к одной и той же детали. Расстояние между параллельными линиями штриховки должно быть одинаковым для всех выполняемых сечений данной детали независимо от масштаба изображений. Это расстояние в зависимости от площади штриховки и необходимости разнообразить штриховку смежных сечений может быть от 1 до 10 мм. Например, для металла на учебных чертежах рекомендуемое расстояние между линиями штриховки 2...5 мм.

Узкие и длинные площади сечений (например, штампованных, вальцованных и других подобных деталей, ширина которых на чертеже составляет от 2 до 4 мм) рекомендуется штриховать полностью только на концах и у контуров отверстий, а остальную площадь сечения — небольшими участками в нескольких местах (рис. 10.41).

Узкие площади сечений, ширина которых на чертеже менее 2 мм, разрешается зачернять (рис. 10.42).

Таблица 10.1

Материал	Обозначение
Металлы и твердые сплавы	
Неметаллические материалы, в том числе волокнистые монолитные и плитные (прессованные), за исключением указанных далее	
Дерево	
Камень естественный	
Керамика и силикатные материалы для кладки	
Бетон	
Стекло и другие светопрозрачные материалы	
Жидкости	
Грунт естественный	

Линии штриховки смежных сечений двух деталей следует наносить с наклоном в разные стороны: одной детали вправо, а другой — влево (рис. 10.43).

При штриховке «в клетку» смежных сечений двух деталей расстояние между линиями штриховки также должно быть разным.

Штриховку с одинаковыми наклоном и направлением в смежных сечениях выполняют с разным расстоянием между линиями



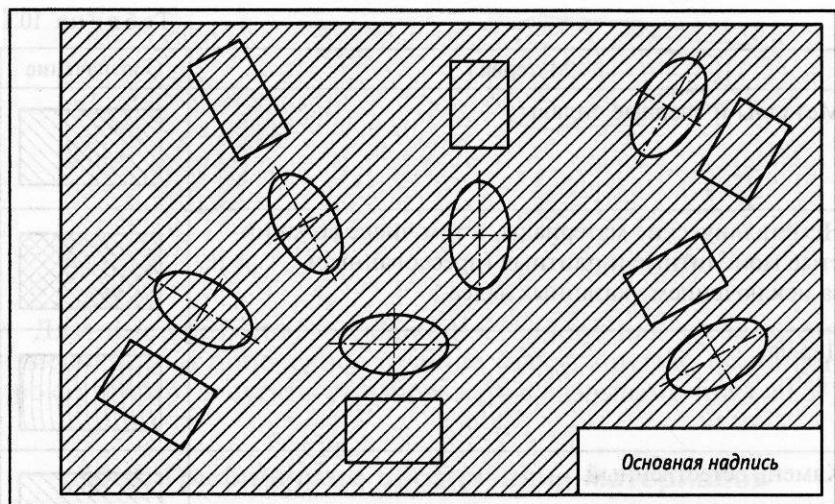


Рис. 10.38

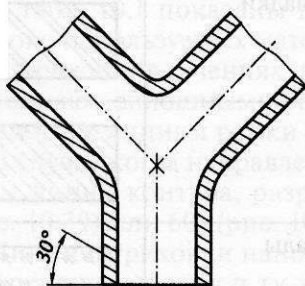


Рис. 10.39

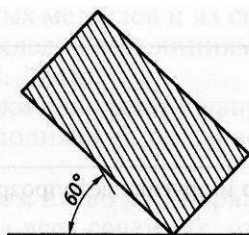


Рис. 10.40

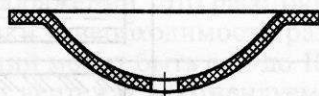


Рис. 10.41

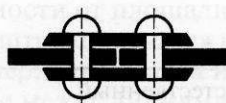


Рис. 10.42

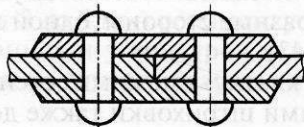


Рис. 10.43

или сдвигают линии штриховки в этих сечениях по отношению друг к другу.

## 10.4. Нанесение размеров

Размеры изображенного изделия и его элементов определяют по *размерным числам*, нанесенным на чертеже. Основные правила нанесения размеров устанавливает ГОСТ 2.307—2011.

Для указания на чертеже размеров проводят сплошные тонкие *выносные* и *размерные* линии.

На всех чертежах независимо от масштаба изображения указывают действительные размеры изделия в миллиметрах (без обозначения единицы измерения). Другие используемые единицы измерения (см, м) указывают после размерного числа (например, 10 см) или в технических требованиях.

Размерные линии, определяющие границы измерения, могут быть прямыми (рис. 10.44) или иметь форму дуги окружности (рис. 10.45). Минимальное расстояние между размерными линиями — 7 мм, а между размерной линией и линией контура — 10 мм (рис. 10.46).

Следует избегать пересечения размерных и выносных линий. При этом выносные линии должны выходить за концы стрелок или засечек на 1...3 мм (см. рис. 10.46).

Размерные линии проводят параллельно отрезку, размер которого указывают, а выносные линии — перпендикулярно размерным, за исключением случаев, когда они вместе с измеряемым отрезком образуют параллелограмм (рис. 10.47).

Размерные линии с обоих концов ограничиваются стрелками, упирающимися в соответствующие выносные, осевые или кон-

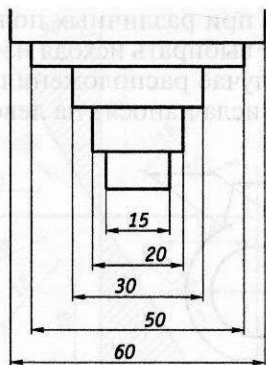


Рис. 10.44

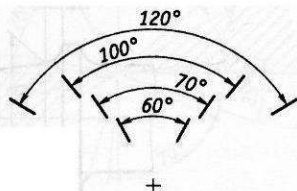


Рис. 10.45

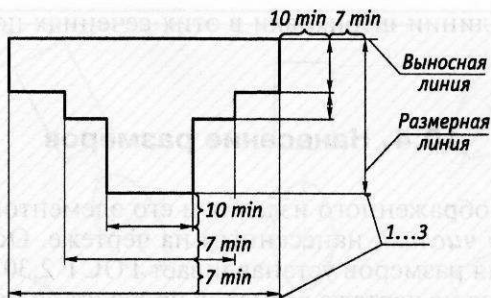


Рис. 10.46

турные линии. Формы стрелок и приблизительное соотношение их элементов показаны на рис. 10.48.

Размер стрелки следует сохранять на всем чертеже. Если стрелки невозможно разместить на концах размерной линии, то их выполняют с наружной стороны выносных линий (см. рис. 10.47).

В случаях когда места для нанесения стрелок на размерных линиях, расположенных цепочкой, недостаточно, стрелки можно заменять засечками (рис. 10.49), наносимыми под углом  $45^\circ$  к размерным линиям, либо четкими точками (рис. 10.50).

Допускается прерывать контурную или выносную линию при пересечении их со стрелкой (рис. 10.51).

Размерные числа в общем случае следует наносить над размерной линией и по возможности ближе к ее середине. При нанесении нескольких параллельных или концентрических размерных линий на небольшом расстоянии друг от друга размерные числа над ними рекомендуется располагать в шахматном порядке (см. рис. 10.44, 10.45).

При нанесении размера диаметра внутри окружности размерные числа смещают относительно середины размерных линий.

Способ нанесения размерного числа при различных положениях размерных линий и стрелок следует выбирать исходя из наибольшего удобства чтения чертежа. В случае расположения размерной линии вертикально размерные числа наносят на левой ее

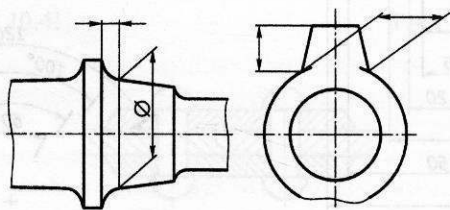


Рис. 10.47

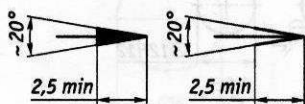


Рис. 10.48

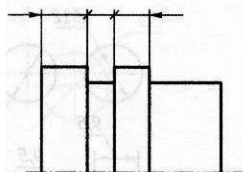


Рис. 10.49

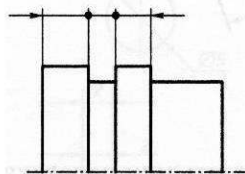


Рис. 10.50

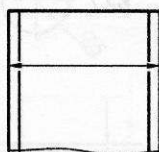


Рис. 10.51

стороне. Если размерные линии наклонены, то размерные числа располагают на верхней их стороне, как показано на рис. 10.52.

Если размерная линия находится в заштрихованной зоне (рис. 10.53), размерное число указывают на полке линии-выноски, которую располагают параллельно основной надписи.

Угловые размеры наносят, как показано на рис. 10.53. В зоне, расположенной выше горизонтальной осевой линии, размерные числа помещают над размерными линиями со стороны их выпуклости, а в зоне, расположенной ниже горизонтальной осевой линии, — со стороны их вогнутости.

Если для нанесения размерного числа над размерной линией недостаточно места, его проставляют на ее продолжении либо на полке линии-выноски (рис. 10.54). Если же недостаточно места для выполнения стрелок, их наносят, как показано на рис. 10.55.

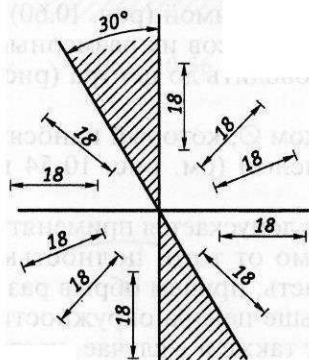


Рис. 10.52

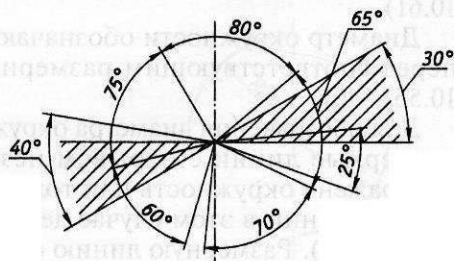


Рис. 10.53

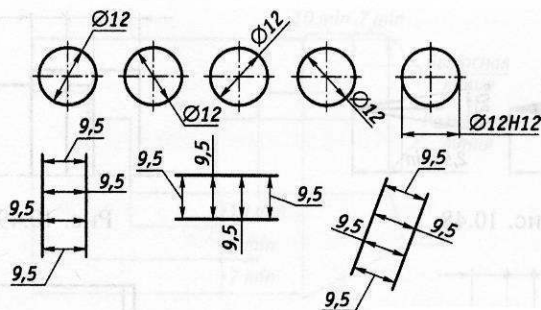


Рис. 10.54

Размерные числа не допускается разделять или пересекать никакими линиями чертежа. В месте нанесения размерного числа осевые, центровые линии и линии штриховки прерывают (рис. 10.56).

Радиус окружности на чертеже обозначают прописной латинской буквой  $R$ , которую обязательно указывают перед соответствующим размерным числом. На рис. 10.57 показаны варианты нанесения радиуса на чертеже.

Если при нанесении радиуса дуги окружности необходимо указать положение ее центра, его изображают в виде пересечения центровых или выносных линий. При большом значении радиуса центр допускается приближать к дуге окружности, в этом случае размерную линию радиуса показывают с изломом под углом  $90^\circ$  (рис. 10.58).

Если не требуется указывать размеры, определяющие положение центра дуги окружности, размерную линию допускается не доводить до центра и смещать относительно него (рис. 10.59).

При проведении из одного центра размерные линии любых двух радиусов не должны располагаться на одной прямой (рис. 10.60).

При совпадении центров нескольких радиусов их размерные линии, кроме крайних, допускается не доводить до центра (рис. 10.61).

Диаметр окружности обозначают знаком  $\varnothing$ , который наносят перед соответствующим размерным числом (см. рис. 10.54 и 10.55).

Для обозначения диаметра окружности допускается применять размерные линии с обрывом независимо от того, полностью изображена окружность или только ее часть, причем обрыв размерной линии в этом случае делают дальше центра окружности (рис. 10.62). Размерную линию обрывают также и в случае, когда дается изображение вида предмета, соединенного с разрезом, как показано на рис. 10.63.

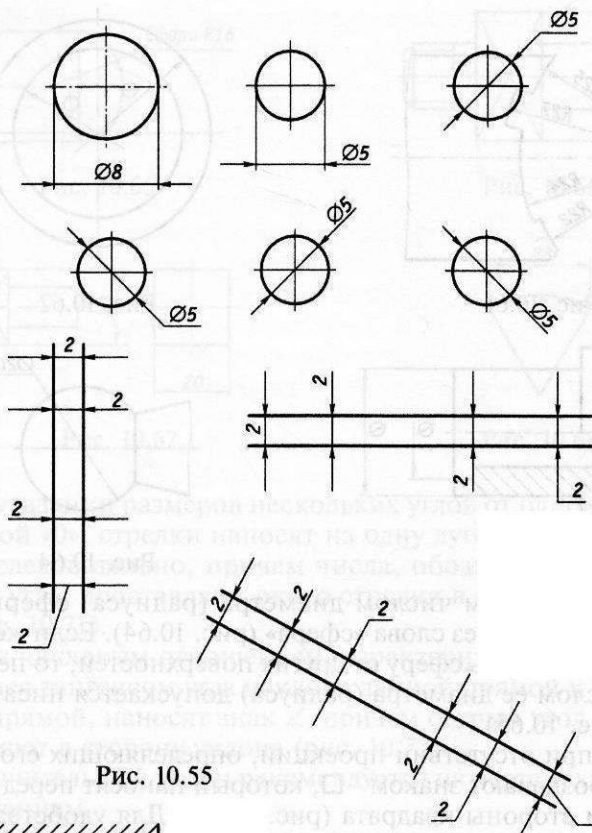


Рис. 10.55

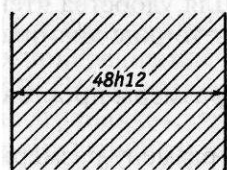


Рис. 10.56

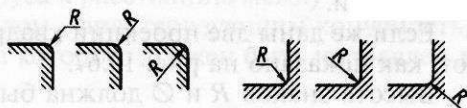


Рис. 10.57

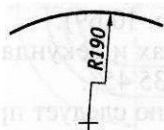


Рис. 10.58

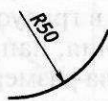


Рис. 10.59

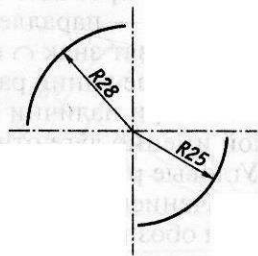


Рис. 10.60

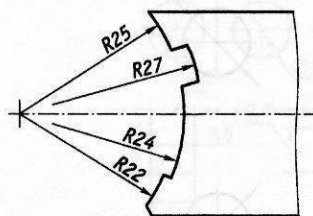


Рис. 10.61

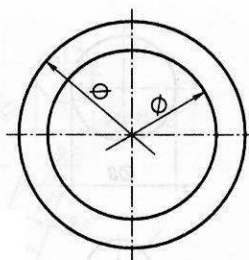


Рис. 10.62

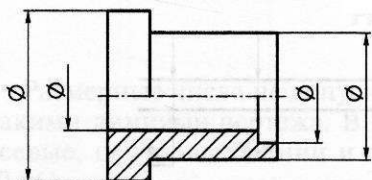


Рис. 10.63

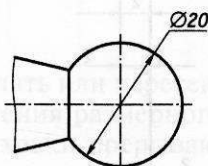


Рис. 10.64

Перед размерным числом диаметра (радиуса) сферы также наносят знак  $\varnothing$  ( $R$ ) без слова «сфера» (рис. 10.64). Если же на чертеже трудно отличить сферу от других поверхностей, то перед размерным числом ее диаметра (радиуса) допускается писать слово «сфера» (рис. 10.65).

Квадрат при отсутствии проекций, определяющих его конфигурацию, обозначают знаком  $\square$ , который наносят перед размерным числом стороны квадрата (рис. 10.66). Для удобства чтения чертежа на проекции боковой грани проводят тонкие диагональные линии.

Если же даны две проекции квадрата, его размеры проставляют, как показано на рис. 10.67.

Высота знаков  $R$  и  $\varnothing$  должна быть равна размеру размерных чисел на данном чертеже.

При обозначении размера дуги окружности дуговую размерную линию проводят concentрично обозначаемой дуге, выносные линии — параллельно биссектрисе угла, а над размерным числом ставят знак  $\cap$  (рис. 10.68).

Выносные линии размера дуги можно также располагать радиально, и при наличии concentрических дуг следует указывать, к какой именно дуге относится данный размер (рис. 10.69).

Угловые размеры указывают в градусах, минутах и секундах с обозначением единицы измерения, например  $30^{\circ}35'45''$ .

При обозначении размера угла размерную линию следует проводить в виде дуги окружности с центром в его вершине, выносными линиями при этом служат стороны угла (рис. 10.70).

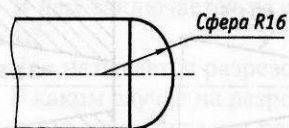


Рис. 10.65

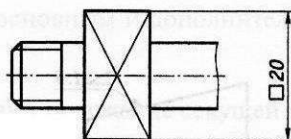


Рис. 10.66

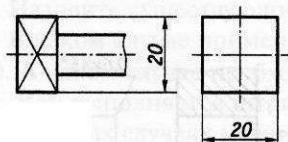


Рис. 10.67

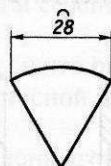


Рис. 10.68

При указании размеров нескольких углов от одной базы, обозначенной «0», стрелки наносят на одну дуговую размерную линию последовательно, причем числа, обозначающие значение каждого угла, проставляют около стрелки в конце выносной линии (рис. 10.71).

Перед числовым отношением, характеризующим уклон и являющимся тангенсом угла наклона данной прямой к какой-либо другой прямой, наносят знак  $\angle$ , причем острый угол этого знака направляют в сторону уклона (рис. 10.72).

Незначительный уклон рекомендуется на чертежах изображать с увеличением.

Под конусностью понимают отношение разности диаметров двух поперечных сечений конуса к расстоянию между ними (рис. 10.73). Перед размерным числом, характеризующим конусность, наносят знак  $\triangleright$ , острый угол которого должен быть направлен в сторону вершины конуса.

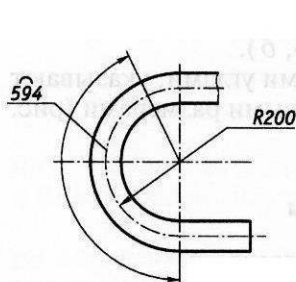


Рис. 10.69

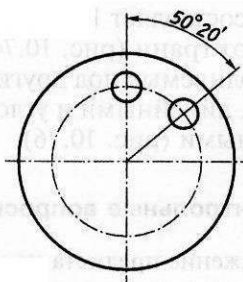


Рис. 10.70

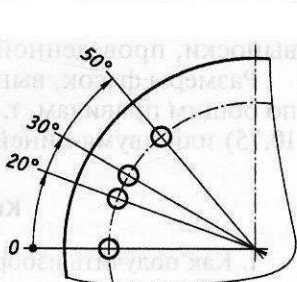


Рис. 10.71



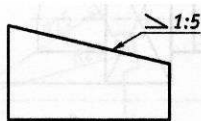


Рис. 10.72

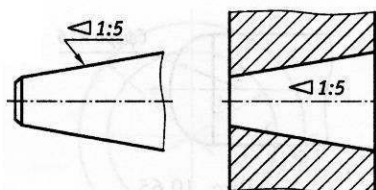
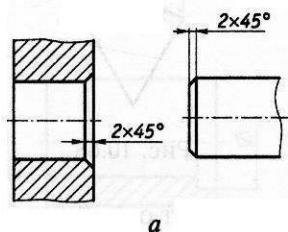
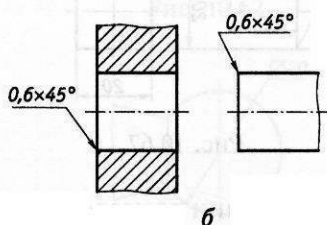


Рис. 10.73

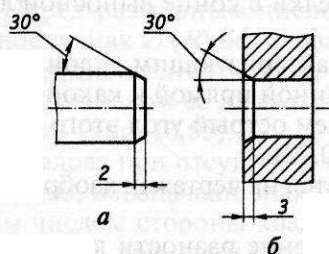


а



б

Рис. 10.74



а

б

Рис. 10.75

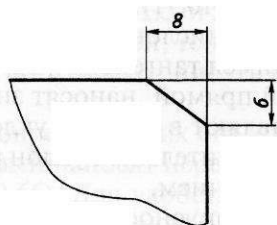


Рис. 10.76

Размеры фасок, выполняемых под углом  $45^\circ$ , наносят, как показано на рис. 10.74, а. Допускается указывать размеры не изображенной на чертеже фаски, выполняемой под углом  $45^\circ$ , которая в масштабе чертежа составляет 1 мм и менее, на полке линии-выноски, проведенной от грани (рис. 10.74, б).

Размеры фасок, выполняемых под другими углами, указывают по общим правилам, т. е. линейными и угловыми размерами (рис. 10.75) или двумя линейными (рис. 10.76).

### Контрольные вопросы

1. Как получить изображение предмета на плоскости?
2. Сколько вы знаете основных видов и как они расположены по отношению к главному виду?

3. В чем заключается разница между основным и дополнительным видами?
4. Что называется разрезом?
5. В каком случае на разрезах не отмечают положение секущей плоскости и не сопровождают разрез надписью?
6. В чем заключается особенность выполнения разрезов симметричных и несимметричных предметов?
7. В чем заключается разница между разрезом и сечением?
8. Назовите существующие виды сечений.
9. В каком случае применяются знаки  $\bigcirc$  и  $\bigcirc_{\text{с}}$  и что они означают?
10. В каком случае необходимо применять выносной элемент?
11. Как выполняется штриховка сечений?
12. В каких случаях можно изменить угол наклона штриховки?
13. Как наносят линии штриховки в сечении смежных деталей?
14. Какая условность используется при изображении симметричных деталей?
15. Как условно изображают в разрезе детали с тонкими стенками или ребрами?
16. Как изображают предметы, имеющие несколько одинаковых равномерно расположенных элементов?
17. В каких единицах измерения указывают размерные числа на чертеже?
18. Каково минимально допустимое расстояние между контуром изображения детали и первой размерной линией?
19. Как проводят размерные и выносные линии относительно отрезка, размер которого указывают на чертеже?
20. Как располагают размерные числа на чертеже?
21. Что означают следующие знаки, наносимые перед размерным числом:  $\square$ ,  $\angle$ ,  $\triangleright$ ?

### 11.1. Основные требования к чертежам деталей

Чертеж детали — это конструкторский графический документ, содержащий изображения детали и данные, необходимые для ее изготовления и контроля. Чертежи деталей включают в себя эскизы и рабочие чертежи.

Основные требования к чертежам деталей устанавливает ГОСТ 2.109—73.

Рассмотрим некоторые из них.

1. Каждый чертеж детали выполняют на отдельном листе, формат которого устанавливает ГОСТ 2.301—68 (см. подразд. 9.1).

2. Чертеж должен содержать основную надпись, выполненную в соответствии с ГОСТ 2.104—2006 по форме 1 (см. подразд. 9.2).

3. Масштаб изображения детали выбирают в соответствии с ГОСТ 2.302—68 (см. подразд. 9.3).

4. На чертежах применяют условные обозначения (линии, знаки, буквенные и буквенно-цифровые обозначения), установленные государственными стандартами.

5. Чертеж детали в графе 3 основной надписи (см. рис. 9.4) должен содержать сведения о материале, из которого изготовлено изделие. Обозначение материала в общем случае состоит из его названия, марки и номера стандарта.

Марки материала, включающие в себя цифры, буквы или их сочетания, условно определяют качество материала. Если в марку входят буквы, указывающие название материала, то в обозначении название материала обычно не дают.

Пример условных обозначений материалов:

СЧ 15-32 ГОСТ 1412—85 — чугун серый с указанием предела прочности на растяжение (первые две цифры) и предела прочности на изгиб (две цифры после дефиса);

СТ 3 ГОСТ 380—2005 — сталь обыкновенная;

Сталь 50 ГОСТ 1050—2013 — углеродистая качественная конструкционная сталь марки 50.

Чертеж детали должен давать полное представление об этой детали, что выполняется с помощью графических изображений и поясняющего текстового материала.

Графическая часть чертежа должна содержать минимальное, но достаточное для полного представления формы детали число изображений (виды, разрезы, сечения, выносные элементы).

Выбор числа изображений, главного изображения и содержания изображений — это сложный творческий процесс, определяемый степенью сложности детали.

В целях сокращения количества графической работы следует выполнять изображения с разрывами, местные разрезы и местные виды, а также совмещать изображения или изображать только одну половину симметричных предметов.

Кроме изображений предмета с размерами чертёж может содержать:

- текстовую часть, состоящую из технических требований и при необходимости технических характеристик;
- надписи, относящиеся к отдельным элементам изделия;
- таблицы с различными параметрами.

Текстовую часть, надписи и таблицы включают в чертёж в тех случаях, когда содержащиеся в них данные, указания и разъяснения невозможно (или нецелесообразно) выразить графически или посредством условных обозначений. Текст и надписи должны быть краткими и точными. В надписях на чертежах не должно быть сокращений слов, за исключением общепринятых и установленных стандартами.

Текст на поле чертежа, таблицы, надписи с обозначениями изображений, а также надписи, связанные непосредственно с изображением, как правило, располагают параллельно основной надписи чертежа.

Около изображений на полках линий-выносок допустимы только краткие надписи, например указания о числе конструктивных элементов (отверстий, канавок, фасок и т. п.).

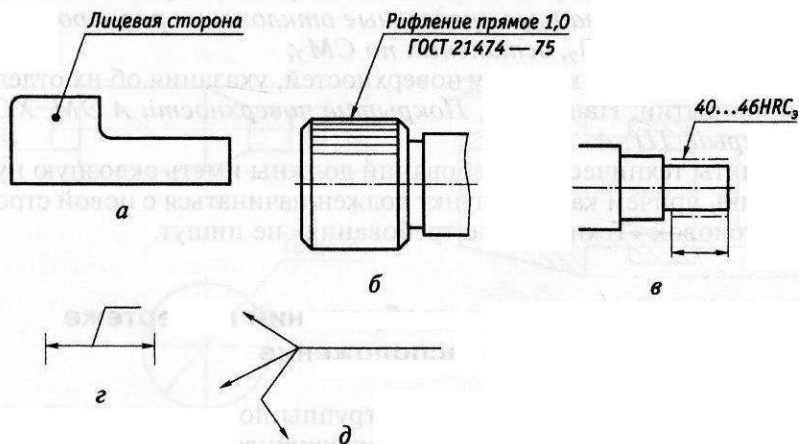


Рис. 11.1

Линию-выноску, пересекающую контур изображения и не отводимую от какой-либо линии, заканчивают точкой (рис. 11.1, а); линию-выноску, отводимую от линий видимого и невидимого контуров, заканчивают стрелкой (рис. 11.1, б, в). На конце линии-выноски, отводимой от всех других линий, не должно быть ни стрелки, ни точки (рис. 11.1, г).

Линии-выноски не должны пересекаться между собой, быть непараллельными линиям штриховки, а также не должны пересекать (по возможности) размерные линии и элементы изображений, к которым не относятся. Допускается выполнять линии-выноски с одним изломом (рис. 11.1, а...г), а также проводить от одной полки несколько линий-выносок (рис. 11.1, д).

Надписи, относящиеся непосредственно к изображению, могут содержать не более двух строк, располагаемых над полкой линии-выноски и под ней.

Техническими требованиями называются текстовые указания, размещенные на поле чертежа над основной надписью и содержащие все не изображаемые графически требования к готовой детали.

Между техническими требованиями и основной надписью не допускается помещать изображения, таблицы и т. п.

Технические требования на чертежах группируют в следующем порядке:

1) требования, предъявляемые к материалу, заготовке, термической обработке и свойствам материала готовой детали (характеристики электрические, магнитные, твердость и т. д.). Например, *HRC 40...50, кроме поверхности А*;

2) требования к размерам, предельным отклонениям размеров, формы, взаимного расположения поверхностей, массы и т. п. Например, *Неуказанные предельные отклонения размеров: диаметров по  $A_7 - B_7$ , остальных по  $SM_7$* ;

3) требования к качеству поверхностей, указания об их отделке и покрытии. Например, *Покрытие поверхности А ЭМ. ХС-710, серый, III, А*.

Пункты технических требований должны иметь сквозную нумерацию, причем каждый пункт должен начинаться с новой строки. Заголовок «Технические требования» не пишут.

## 11.2. Выбор числа изображений на чертеже и их расположение

Детали можно подразделять на группы по некоторым общим признакам: *геометрическому, конструктивному, технологическому*, а также *по материалу*, из которого они сделаны, и т. д.

Так, рассматривая деталь по геометрическому признаку, за основу принимают ее форму, т. е. поверхности, которыми она ограничена (многогранник, поверхность вращения или другие криволинейные поверхности, а также комбинация поверхностей).

Рассматривая деталь по конструктивному признаку, за основу принимают ее назначение и работу в том или ином механизме.

Рассматривая деталь по технологическому признаку, за основу принимают технологический процесс ее изготовления (обработка резанием, литье,ковка, штамповка и т. д.).

Указанные признаки взаимосвязаны. Действительно, форма и назначение детали определяют технологию ее изготовления, и наоборот. Например, плоскую деталь целесообразно вырубать из полосового или листового материала, некоторые тонкостенные детали — штамповать, а детали из чугуна или других литейных сплавов — отливать с последующей механической обработкой.

Таким образом, приступая к выполнению чертежа детали, целесообразно рассматривать ее форму с учетом технологии изготовления.

В большинстве случаев деталь изображают на чертеже в том виде, в котором она должна поступать на сборку. Правильным выбором изображений обеспечивается наглядность и удобство чтения чертежа, а также и рациональность расположения изображений на поле.

Главный вид должен давать наиболее полное представление о форме и размерах детали и обеспечивать наибольшую наглядность других изображений. На месте главного вида может быть помещен разрез или сочетание вида и разреза. Для деталей типа тел вращения достаточно одного изображения на плоскости проек-

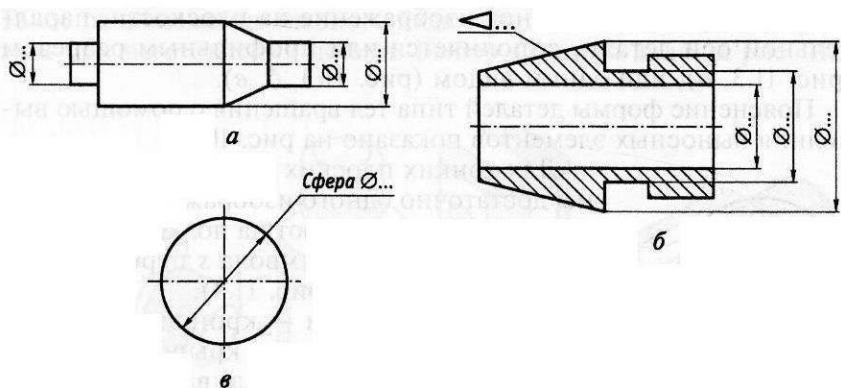


Рис. 11.2

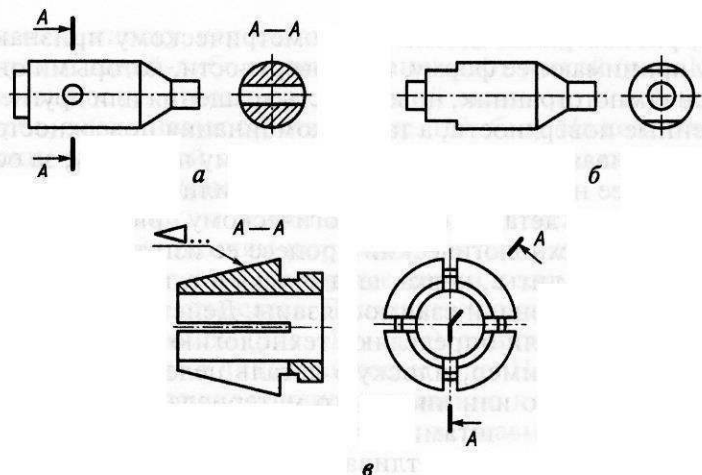


Рис. 11.3

ций, параллельной оси вращения, т.е. вида (рис. 11.2, *а, в*) или разреза (рис. 11.2, *б*) с указанием знака  $\varnothing$  перед размерным числом.

Детали, ограниченные поверхностями вращения и обрабатываемые наружной обточкой или расточкой (валы, оси, центры, штоки, втулки, стаканы, гильзы, поршни и др.) следует располагать на чертеже в том положении, которое они занимают во время обработки, т.е. их геометрическая ось должна быть расположена горизонтально (параллельно основной надписи чертежа).

Главное изображение деталей типа тел вращения с различными конструктивными элементами, например отверстиями, срезами, пазы, дополняют одним или несколькими видами, разрезами или сечениями, которые выявляют форму этих элементов.

Так, на рис. 11.3 главное изображение на плоскости, параллельной оси детали, дополняется или профильным разрезом (рис. 11.3, *а*), или одним видом (рис. 11.3, *б, в*).

Пояснение формы деталей типа тел вращения с помощью выполнения выносных элементов показано на рис. 10.29.

Для тонких плоских деталей любой формы достаточно одного изображения. Толщину материала указывают на полке линии-выноски с указанием символа  $s$  перед цифровым обозначением (рис. 11.4).

Корпусные детали — кронштейны, корпуса кранов, редукторов, крышки, фланцы и другие детали, изготавливаемые литьем или штамповкой, изображают на главном

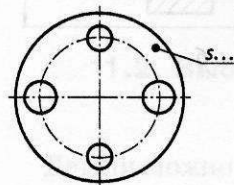


Рис. 11.4

виде таким образом, чтобы их основная обработанная поверхность (опорная) была расположена горизонтально (параллельно основной надписи). Эти поверхности обычно служат базой для отсчета размеров детали.

### 11.3. Выполнение эскиза детали

*Эскизом* называется чертеж, выполненный от руки в глазомерном масштабе с соблюдением пропорций отдельных частей изображаемого предмета.

Эскиз является конструкторским документом для разового изготовления детали на производстве или для выполнения ее рабочего чертежа.

В учебном процессе по курсу черчения эскизы выполняются при чтении и детализации сборочных чертежей изделий, а также с натуры. Независимо от того, что служит основанием для выполнения эскиза: детализуемый сборочный чертеж или сама деталь, графической работе всегда должно предшествовать осмысливание предстоящей работы.

Рассмотрим последовательность выполнения эскиза на примере детали *Проушина*, показанной на рис. 11.5.

Эскиз детали с натуры рекомендуется выполнять по этапам.

1. Изучение формы детали, выяснение, из каких элементов она состоит и как они располагаются относительно друг друга.

2. Определение необходимого числа изображений (видов, разрезов, сечений, выносных элементов и т. д.) и выбор главного вида, дающего наиболее полное представление о форме детали. Изображения деталей, ограниченных поверхностью вращения (валов, осей втулок, гильз, фланцев и т. п.), располагают на главном виде таким образом, чтобы ось детали была параллельна основной надписи. Такое расположение главного вида облегчает пользование чертежом при изготовлении детали. Выбор главного вида на рис. 11.5

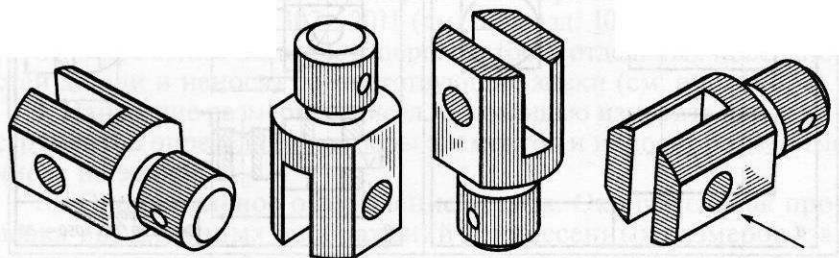


Рис. 11.5



показан стрелкой. Помимо главного вида для данной детали необходимы еще два изображения: вид сверху и вид слева.

3. Выбор формата листа и масштаба изображений. Формат листа выбирается по ГОСТ 2.301—68 (см. подразд. 9.1) и зависит от числа необходимых изображений, т.е. масштаб должен выбираться таким образом, чтобы можно было четко отразить все элементы детали и нанести требуемые размеры и условные обозначения.

4. Подготовка листа. Эскизы рекомендуется выполнять на бумаге в клетку, что позволит быстро проводить от руки горизонтальные и вертикальные линии, а также наклонные под углом  $45^\circ$

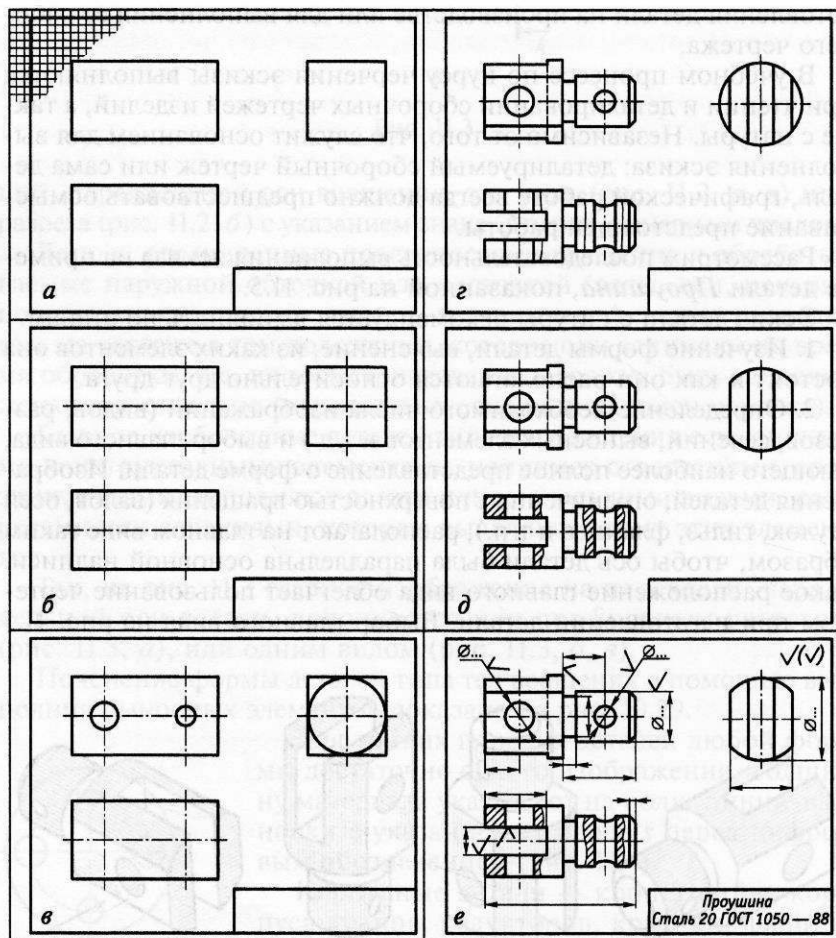


Рис. 11.6

(по диагоналям клеток). На данном этапе следует начертить рамку и прямоугольник основной надписи (рис. 11.6, *а*).

5. Компоновка изображений на листе. При компоновке изображений следует обратить внимание на максимальное использование поля листа бумаги. Выбрав на глаз масштаб изображений, устанавливают соотношение габаритных размеров детали и ее элементов.

На рис. 11.6, *б...е* показана последовательность выполнения изображений эскиза детали.

Работа должна выполняться мягким карандашом с соблюдением всех основных требований, предъявляемых к чертежам (за исключением масштаба).

Определив число изображений для данной детали, тонкими линиями выполняют три прямоугольника (см. рис. 11.6, *а*), причем располагают их таким образом, чтобы расстояния между самими прямоугольниками и краями рамки были достаточными для нанесения размерных линий, условных знаков и размещения технических требований.

6. Нанесение изображений элементов детали. Штрихпунктирными линиями с соблюдением требований стандартов проводят оси симметрии (так как деталь симметричная) и центровые линии в местах расположения отверстий (см. рис. 11.6, *б*). Тонкими сплошными линиями строят окружности и дуги в местах скруглений. Допускается проводить их по шаблонам или с помощью циркуля и затем обводить от руки (см. рис. 11.6, *в*).

7. Оформление видов, разрезов и сечений. Соблюдая проекционную связь между изображениями, вычерчивают все внешние элементы детали и с помощью разрезов показывают внутреннее ее очертания (см. рис. 11.6, *г*). Убирают все вспомогательные построения и наносят графическое обозначение материала (штрихуют сечения) в соответствии с ГОСТ 2.306—68 (см. рис. 11.6, *д*).

8. Нанесение размерных линий и условных знаков. Размерные линии и условные знаки (диаметр, радиус, квадрат, конусность, уклон и т. п.), определяющие характер поверхности, наносят в соответствии с ГОСТ 2.307—2011 (см. подразд. 10.4).

Одновременно намечают шероховатость отдельных поверхностей детали и наносят соответствующие знаки (см. рис. 11.6, *е*).

9. Нанесение размерных чисел. С помощью измерительных инструментов определяют размеры элементов и наносят размерные числа на эскизе.

10. Окончательное оформление эскиза. Окончательная проверка выполненных изображений и нанесенных размеров, заполнение основной надписи, составление технических требований.

## 11.4. Обмер деталей

Обмер деталей осуществляется с помощью специальных измерительных инструментов, которые выбирают в зависимости от формы, размеров детали и требуемой точности их определения.

Например, в одном случае для определения линейных размеров — длины, ширины и высоты (толщины) достаточно небольшой металлической линейки, в другом — требуется метр (цельный или складной) или рулетка, а в третьем — штангенциркуль.

Для измерения наружных и внутренних диаметров (цилиндрических стержней, отверстий) используют кронциркули и нутромеры.

На рис. 11.7 для примера показаны приемы обмера проушины с помощью металлической линейки 1, угольника 3, нутромера 5, кронциркуля 4 и штангенциркуля 2, 6. Применение угольника как вспомогательного инструмента вызвано тем, что на конце де-

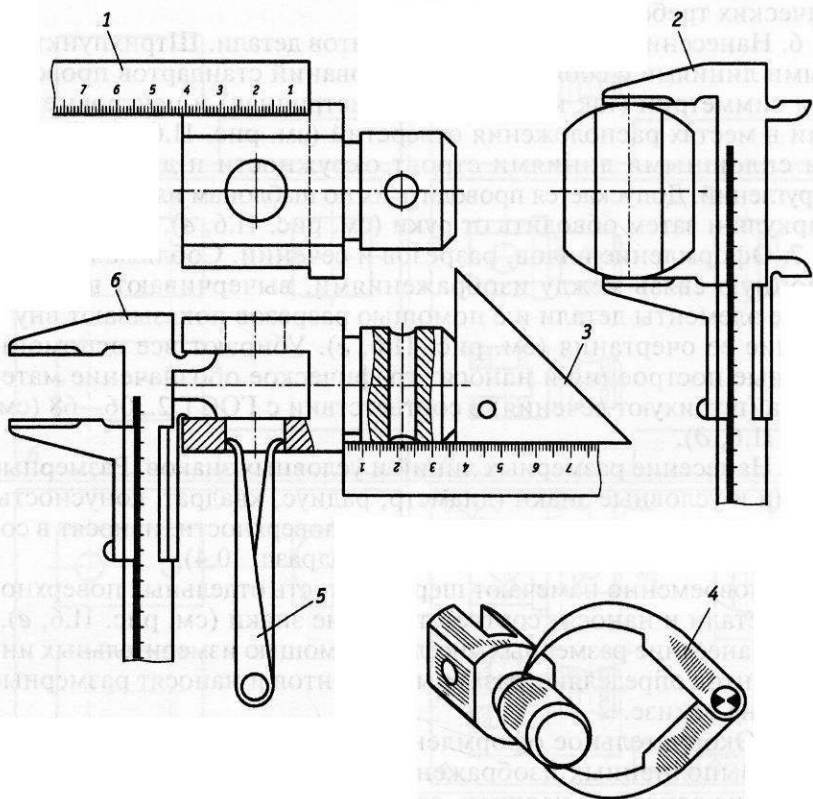


Рис. 11.7

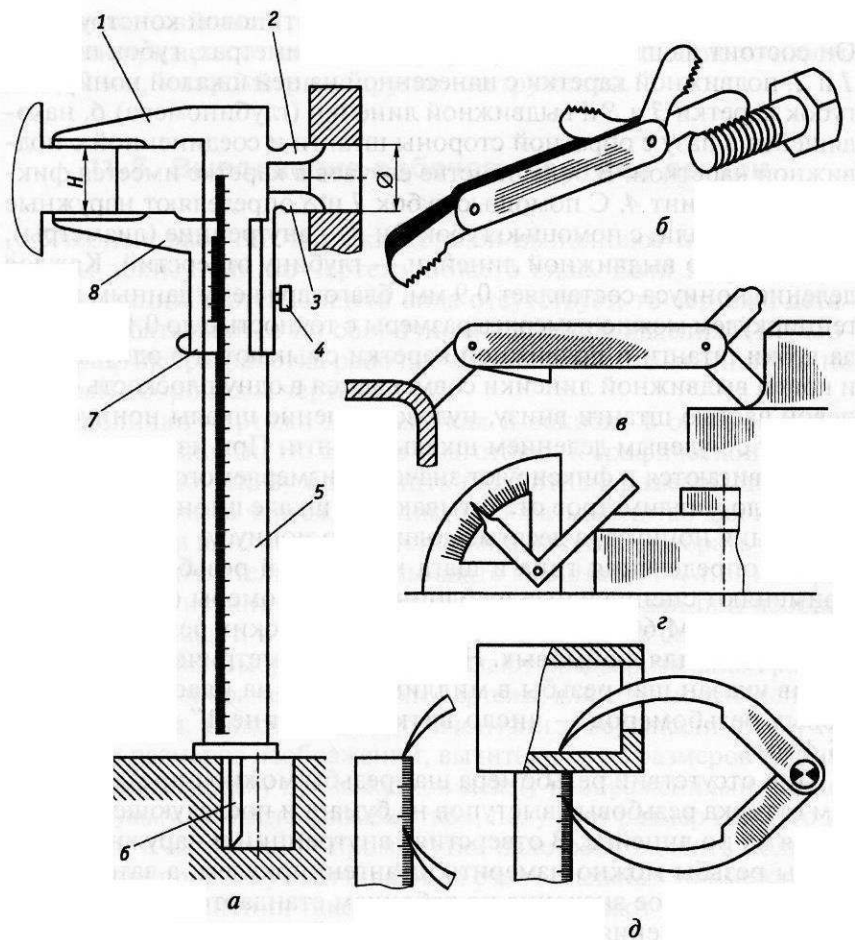


Рис. 11.8

тали имеется фаска, которая не позволяет измерить длину хвостовика с достаточной точностью.

Металлическая линейка значительно удобнее деревянной, так как нулевое ее деление совпадает с кромкой, от которой производится отсчет.

Наиболее универсальным измерительным инструментом является штангенциркуль, который находит применение как для снятия размеров с готовых изделий, так и для контроля их размеров в процессе изготовления. Конструкции штангенциркулей в зависимости от того, какие значения ими можно измерять (от 200 до 1 000 мм и более), несколько различаются, однако принципиально они устроены одинаково.

На рис. 11.8, *а* показан штангенциркуль типовой конструкции. Он состоит из штанги 5 со шкалой в миллиметрах, губок штанги 1 и 2, подвижной каретки с нанесенной на ней шкалой нониуса 7, губок каретки 3 и 8 и выдвигной линейки (глубиномера) 6, находящейся в пазу с обратной стороны штанги и соединенной с подвижной кареткой. В большинстве случаев в каретке имеется фиксирующий винт 4. С помощью губок 1 и 8 определяют наружные размеры детали, с помощью губок 2 и 3 — внутренние (диаметры), а с помощью выдвигной линейки — глубину отверстий. Каждое деление нониуса составляет 0,9 мм, благодаря чему данным штангенциркулем можно измерять размеры с точностью до 0,1 мм. Когда губки штанги и подвижной каретки смыкаются в одну линию и конец выдвигной линейки совмещается в одну плоскость с торцевой частью штанги внизу, нулевое деление шкалы нониуса совпадает с нулевым делением шкалы штанги. При измерении губки раздвигаются и фиксируют значение измеряемого отрезка. Целое число миллиметров отсчитывают по шкале штанги до нулевого деления нониуса, а десятые доли — по нониусу.

Для определения типа и шага крепежной резьбы на деталях применяют специальные шаблоны — резьбомеры (рис. 11.8, *б*): с клеймом «М 60°» на корпусе для метрических резьб и с клеймом «Д 55°» для дюймовых. На пластинках метрических резьбомеров указан шаг резьбы в миллиметрах, а на пластинках дюймовых резьбомеров — число витков на длине 1" (дюйм равен 25,4 мм).

При отсутствии резьбомера шаг резьбы можно определить путем оттиска резьбовых выступов на бумаге и последующего измерения их по линейке. В отверстиях внутренний и наружный диаметры резьбы можно измерить штангенциркулем, а затем уточнить полученное значение по таблицам стандартов на резьбы.

Для определения радиусов криволинейных поверхностей применяют шаблоны-радиусомеры (рис. 11.8, *в*).

Углы измеряют специальными угольниками или уголомерами (рис. 11.8, *г*).

Определение труднодоступного размера выполняют посредством включения в него дополнительного размера и последующего его вычитания. На рис. 11.8, *д* показано измерение толщины стенки детали этим способом: одной из ножек кронциркуля касаются внутренней поверхности детали и с помощью линейки измеряют расстояние от другой его ножки до наружной поверхности этой же стенки. Затем, не изменяя положения ножек, замеряют расстояние между ними. Разность полученных таким образом значений и составляет искомую толщину стенки.

В цилиндрической детали, имеющей соосное с наружной поверхностью отверстие, измерив толщину стенки и наружный диа-

метр, можно вычислить диаметр отверстия. Для более точных измерений применяют штангенциркули, обеспечивающие точность до 0,02 мм, микрометры и другие инструменты.

## 11.5. Выполнение рабочего чертежа детали

Учебные рабочие чертежи деталей выполняют по снятому с натуры эскизу или по чертежу общего вида. Если в проектной документации чертеж общего вида отсутствует, то чертежи деталей разрабатываются по сборочным чертежам изделия. (В учебной практике разработка рабочих чертежей часто выполняется по учебным сборочным чертежам.)

Выполняют чертежи деталей, как и эскизы, в определенной последовательности. На стадии подготовки к графической работе необходимо по эскизу определить габаритные размеры детали и исходя из формата чертежного листа выбрать масштаб для изображения изделия или, наоборот, установив масштаб, выбрать формат листа. Предпочтительно использовать масштаб 1 : 1, т. е. изображать деталь в истинном виде. Очень большие детали при изображении уменьшают, а маленькие — увеличивают в соответствии с ГОСТ 2.302—68. Выбрав масштаб, делают предварительный расчет размещения изображений на поле чертежа, для чего можно использовать эскизы. Подсчитав по горизонтали и вертикали сумму габаритных размеров изображений, вычитают ее из размеров формата и получают сумму промежутков между изображениями. Разделив эту сумму на число промежутков, получают размер каждого из них. Если в каком-либо промежутке надо расположить большее число размеров, его увеличивают за счет остальных промежутков.

После выполнения такого расчета приступают к графической работе:

- подготавливают лист чертежной бумаги;
- намечают места для изображений в соответствии с предварительным расчетом, проводят оси симметрии (если деталь симметричная) и центровые линии;
- выполняют тонкими линиями с помощью чертежных инструментов построения всех изображений (начиная с дуг и окружностей);
- наносят штриховку в сечениях;
- обводят контуры изображений сплошными основными линиями, условно изображают резьбу;
- наносят выносные и размерные линии, обозначают разрезы, сечения, выносные элементы, местные виды;
- наносят размерные числа и обозначения шероховатости поверхностей, выполняют все надписи, заполняют основную надпись.



## 11.6. Размеры на чертежах деталей

Нанесение размеров на чертежах тесно связано с технологией изготовления деталей и условиями их работы в сборочной единице. В учебнике трудно дать исчерпывающие сведения по нанесению размеров, так как это потребует рассмотрения ряда вопросов, изучаемых в специальных дисциплинах (технологии машиностроения, деталях машин и др.).

Основные правила нанесения размеров были рассмотрены в подразд. 10.4.

При выполнении чертежей деталей необходимо учитывать ряд дополнительных общих положений и требований.

Общее количество размеров на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля изделия. Не допускается повторение размеров одного и того же элемента на различных изображениях. Мысленное расчленение детали на отдельные простейшие геометрические элементы (тела и их части) позволит уяснить ее форму и назначить минимальное число размеров для изготовления детали. При изучении с натуры не следует копировать неопределенные геометрические формы детали, получившиеся по технологическим причинам, учитывать неравномерность толщины стенок и ребер, смещение центров отверстий, неравномерность краев, несимметричность одинаковых частей и др. Следует, внимательно изучив формы элементов детали, решить вопрос, к какой из простых геометрических поверхностей она ближе.

Пример анализа формы простейшей детали представлен на рис. 11.10. Все размеры, проставляемые на чертеже, можно подразделить на три категории:

- габаритные размеры;
- размеры, определяющие форму элементов детали (размеры  $A_1 \dots A_6$  на рис. 11.10);
- размеры, определяющие взаимное расположение или местоположение элементов детали (см. размеры  $B_1 \dots B_3$  на рис. 11.10).

При этом некоторые размеры, определяющие форму элементов, могут быть одновременно и габаритными.

Пример простановки размеров на чертеже детали показан на рис. 11.11.

Размеры взаимного расположения элементов следует наносить от так называемых баз, которыми могут быть поверхности, оси и точки, принадлежащие детали. В качестве баз симметричных деталей можно использовать оси и плоскости симметрии, а базами деталей типа корпуса и крышки могут быть также основные обрабатываемые поверхности.

Размеры, указываемые от базы, наносят по возможности на одной проекции (во избежание ошибок).



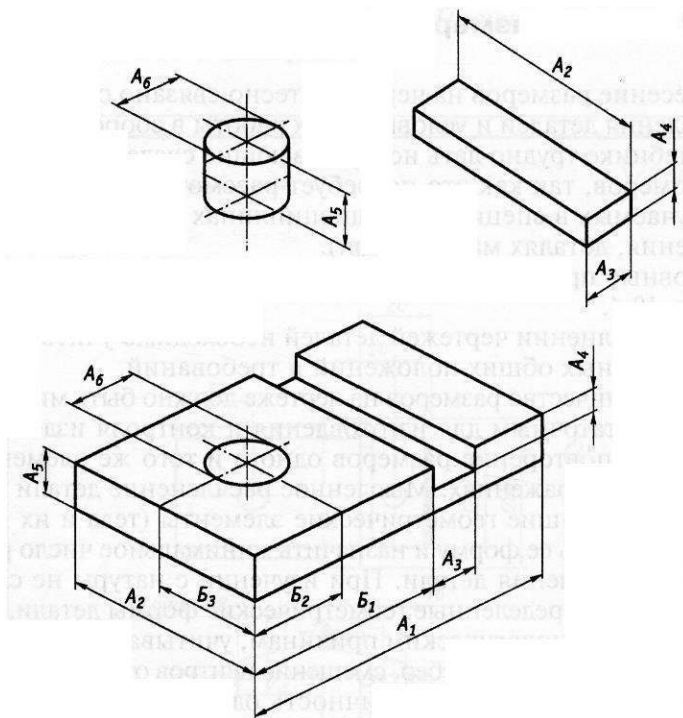


Рис. 11.10

У одной и той же детали (в зависимости от сложности) может быть не одна, а две или три базы.

Размеры, определяющие взаимное расположение элементов детали (отверстий, пазов, зубьев и т. п.), находящихся на одной оси или окружности, наносят следующими способами:

- от общей базы (от поверхности на рис. 11.12, а и от оси на рис. 11.12, б);
- от нескольких баз для разных групп элементов (рис. 11.12, в);
- цепочкой между смежными элементами (рис. 11.13).

Существуют три способа простановки размеров на чертеже: координатный, цепной и комбинированный.

**Координатный** способ определяется нанесением размеров от одной базы (рис. 11.14, а). Каждый размер в этом случае является координатой, указывающей расстояние элемента от базы, т. е. база А является основной размерной базой и с нее начинается обработка поверхности детали. Этот способ простановки размеров на чертеже наиболее распространен в конструкторской практике.

**Цепной** способ, определяющий последовательное нанесение размеров на чертеже (рис. 11.14, б), применяется, когда надо по-

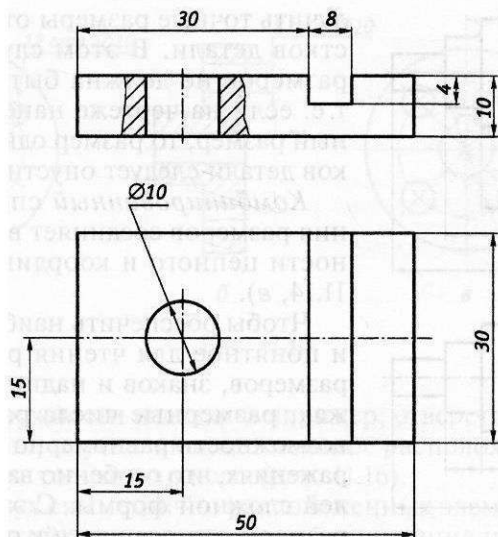


Рис. 11.11

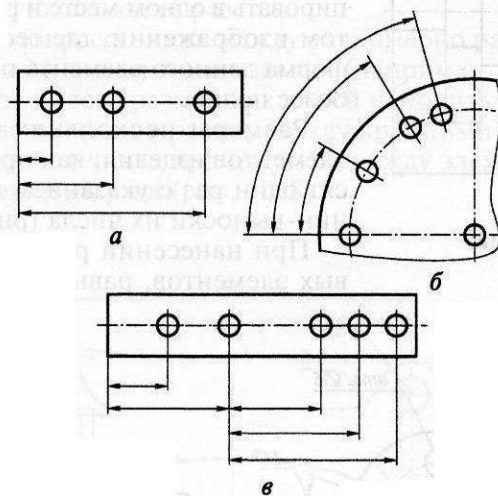


Рис. 11.12

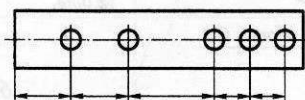


Рис. 11.13

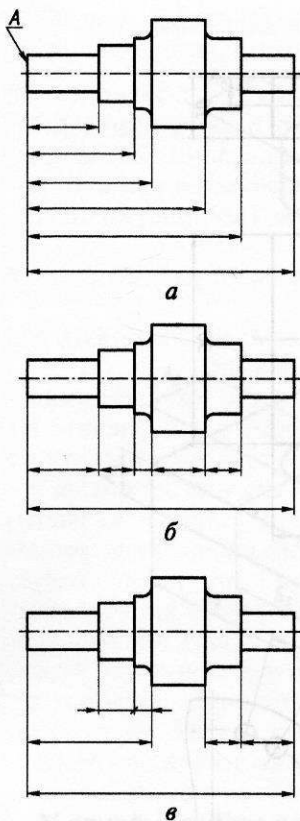


Рис. 11.14

лучить точные размеры отдельных участков детали. В этом случае цепочка размеров не должна быть замкнутой, т. е. если на чертеже нанесен габаритный размер, то размер одного из участков детали следует опустить.

**Комбинированный** способ нанесения размеров соединяет в себе особенности цепного и координатного (рис. 11.14, в).

Чтобы обеспечить наиболее удобное и понятное для чтения расположение размеров, знаков и надписей на чертежах, размерные числа размещают по возможности равномерно на всех изображениях, что особенно важно для деталей сложной формы. С этой же целью размеры, относящиеся к одному и тому же конструктивному элементу (пазу, выступу, отверстию), рекомендуется группировать в одном месте и располагать на том изображении, где геометрическая форма данного элемента показана наиболее полно.

Размеры нескольких одинаковых элементов изделия, как правило, наносят один раз с указанием на полке линии-выноски их числа (рис. 11.15).

При нанесении размеров одинаковых элементов, равномерно распре-

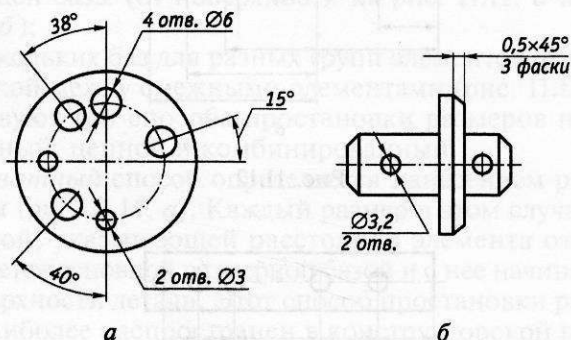


Рис. 11.15

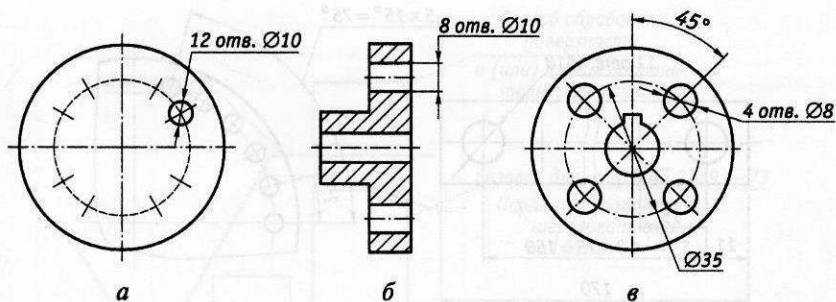


Рис. 11.16

ленных по окружности изделия (например, отверстий), вместо угловых размеров, определяющих взаимное расположение элементов, указывают только их число (рис. 11.16).

Размеры двух симметрично расположенных элементов изделия (кроме отверстий) наносят один раз без указания их числа, группируя, как правило, в одном месте (рис. 11.17).

Число одинаковых отверстий всегда указывают полностью, а их размеры — только один раз.

При указании расстояния между равномерно расположенными одинаковыми элементами изделия (например, отверстиями) рекомендуется вместо размерных цепей наносить размер между соседними элементами и размер между крайними элементами в виде произведения числа промежутков между элементами и размера одного промежутка (рис. 11.18).

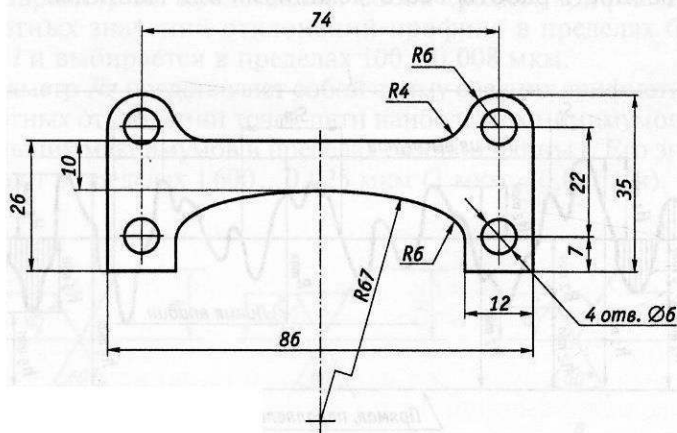


Рис. 11.17

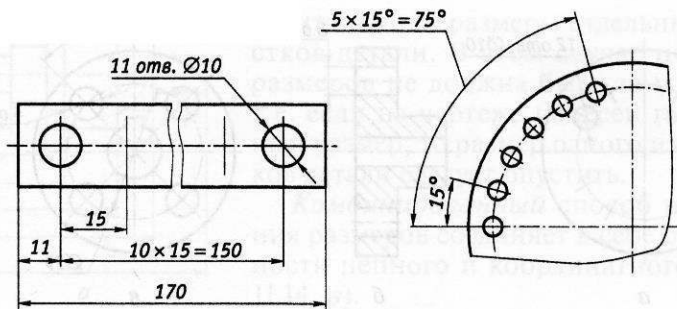


Рис. 11.18

## 11.7. Шероховатость поверхности

*Шероховатостью* называют совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине.

Поверхности любой детали сохраняют следы обработки, представляющие собой микронеровности в виде выступов и впадин различной формы (рис. 11.19).

Базовая длина  $l$  — это минимальная длина участка поверхности, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость этой поверхности, и для количественного определения ее параметров.

Если поверхность какой-либо детали не соприкасается с поверхностями других деталей, то их шероховатость не имеет большого значения. Если же поверхности соприкасаются или взаимно перемещаются, то от качества их обработки зависят точность и долговечность работы всего механизма или машины.

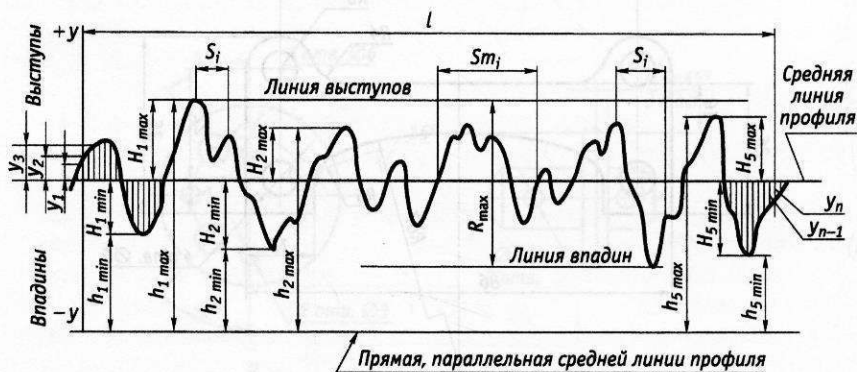


Рис. 11.19

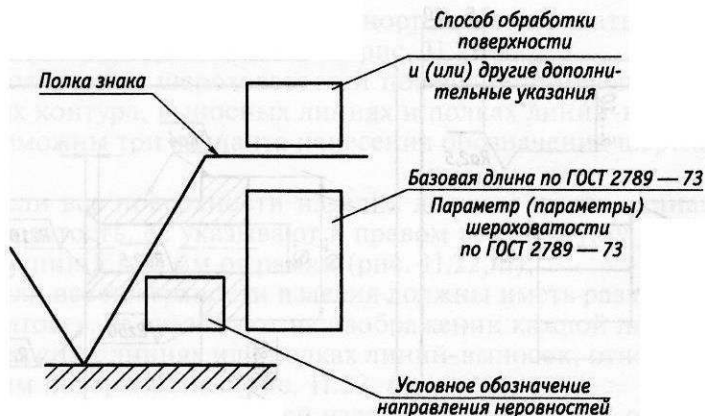


Рис. 11.20

Для контроля высоты и формы микронеровностей ГОСТ 2789—73 устанавливает шесть параметров шероховатости поверхности — три высотных и три шаговых (см. рис. 11.19):

$R_a$  — среднее арифметическое отклонение профиля;

$R_z$  — высота неровности профиля по десяти точкам;

$R_{\max}$  — наибольшая высота неровностей профиля;

$S$  — средний шаг неровностей профиля по вертикали;

$S_m$  — средний шаг неровностей профиля по средней линии;

$t_p$  — относительная опорная длина профиля ( $p$  — числовое значение уровня сечения профиля).

Практически наибольшее применение находят параметры  $R_a$  и  $R_z$ . Параметр  $R_a$  представляет собой среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины  $l$  и выбирается в пределах 100 ... 0,008 мкм.

Параметр  $R_z$  представляет собой сумму средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов в пределах базовой длины  $l$ . Его значение выбирают в пределах 1 600 ... 0,025 мкм (1 мкм = 0,001 мм).

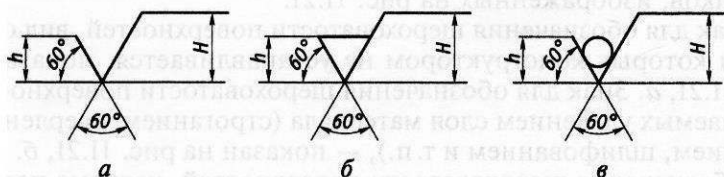


Рис. 11.21

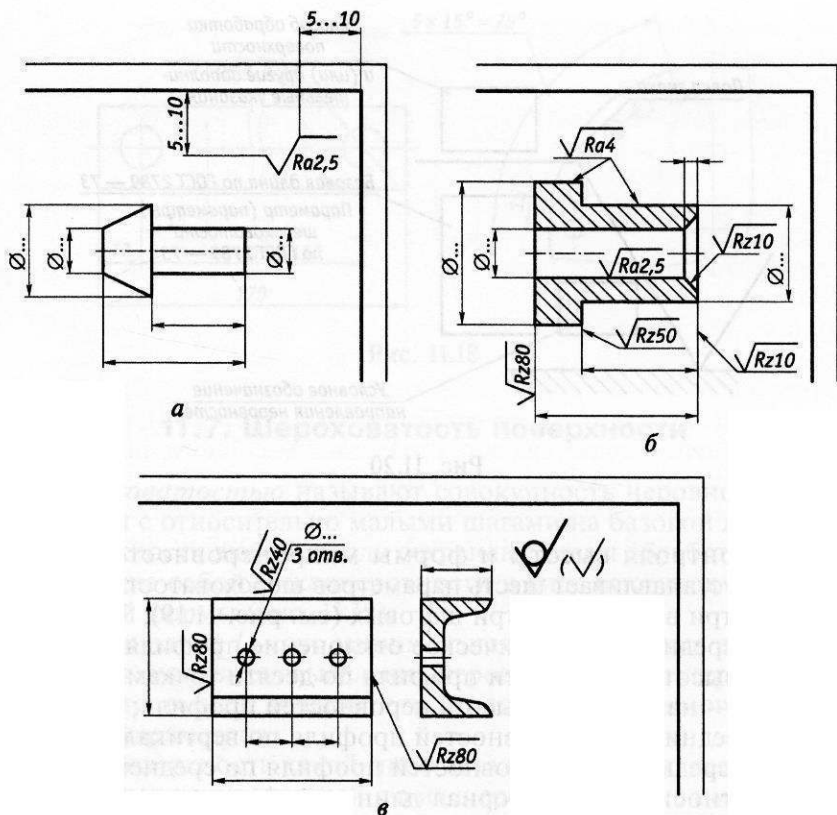


Рис. 11.22

Числовые значения параметров  $Ra$  и  $Rz$  находят по таблицам ГОСТ 2789—73.

Для обозначения шероховатости поверхности используют специальные знаки.

Структура обозначения шероховатости поверхности, установленная ГОСТ 2.309—73, показана на рис. 11.20.

Для обозначения шероховатости поверхности применяют один из знаков, изображенных на рис. 11.21.

Знак для обозначения шероховатости поверхностей, вид обработки которых конструктором не устанавливается, показан на рис. 11.21, а. Знак для обозначения шероховатости поверхностей, получаемых удалением слоя материала (строганием, сверлением, точением, шлифованием и т. п.), — показан на рис. 11.21, б. Знак для обозначения шероховатости поверхностей, которые получают литьем, ковкой, штамповкой и другими способами без снятия

слоя материала, а также поверхностей, не обрабатываемых по данному чертежу, — показан на рис. 11.21, в.

Обозначения шероховатостей поверхностей располагают на линиях контура, выносных линиях и полках линий-выносок.

Возможны три варианта нанесения обозначения шероховатости:

- если все поверхности изделия должны иметь одинаковую шероховатость, ее указывают в правом верхнем углу чертежа на расстоянии 5... 10 мм от рамки (рис. 11.22, а);

- если все поверхности изделия должны иметь различную шероховатость, ее указывают на изображении каждой поверхности на выносных линиях или полках линий-выносок, относящихся к данным поверхностям (рис. 11.22, б);

- если часть поверхностей изделия должна иметь одинаковую шероховатость, ее обозначение помещают в правом верхнем углу чертежа перед условным обозначением, взятым в скобки. При этом шероховатость других поверхностей указывают на изображении (рис. 11.22, в).

Последний вариант наиболее распространен.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение чертежа детали.
2. Какое число изображений должен содержать чертеж детали?
3. Сколько размеров должен содержать чертеж детали?
4. Что необходимо учитывать при указании размеров на чертеже?
5. Чем эскиз отличается от рабочего чертежа детали?
6. Какова последовательность выполнения эскиза?
7. Как выполняется обмер деталей?
8. Каковы основные требования к рабочим чертежам?
9. Что называется шероховатостью поверхности?
10. Какими параметрами определяется шероховатость поверхности?
11. В каких случаях применяются знаки  $\sqrt{\quad}$ ,  $\nabla$ ,  $\nabla^{\vee}$ ?
12. Как указывают шероховатость поверхности на чертеже?



### 12.1. Общие сведения о резьбах

Соединения многих деталей осуществляют с помощью резьбы.

**Резьба** — это поверхность, образованная при винтовом движении плоского контура по цилиндрической или конической поверхности. В этом случае плоский контур образует винтовой выступ соответствующего профиля, ограниченный винтовыми цилиндрическими или коническими поверхностями. Цилиндр или конус вместе с винтовым выступом называют *винтом*.

Классифицируются резьбы по различным признакам.

По назначению резьбы подразделяются на *крепежные* (в неподвижном состоянии) и *ходовые* (в подвижном состоянии).

Резьба может быть нарезана на деталях как с цилиндрической, так и с конической формой поверхности и будет называться соответственно *цилиндрической* и *конической*.

В зависимости от расположения поверхности резьба может быть *наружной* (нарезанной на стержне) или *внутренней* (нарезанной в отверстии).

В зависимости от формы профиля различают резьбу *треугольную*, *трапецевидную*, *прямоугольную*, *круглую* и *специальную*.

Треугольная резьба подразделяется на *метрическую*, *трубную*, *коническую* и *дюймовую*, а трапецевидная — на *трапецевидную*, *упорную* и *упорную усиленную*.

По значению шага различают резьбу *крупную*, *мелкую* и *специальную*.

По числу заходов резьбы подразделяют на *однозаходные* и *многозаходные*.

По направлению винтовой линии различают резьбу *правую* (нарезается по часовой стрелке) и *левую* (нарезается против часовой стрелки).

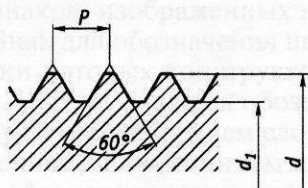


Рис. 12.1

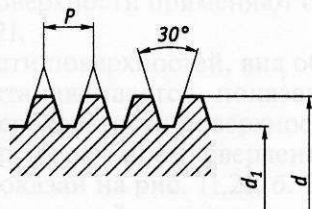


Рис. 12.2

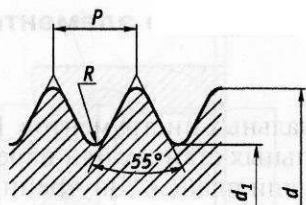


Рис. 12.3

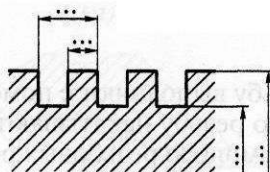


Рис. 12.4

Тип резьбы определяется ее профилем, т. е. контуром, который получают в секущей плоскости, проходящей через ось резьбы (рис. 12.1 ... 12.4).

Основными параметрами резьбы по ГОСТ 11708—82 являются:

- *наружный* (номинальный) *диаметр*  $d$  — диаметр воображаемого цилиндра или конуса, описанного вокруг вершин наружной резьбы или впадин внутренней резьбы;
- *внутренний диаметр*  $d_1$  — диаметр воображаемого цилиндра или конуса, описанного вокруг впадин наружной или вершин внутренней резьбы;
- *шаг*  $P$  — расстояние между соседними одноименными боковыми сторонами профиля в направлении, параллельном оси резьбы.

## 12.2. Условные обозначения резьб

Метрическая резьба имеет треугольный профиль с углом  $60^\circ$  при вершине (см. рис. 12.1). По ГОСТ 8724—2002 метрическую резьбу с диаметром от 1 до 600 мм подразделяют на два типа: с крупным шагом (с диаметром от 1 до 68 мм) и с мелким шагом (с диаметром от 1 до 600 мм). Начиная с 6 мм, для каждого диаметра мелкой резьбы предусмотрено несколько шагов.

В условное обозначение метрической резьбы с крупным шагом входит буква М, указывающая ее профиль, и номинальный (наружный) диаметр в миллиметрах. Например, обозначение М20 соответствует резьбе метрической с крупным шагом и номинальным диаметром 20 мм.

В условном обозначении метрической резьбы с мелким шагом дополнительно указывают шаг резьбы в миллиметрах, например: М20 × 2.

Трапецидальная резьба по ГОСТ 9484—81 имеет профиль в виде равнобочной трапеции с углом  $30^\circ$  между боковыми сторонами (см. рис. 12.2).

Условное обозначение трапецидальной резьбы включает в себя буквы *Tr*, наружный диаметр, шаг и номер стандарта, например: *Tr* 32 × 6 ГОСТ 9484—81.

### 12.3. Конструктивные и технологические элементы резьбы

Резьбу выполняют с помощью специальных инструментов. Наружную резьбу накатывают на специальных станках или нарезают с помощью резьбовых резцов, фрез или плашек. Внутреннюю резьбу чаще всего нарезают метчиками или резцами. Плашки и метчики применяют для нарезания резьбы на заранее подготовленной заготовке детали и в заранее просверленном отверстии (рис. 12.5).

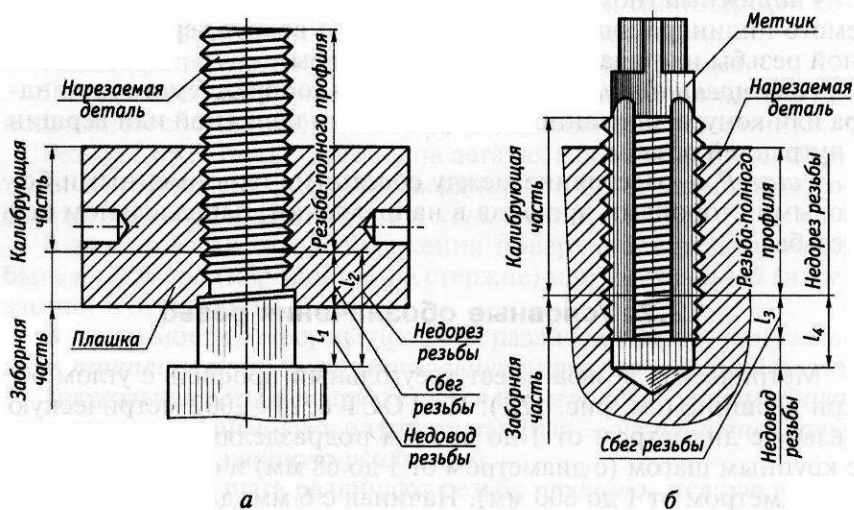


Рис. 12.5

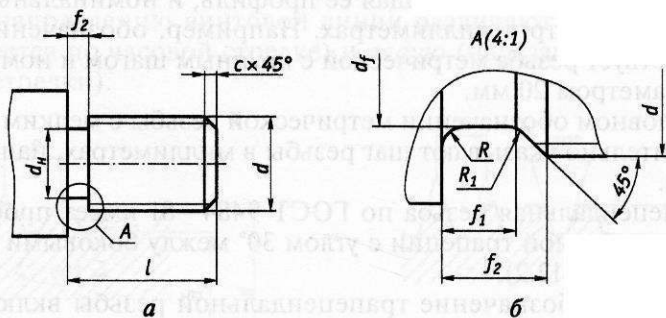


Рис. 12.6

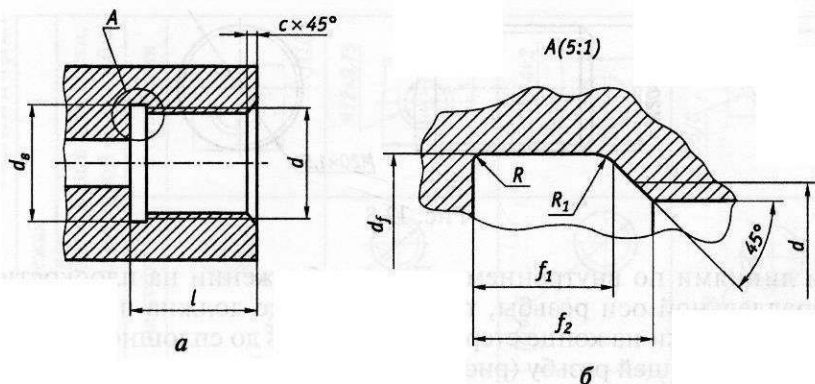


Рис. 12.7

Заборные части резбонарезающих инструментов образуют *сбег* резьбы — участок с неполным профилем. *Недовод* резьбы — ненарезанная часть между концом сбega и опорной поверхностью детали. Участки сбega и недовода резьбы вместе образуют участок, называемый *недорезом* резьбы.

Для получения полноценной резьбы на всей длине нарезанной части стержня (рис. 12.6) или отверстия (рис. 12.7) и выхода нарезающего инструмента выполняют резьбовую проточку — кольцевой желобок на стержне, наружный диаметр  $d_n$  которого меньше внутреннего диаметра нарезаемой резьбы (рис. 12.6, а), или кольцевую выточку в отверстии, диаметр  $d_n$  которой больше наружного диаметра резьбы (рис. 12.7, а).

Важным конструктивным элементом деталей с резьбой является фаска — срезанная в виде усеченного конуса кромка цилиндрического или конического стержня или отверстия (рис. 12.6, б и 12.7, б). Фаска облегчает соединение деталей, улучшает их внешний вид, ликвидирует острую режущую кромку на торцах деталей.

На учебных чертежах и эскизах для наружной метрической резьбы ширину проточки  $f_1$  принимают равной  $2P$ , а для внутренней —  $2,5P$ , где  $P$  — шаг резьбы.

## 12.4. Условное изображение и обозначение резьб на чертежах

Правила условного изображения и обозначения резьбы устанавливает ГОСТ 2.311—68.

*Наружная резьба* (на стержне) изображается сплошными основными линиями по наружному диаметру и сплошными тонки-

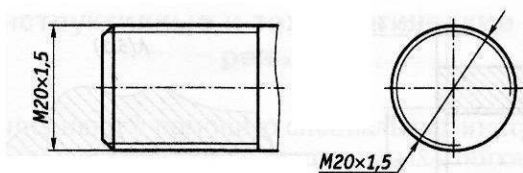


Рис. 12.8

ми линиями по внутреннему. При изображении на плоскости, параллельной оси резьбы, тонкая линия ее должна пересекать границу фаски на конце стержня и доходить до сплошной линии, ограничивающей резьбу (рис. 12.8). При изображении на плоскости, перпендикулярной оси резьбы, тонкую линию окружности ее внутреннего диаметра проводят в виде дуги, равной примерно  $\frac{3}{4}$  этой окружности и разомкнутой в любом месте.

Расстояние между сплошной и тонкой линиями изображения резьбы обычно принимается равным не менее 0,8 мм и не более шага резьбы.

На учебных чертежах сбег резьбы не показывают, а ее длиной считают длину с полным профилем, включая фаску.

*Внутреннюю резьбу* (в отверстиях) в разрезах изделий показывают сплошными основными линиями по внутреннему диаметру резьбы и сплошными тонкими линиями по наружному диаметру (рис. 12.9). При изображении на плоскости, перпендикулярной оси резьбы, ее сплошную тонкую линию проводят в виде дуги, равной приблизительно  $\frac{3}{4}$  окружности и разомкнутой в любом месте, причем начало и конец этой дуги не должны совпадать с осевой линией.

При изображении резьбы, как наружной, так и внутренней, на плоскости, перпендикулярной ее оси, фаски не показывают. Штриховку в разрезах и сечениях проводят до линии наружного диаметра на стержнях и до линии внутреннего диаметра в отверстиях, т. е. до сплошной основной линии (см. рис. 12.9).

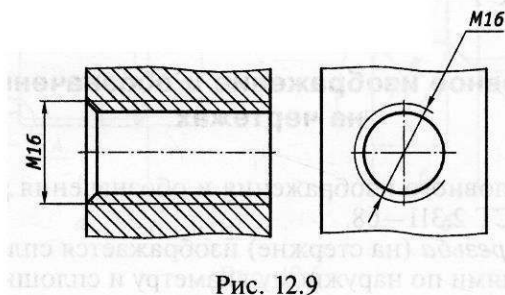

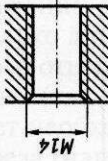

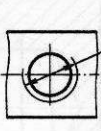
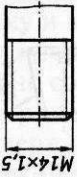
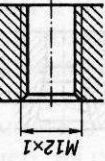

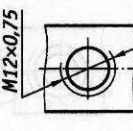

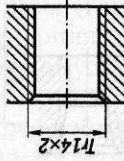

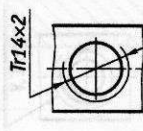
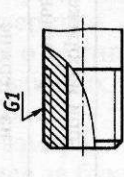
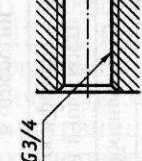

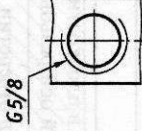










Рис. 12.9

Таблица 12.1

Тип резьбы	Условное обозначение типа резьбы	Размеры, указываемые на чертеже, и единицы измерения	Обозначение резьбы на чертежах			
			на стержне	в отверстии	на стержне	в отверстии
			при изображении в плоскости, параллельной оси резьбы	при изображении в плоскости, перпендикулярной оси резьбы	при изображении в плоскости, параллельной оси резьбы	при изображении в плоскости, перпендикулярной оси резьбы
Метрическая с крупным шагом ГОСТ 9150—2002	<b>M</b>	Наружный диаметр, мм	 M16	 M14	 M12	 M12
Метрическая с мелким шагом ГОСТ 9150—2002	<b>M</b>	Наружный диаметр и шаг резьбы, мм	 M14x1,5	 M12x1	 M12x0,5	 M12x0,75
Тrapeцеидальная однозаходная ГОСТ 9484—81	<b>T</b>	То же	 T16x2	 T14x2	 T14x2	 T14x2
Трубная цилиндрическая ГОСТ 6357—81	<b>G</b>	Дюймы	 G1	 G3/4	 G3/4	 G5/8

Тип резьбы	Условное обозначение типа резьбы	Размеры, указываемые на чертеже, и единицы измерения	Обозначение резьбы на чертежах			
			при изображении в плоскости, параллельной оси резьбы	при изображении в плоскости, перпендикулярной оси резьбы	на стержне	в отверстии
Коническая дюймовая ГОСТ 6111—52	К	Дюймы	   	<p>ГОСТ 6111—52</p>	<p>ГОСТ 6111—52</p>	<p>ГОСТ 6111—52</p>
Трубная коническая ГОСТ 6211—81: наружная внутренняя	R Rc	Дюймы	   	<p>ГОСТ 6111—52</p>	<p>ГОСТ 6111—52</p>	<p>ГОСТ 6111—52</p>

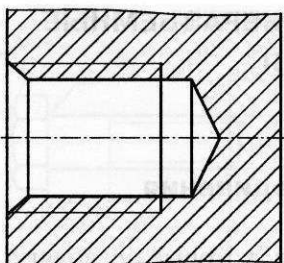


Рис. 12.10

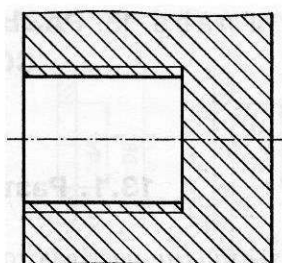


Рис. 12.11

При изображении резьбы в несквозном (глухом) отверстии показывают только длину ее полного профиля (рис. 12.10). Изображение глухого отверстия заканчивают конусом, получающимся при сверлении (так как сверло на конце имеет коническую заточку). Если нет необходимости в точном изображении границы резьбы и недореза (например, на сборочных чертежах), допускается изображать резьбу доходящей до дна отверстия (рис. 12.11), а также не показывать фаску и коническую часть отверстия.

Обозначение резьбы должно давать представление о ее типе и размерах. В общем случае оно состоит из букв, указывающих тип резьбы (например, *M* — метрическая, *K* — коническая, *Tr* — трапецеидальная), и цифр, содержащих сведения о ее размерах.

В обозначении метрической резьбы число, стоящее за буквами, представляет собой ее номинальный диаметр в миллиметрах, а число, стоящее после знака умножения, — шаг (например,  $M20 \times 1,5$ ).

Примеры обозначения и изображения стандартных резьб приведены в табл. 12.1.

### Контрольные вопросы

1. Какие существуют профили стандартизованных резьб?
2. Что называется шагом резьбы?
3. Как условно изображается резьба, нарезанная на стержне?
4. Как условно изображается резьба, нарезанная в отверстии?
5. В каких случаях на деталях делают проточки?
6. Какие данные указывают в обозначении резьбы?



### 13.1. Разъемные соединения

*Разъемными* называются соединения, которые позволяют легко собрать или разобрать сборочную единицу, не нарушая целостности деталей. Выполняются они с помощью резьб и крепежных стандартных изделий: болтов, винтов, шпилек, штифтов, шпинтов, шпонок и др.

Разъемные соединения в свою очередь могут быть *подвижными* и *неподвижными*. Для подвижных соединений характерно перемещение соединяемых деталей относительно друг друга, а в неподвижных соединениях детали остаются неподвижными.

В резьбовом соединении на одной детали выполняется наружная резьба, а на другой — внутренняя.

На рис. 13.1 изображены резьбовые соединения, в которых одна деталь ввинчена в другую. При этом в продольных разрезах показана только та часть резьбы, которая не закрыта ввернутой в нее деталью (рис. 13.1, *а*, *б*). В поперечном разрезе, если секущая плоскость пересекает обе соединяемые детали (см. рис. 13.1, *б*), штриховка ввернутой детали выполняется до наружной окружности резьбы.

Разъемные соединения, выполняемые с помощью стандартных крепежных изделий, подразделяются на две группы: резьбовые (болты, винты, шпильки, гайки) и без резьбы (шайбы). Все крепежные изделия изготавливаются по размерам, установленным соответствующими стандартами. На рис. 13.2 показаны некоторые из крепежных деталей.

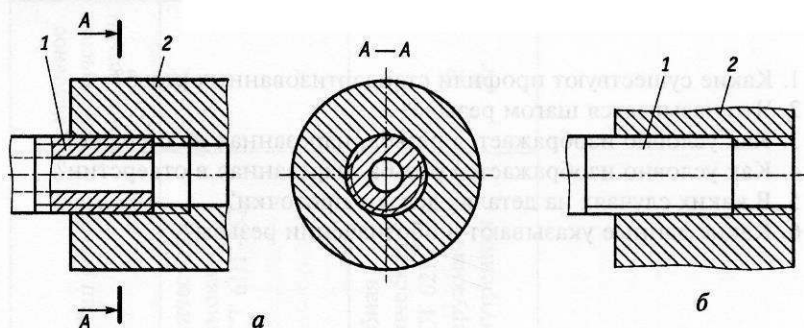


Рис. 13.1



болтов — повышенную, нормальную и грубую. В большинстве случаев применяют болты нормальной точности исполнения 1 (т. е. без отверстий в головке и стержне).

Обозначение «Болт М20 × 80.58 ГОСТ 7798—70» расшифровывается следующим образом: болт с метрической резьбой, шаг крупный, наружный диаметр резьбы 20 мм, длина болта (без головки) 80 мм, класс прочности 5.8, исполнение 1, размеры выдержаны по ГОСТ 7798—70.

*Шайба* — изделие, большей частью имеющее вид плоского кольца и закладываемое под гайку, головку болта или винта (рис. 13.2, б). Предназначена шайба для передачи и распределения усилий на соединяемые детали, а также для предохранения поверхности детали от повреждения гайкой.

*Шпилька* представляет собой цилиндрический стержень с резьбой на обоих концах (рис. 13.2, в), применяемый, когда в одной из соединяемых деталей нельзя просверлить сквозное отверстие. Один конец шпильки называется ввинчиваемым, а другой — резьбовым. Ввинчиваемым концом шпилька ввинчивается в гнездо (глухое отверстие).

Длина ввинчиваемого конца  $l_1$  зависит от материала детали, в которую ввинчивается шпилька: для деталей стальных, бронзовых и латунных  $l_1 = d$ , для чугунных  $l_1 = 1,25d$ , для деталей из легких сплавов (алюминия)  $l_1 = (1,6 \dots 2)d$ .

Обозначение «Шпилька М20 × 60.58 ГОСТ 22032—76» расшифровывается следующим образом: шпилька с метрической резьбой, наружный диаметр резьбы 20 мм, длина шпильки 60 мм, класс прочности 5.8, размеры выдержаны по ГОСТ 22032—76.

*Гайка* — изделие с резьбовым отверстием, навинчивающееся на стержень болта, шпильки или другой детали (рис. 13.2, г). Гайки бывают различной формы — шестигранной, квадратной, круглой и др.

*Винт* представляет собой цилиндрический стержень с резьбой на одном конце и головкой на другом. Наиболее распространены винты со шлицами под отвертку в головке (рис. 13.2, д).

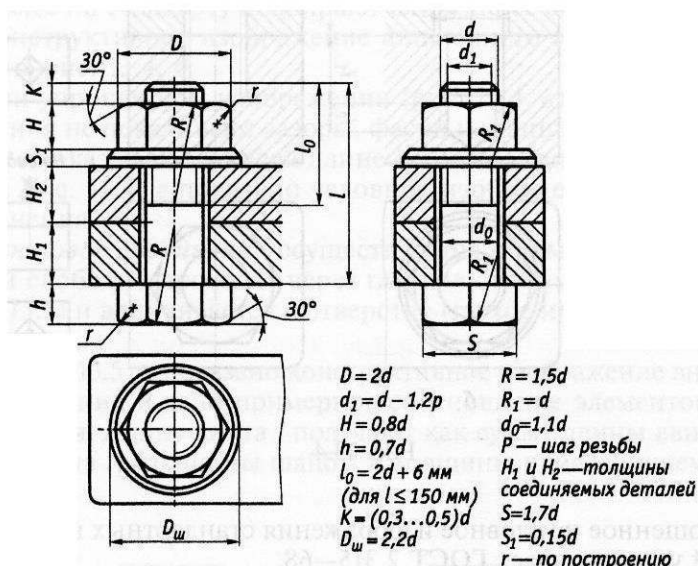
Обозначение «Винт М8 × 20.48 ГОСТ 1491—80» расшифровывается следующим образом: винт с метрической резьбой, наружный диаметр резьбы 8 мм, длина винта 20 мм, класс прочности 4.8, размеры выдержаны по ГОСТ 1491—80.

Изображения крепежных резьбовых деталей в соединениях могут быть конструктивными, упрощенными и условными.

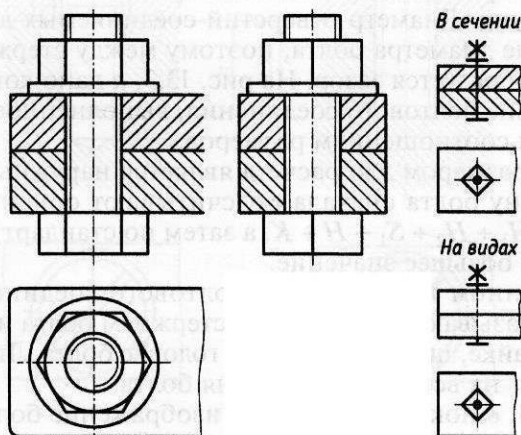
*Конструктивное* изображение по точным размерам применяется редко и только в сборочных чертежах изделий, к которым предъявляются особые требования. В этом случае все крепежные детали и отверстия под них изображаются по размерам, установленным соответствующими стандартами.

Упрощенное изображение крепежных деталей, выполняемое по условным соотношениям и значительно упрощающее чертежную работу, широко применяется в конструкторской работе.

Условное изображение применяется в тех случаях, когда диаметр резьбы на чертеже равен или менее 2 мм.



а



б

в

Рис. 13.3

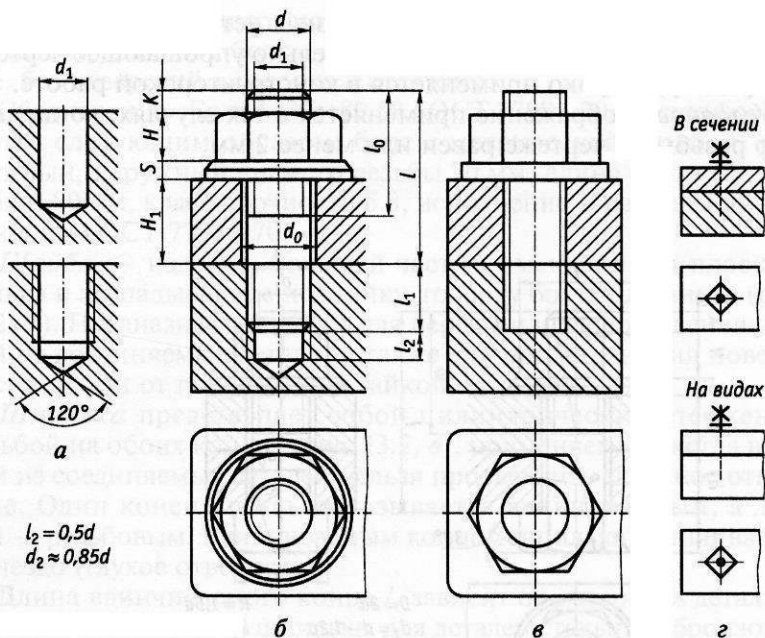


Рис. 13.4

Упрощенное и условное изображения стандартных крепежных деталей устанавливает ГОСТ 2.315—68.

**Болтовое соединение** осуществляется с помощью болта, гайки и шайбы. На рис. 13.3 показаны все три способа изображения этого соединения. Диаметр отверстий соединяемых деталей несколько больше диаметра болта, поэтому между стержнем болта и отверстием образуется зазор. На рис. 13.3, *а* дано конструктивное изображение болтового соединения, выполненное по заданным условным соотношениям размеров.

Исходным размером для расчета является наружный диаметр резьбы  $d$ . Длину болта сначала подсчитывают ориентировочно как сумму  $l = H_1 + H_2 + S_1 + H + K$ , а затем по стандарту подбирают ближайшее большее значение.

На упрощенном изображении болтового соединения (рис. 13.3, *б*) не показывают: зазор между стержнем болта и отверстием, фаски на гайке, шайбе, стержне и головке болта. Линию резьбы показывают на всей длине стержня болта.

На рис. 13.3, *в* показано условное изображение болтового соединения.

**Шпильчатое соединение** осуществляется с помощью шпильки, шайбы и гайки. На рис. 13.4, *а* показано глухое отверстие (гнез-

до) под ввинчиваемый конец шпильки. Глубина этого отверстия должна быть на  $0,5d$  больше, чем длина  $l_1$  ввинчиваемого конца шпильки (рис. 13.4, б), выбор которого определяется материалом, в который она ввинчивается.

Длина шпильки  $l$  подсчитывается как сумма следующих величин:  $H_1$  — толщина присоединяемой детали,  $S$  — толщина шайбы,  $H$  — высота гайки,  $K$  — минимальный выход конца шпильки. Далее по стандарту подбирают ближайшее большее значение.

Конструктивное изображение шпилечного соединения показано на рис. 13.4, б.

При упрощенном изображении (рис. 13.4, в) шпилечного соединения не показывают зазоры, фаски и границу резьбы. Линию резьбы показывают на всей длине стержня шпильки.

На рис. 13.4, г показано условное изображение шпилечного соединения.

**Винтовое соединение** осуществляется с помощью винта, который свободно проходит через гладкое отверстие одной детали (рис. 13.5) и ввинчивается в отверстие (глухое или сквозное) другой детали.

На рис. 13.5, а показано конструктивное изображение винтового соединения и дано примерное соотношение элементов этого соединения. Длину винта  $l$  получают как сумму длины ввинчиваемого конца  $l_1$ , толщины шайбы и толщины присоединяемой де-

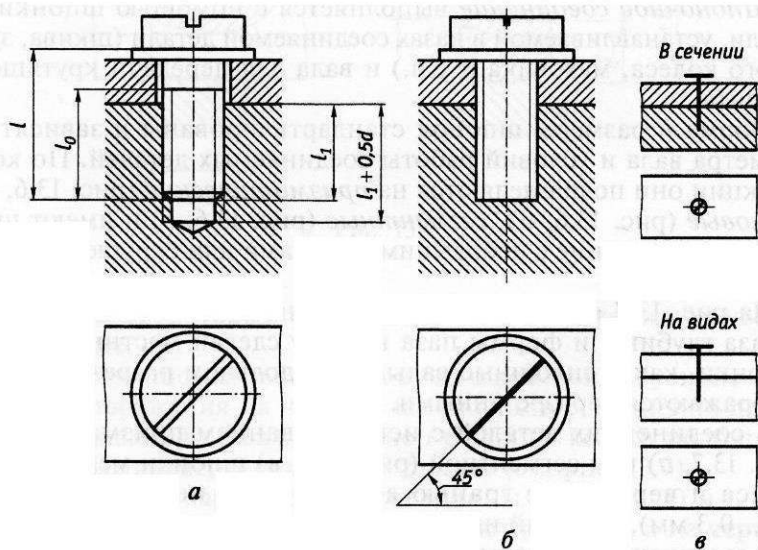


Рис. 13.5

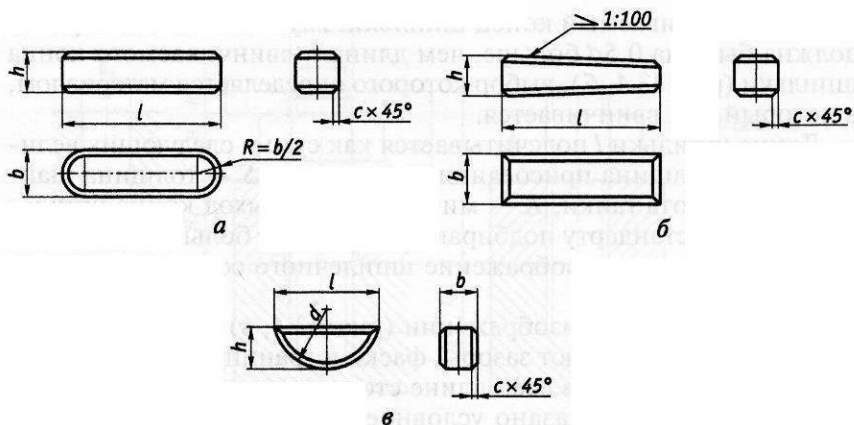


Рис. 13.6

тали. Длина  $l_1$  винта выбирается так же, как и в шпилечном соединении в зависимости от материала, в который он ввинчивается.

На рис. 13.5, б приведено упрощенное изображение винтового соединения. Шлиц на виде, полученном проецированием на плоскость, перпендикулярную оси винта, всегда изображают утолщенной линией под углом  $45^\circ$  к линиям рамки чертежа.

На рис. 13.5, в показано условное изображение винтового соединения.

**Шпоночное соединение** выполняется с помощью шпонки — детали, устанавливаемой в пазах соединяемой детали (шкива, зубчатого колеса, маховика и т. п.) и вала для передачи крутящего момента.

Форма и размеры шпонок стандартизированы и зависят от диаметра вала и условий работы соединяемых деталей. По конструкции они подразделяются на *призматические* (рис. 13.6, а), *клиновые* (рис. 13.6, б), *сегментные* (рис. 13.6, в) и имеют прямоугольное сечение с небольшими фасками или скруглениями на боковых ребрах.

На рис. 13.7 показаны разрезы шпоночных соединений. Для показа глубины и формы паза на валу сделан местный разрез. Шпонки, как и сплошные валы, в продольном разрезе условно изображаются неразрезанными.

В соединениях деталей с использованием призматической (рис. 13.7, а) или сегментной (рис. 13.7, в) шпонки между пазом колеса и верхней ее гранью должен быть небольшой зазор (0,2... 0,3 мм), который изображается увеличенным.

В соединении с использованием клиновой шпонки (рис. 13.7, б) между ее боковыми гранями и стенками паза должен быть не-

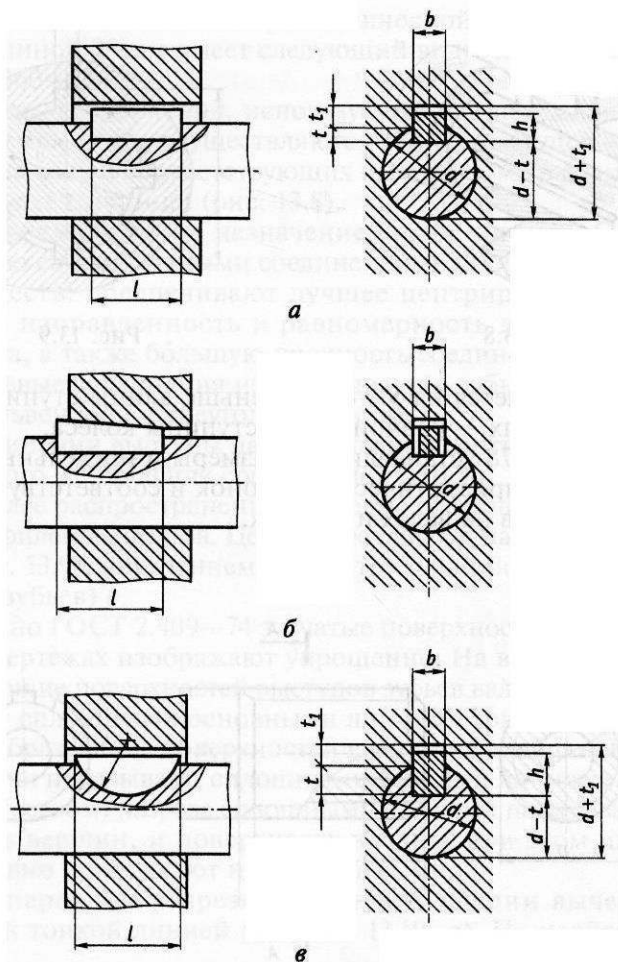


Рис. 13.7

большой зазор, который также изображается на чертеже в увеличенном виде.

Клиновидная шпонка забивается в паз с небольшим усилием.

Для изображения на чертеже шпоночного соединения по заданному диаметру  $d$  вала и длине  $l$  ступицы колеса подбирают стандартные размеры шпонки —  $b$ ,  $h$  и  $l$  (см. рис. 13.7).

Глубину паза характеризуют величины  $t$  (для вала) и  $t_1$  (для колеса), т. е. на чертеже вала проставляют размер  $t$ , а на чертеже колеса —  $d + t_1$ . Необходимая длина шпонки  $l$  зависит от условий работы шпоночного соединения и обычно для призматических



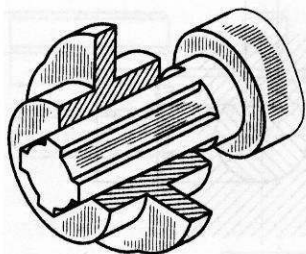


Рис. 13.8

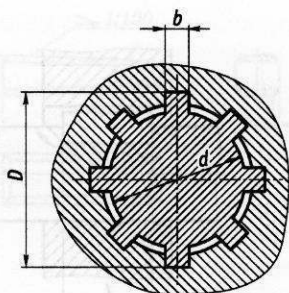


Рис. 13.9

шпонок принимается на 5—6 мм меньше длины ступицы колеса, а для клиновых — равной длине ступицы колеса.

ГОСТ 23360—78 устанавливает размеры и предельные отклонения размеров призматических шпонок и соответствующих им шпоночных пазов на валах и втулках.

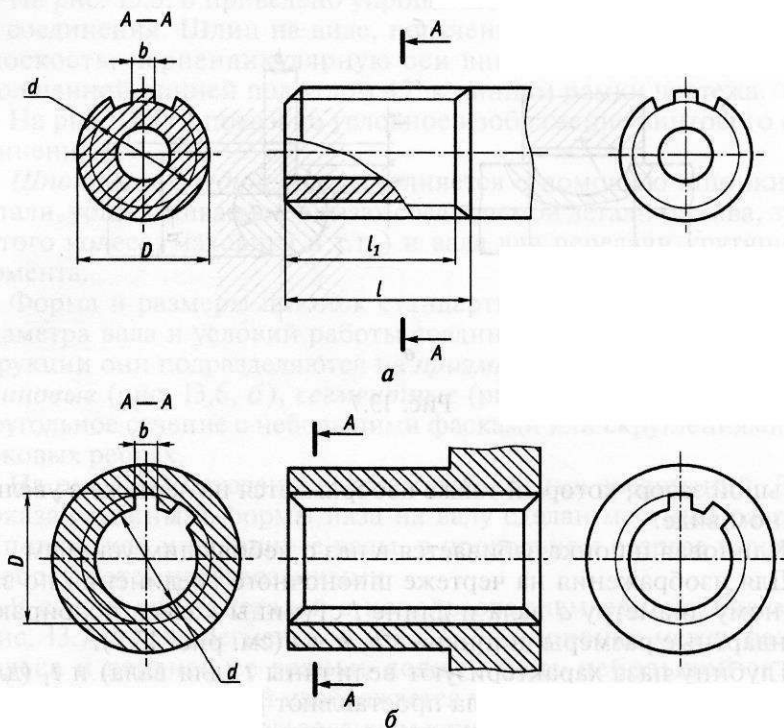


Рис. 13.10

Условное обозначение призматической шпонки сечением  $10 \times 8$  и длиной 20 мм имеет следующий вид: «Шпонка  $10 \times 8 \times 20$  ГОСТ 23360—78».

**Шлицевые соединения**, используемые для передачи больших крутящих моментов, осуществляются за счет выступов — шлицев (зубьев) на валу и соответствующих им по форме и размерам пазов во втулке (ступице) (рис. 13.8).

Шлицы имеют то же назначение, что и шпонки. Однако по сравнению со шпоночными соединениями шлицевые имеют ряд преимуществ: обеспечивают лучшее центрирование деталей, большую направленность и равномерность движения колеса вдоль вала, а также большую прочность соединения.

Шлицевые соединения изготавливают с зубьями прямоугольной, эвольвентной и треугольной форм.

В соединении выступы на валу входят в соответствующие впадины такого же профиля соединяемой детали.

Наиболее распространены шлицевые соединения с прямобочным профилем выступов. Центрируют вал по наружному диаметру  $D$  (рис. 13.9), внутреннему диаметру  $d$  или боковым сторонам шлицев (зубьев)  $b$ .

Согласно ГОСТ 2.409—74 зубчатые поверхности валов и отверстий на чертежах изображают упрощенно. На видах окружности и образующие поверхностей выступов зубьев вала и отверстия показывают сплошными основными линиями (рис. 13.10). Окружности и образующие поверхностей впадин на изображениях вала и отверстия показывают сплошными тонкими линиями. На продольном (осевом) разрезе сплошными линиями показывают и поверхность вершин, и поверхность впадин, при этом шлицы на валу условно показывают неразрезанными.

На поперечном разрезе окружность впадин вычерчивают сплошной тонкой линией (см. рис. 13.10, а). На изображениях,

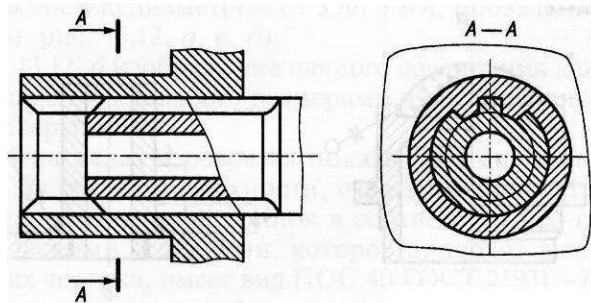


Рис. 13.11

полученных проецированием на плоскость, перпендикулярную оси зубчатого вала или отверстия, показывают профиль одного зуба (выступа) и двух впадин без фасок, канавок и закруглений. Линии штриховки при изображении шлицевого вала и отверстия в продольных разрезах доводят до линии впадин, а в поперечных — до линий выступов.

Пример изображения шлицевого соединения приведен на рис. 13.11. При продольном разрезе зубчатого соединения показывают только ту часть поверхности выступов отверстия, которая не закрыта валом.

## 13.2. Неразъемные соединения

*Неразъемными* называются соединения, которые без повреждения или разрушения деталей не позволяют разобрать сборочную единицу. К ним относятся сварные, заклепочные, паяные и клееные соединения, а также соединение, получаемое опрессовкой металлической арматуры пластмассой.

Неразъемные соединения, получаемые *сваркой*, находят широкое применение в машиностроении, строительстве, судостроении и на транспорте.

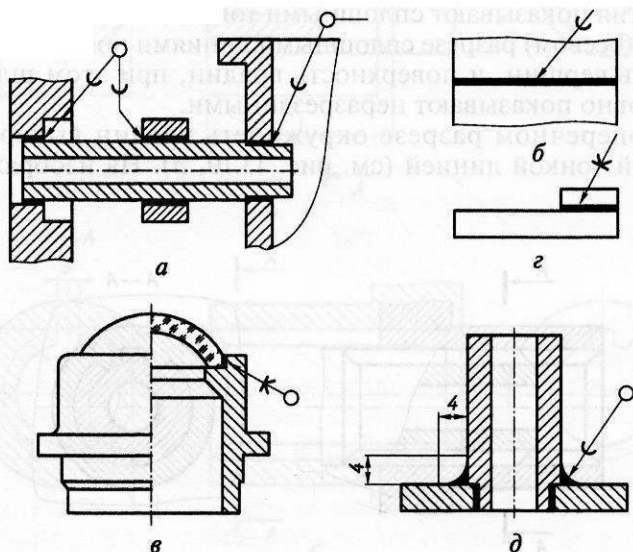


Рис. 13.12

Основные понятия, термины и определения сварки определяет ГОСТ 2601—84.

Классификацию способов сварки устанавливает ГОСТ 19521—74, в соответствии с которым виды сварки определяются основными физическими, техническими и технологическими признаками.

Условные изображения и обозначения швов сварных соединений устанавливает ГОСТ 2.312—72 ЕСКД.

Соединения *заклепками* применяют для деталей из материалов, не подлежащих сварке, а также для материалов, не допускающих нагрева, в различных областях техники — в металлоконструкциях котлов, судов, самолетостроении и др.

Условные изображения и обозначения соединений *заклепка* устанавливает ГОСТ 2.313—82 ЕСКД.

Широко применяются в радиотехнике, электронике и приборостроении пайка и склеивание.

*Пайкой* называется процесс получения неразъемного соединения металлических деталей посредством местного их нагрева и заполнения зазора между ними расплавленным припоем.

*Припой* — металл или сплав, имеющий более низкую температуру плавления, чем металл соединяемых деталей.

*Склеивание* позволяет получить неразъемное соединение деталей из различных материалов. Современные клеящие вещества обеспечивают весьма прочные соединения.

Условные изображения и обозначения швов, получаемых пайкой или склеиванием, устанавливает ГОСТ 2.313—82 ЕСКД.

Для обозначения паяного и клееного соединений применяют соответствующие знаки, наносимые на линии-выноске сплошной основной линией:

с — знак пайки (рис. 13.12, а, б, д);

к — знак склеивания (рис. 13.12, в, г).

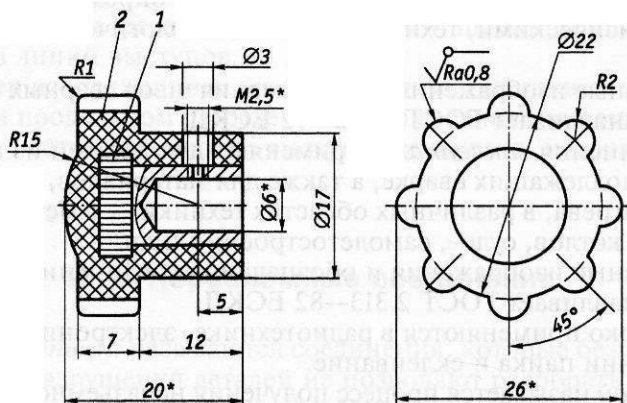
При этом линия-выноска заканчивается стрелкой, указывающей шов. Швы, выполняемые по замкнутому контуру, обозначают окружностью диаметром от 3 до 5 мм, проведенной тонкой линией (см. рис. 13.12, а, в, д).

На рис. 13.12, д изображение паяного соединения дано с условным обозначением шва, его размерами и обозначением шероховатости поверхности.

Припой на видах и разрезах показывают сплошной линией толщиной  $2s$  за счет поверхности, охватывающей детали.

Условное обозначение припоя в соответствии со стандартом или техническими условиями, которое приводят в технических требованиях чертежа, имеет вид ПОС 40 ГОСТ 21931—76, что расшифровывается как припой оловянно-свинцовый с содержанием олова 40 % (остальное — свинец).

010'XX'XX



\*Размеры для справок

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Детали</u>		
A4		1	XX.XX.011	Втулка	1	
				<u>Материалы</u>		
		2		Прессматериал АГ-4 ГОСТ 20437 — 75	0,15	кг

XX.XX.010

Изм.	Лист	докум.	Подпись	Дата	Литера	Масса	Масштаб
					у		2:1
					Лист	Листов	1

Ручка

Рис. 13.13

Требования, предъявляемые к качеству шва, приводят в технических требованиях чертежа, а на полке линии-выноски к этому шву указывают их порядковый номер.

### 13.3. Чертеж армированного изделия

*Армированным* является изделие, готовую поверхность которого (частично или полностью) заливают или опрессовывают металлом, сплавом, пластмассой, резиной или какими-либо другими материалами. Чертежи армированных изделий оформляют как сборочные. Конструкторская документация, относящаяся к такому изделию, должна состоять из спецификации и сборочного чертежа, порядок оформления которых определяют ГОСТ 2.106—96 и 2.109—73.

Материал, наносимый на армируемую деталь, записывают в спецификации в раздел «Материалы», в графе «Кол.» указывают его массу, а в графе «Примеч.» — единицу измерения.

На сборочном чертеже должны быть приведены все размеры готового армированного изделия и другие сведения, необходимые для его изготовления. В общем случае для изготовления армированного изделия разрабатывают отдельный чертеж. Однако ГОСТ 2.109—73 позволяет не выполнять такой чертеж, а представлять все размеры армируемой детали на сборочном чертеже.

На рис. 13.13 приведен пример совмещения спецификации армированного изделия и сборочного чертежа, что допускает ГОСТ 2.106—96. В этом примере конструкторский документ оформлен таким образом, что для изготовления втулки 1 следует использовать отдельно выполненный чертеж.

#### Контрольные вопросы

1. Какое изображение крепежных изделий и их соединений называется конструктивным?
2. Какое изображение крепежных изделий и их соединений называется упрощенным и какое условным?
3. Как определить длину болта, шпильки и винта?
4. Как при конструктивном изображении определить глубину гнезд под шпильку и винт?
5. Назовите виды неразъемных соединений.
6. Какими знаками обозначаются неразъемные соединения, получаемые пайкой и склеиванием?

### 14.1. Общие сведения

Чертежи сборочных единиц разрабатывают на всех стадиях проектирования изделий, причем на стадии разработки проектной документации выполняют чертеж общего вида, а на стадии рабочей документации — сборочный чертеж.

*Чертеж общего вида* — это документ, определяющий конструкцию, взаимодействие основных составных частей изделия, а также поясняющий принцип его работы. Чертеж общего вида предназначен для пояснения обработки конструкции изделия и является основой для разработки рабочей документации: спецификаций, чертежей деталей, сборочных чертежей всего изделия и отдельных сборочных единиц.

Наименование и обозначение составных частей изделия на чертеже общего вида указывают на полках линий-выносок или в таблице, располагаемой на чертеже. Изображения на чертежах общих видов выполняются с максимальными упрощениями, устанавливаемыми стандартами ЕСКД. Подробные указания о выполнении чертежей общего вида приведены в ГОСТ 2.119—2013 и 2.120—2013.

Если чертеж общего вида техническим заданием не предусмотрен (например, при проектировании несложных армированных или простых сварных изделий), то сборочный чертеж должен быть более подробным. В этом случае сборочный чертеж должен обеспечивать не только процесс сборки изделия, но и разработку по нему рабочих чертежей деталей.

*Сборочный чертеж* — это графический документ, содержащий изображение изделия и данные, необходимые для его сборки (изготовления) и контроля.

Сборочный чертеж в соответствии с ГОСТ 2.109—73 должен содержать:

- изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимосвязи ее составных частей;
- сведения, обеспечивающие возможность сборки и контроля сборочной единицы;
- размеры, их предельные отклонения и другие параметры, подлежащие контролю или выполнению по сборочному чертежу;
- указания о характере сопряжения составных частей сборочной единицы и методах его выполнения, если точность сопряже-

ния обеспечивается не заданием отклонений размеров, а подбором, пригонкой и т. п.;

- указания о способе выполнения неразъемных соединений (сварка, пайка и др.);
- номера позиций составных частей, входящих в изделие;
- основные характеристики изделия;
- габаритные, установочные, присоединительные, а также необходимые справочные размеры.

## 14.2. Оформление сборочных чертежей

Сборочный чертеж выполняется на листе стандартного формата, который определяется размером изделия и числом входящих в него деталей. Полнота изображений изделия на сборочном чертеже зависит от числа выполненных видов, разрезов, сечений и выносных элементов. При этом число изображений должно быть минимальным, но достаточным для полного представления конструкции составных частей изделия.

В целях сокращения выполнения основных видов рекомендуется применять местные и дополнительные виды. В большинстве случаев сборочные чертежи имеют разрезы, позволяющие выявить характер соединения деталей. Если изделие проецируется в форме симметричной фигуры, то рекомендуется на одном изображении соединять половину разреза и половину вида. При выполнении сечений деталей на сборочном чертеже необходимо соблюдать следующее правило: штриховку сечений двух, трех и более соприкасающихся деталей выполняют линиями с наклоном влево или вправо, но в одну и ту же сторону на всех сечениях, относящихся к одной и той же детали, независимо от числа и масштаба изображений. В смежных сечениях при выполнении штриховки с одинаковым наклоном следует линии штриховки наносить на разном расстоянии.

## 14.3. Условности и упрощения на сборочных чертежах

Допустимые упрощения на сборочных чертежах определяются требованиями стандартов ЕСКД для всех видов чертежей, а также используются некоторые дополнительные упрощения, установленные ГОСТ 2.109—73.

- На сборочных чертежах допускается не показывать (рис. 14.1):
- фаски, скругления, проточки, углубления, выступы, рифления оплетки и другие мелкие элементы;
  - зазоры между отверстием и стержнем (рис. 14.1, а, б, в);



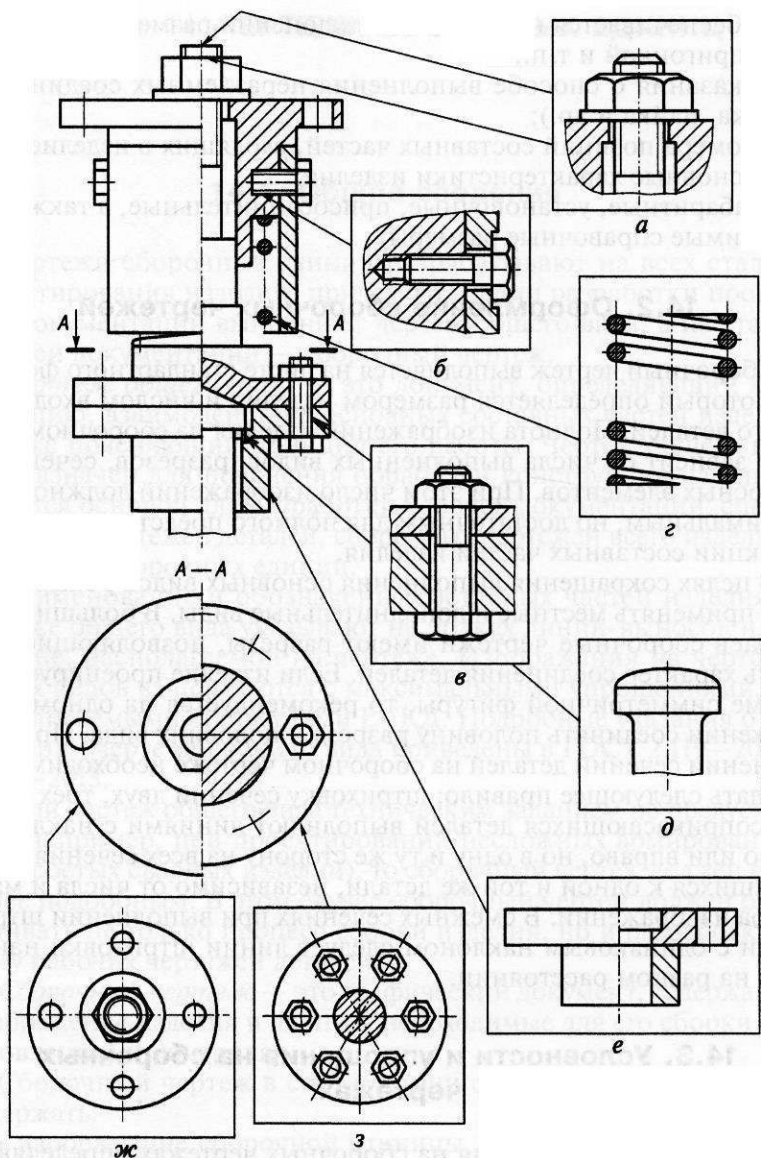


Рис. 14.1

- недорез резьбы и конусную часть глухого отверстия (см. рис. 14.1, б);
- лекальные кривые линий переходов (заменяют дугами окружностей или прямыми линиями).

Во многих случаях при выполнении сборочных чертежей в разрезы попадают такие детали, как винты, болты, шпильки, шпонки, штифты, валы, шатуны, рукоятки и т. п. В продольных разрезах эти детали показывают условно нерассеченными, т. е. вычерчивают, как виды, а в поперечных — разрезают и заштриховывают. Как правило, нерассеченными показывают также гайки и шайбы (см. рис. 14.1, *a*).

Крепежные резьбовые соединения (винтовые, болтовые, шпильчные) изображают с упрощениями (см. подразд. 13.1 и рис. 14.1, *a...e*).

Если сборочная единица имеет несколько одинаковых равномерно расположенных деталей, то изображают только одну-две из них, а остальные показывают упрощенно или условно (см. рис. 14.1, *ж, з*) с указанием в спецификации полного их числа.

#### 14.4. Указание номеров позиций

На чертеже составные части сборочной единицы нумеруют согласно номерам позиций, указанным в спецификации, т. е. спецификацию составляют перед нанесением номеров позиций на сборочном чертеже.

Номера позиций указывают на горизонтальных полках линий-выносок, проводимых от составных частей сборочной единицы на тех изображениях, где они проецируются как видимые: как правило, на основных видах и заменяющих их разрезах.

Номера позиций располагают параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения, группируя их в колонку или строку по возможности на одной линии (рис. 14.2). Размер шрифта номеров позиций должен быть на один-два размера больше шрифта, принятого на чертеже для размерных чисел.

Допускается выполнять общую линию-выноску с вертикальным расположением номеров позиций для группы крепежных деталей, относящихся к одному и тому же месту крепления (рис. 14.3, *a*), и для группы деталей с отчетливо выраженной взаимосвязью, исключающей различное понимание, при невозможно-

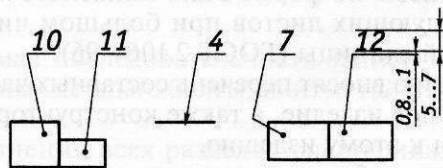


Рис. 14.2

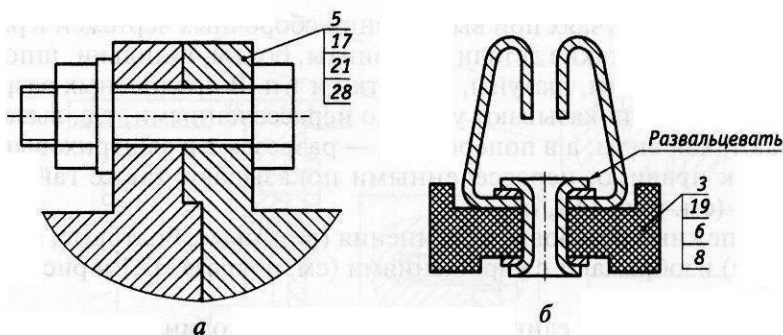


Рис. 14.3

сти подвести линию-выноску к каждой составной части изделия (рис. 14.3, б). В этих случаях линия-выноска отводится от изображения составной части, номер позиции которой указывается первым.

## 14.5. Заполнение основной надписи

Основная надпись на сборочном чертеже выполняется по форме 1 (ГОСТ 2.104—2006).

В графе 1 основной надписи (см. рис. 9.4) указывают наименование изделия и наименование конструкторского документа — *Сборочный чертеж*, а в графе 2 — обозначение документа и справа от него присвоенный шифр — *СБ*.

## 14.6. Спецификация

*Спецификация* — текстовый документ, определяющий состав сборочной единицы (комплекса, комплекта) и необходимый для ее изготовления, комплектования конструкторских документов и планирования запуска в производство.

Спецификация выполняется на отдельных листах формата А4 с основной надписью по форме 2 для заглавного листа и по форме 2а для последующих листов при большом числе составных частей сборочной единицы (ГОСТ 2.106—96).

В спецификацию вносят перечень составных частей, входящих в специфицируемое изделие, а также конструкторские документы, относящиеся к этому изделию.

Спецификация в общем случае состоит из разделов, которые располагаются в следующем порядке: документация, комплексы,

сборочные единицы, детали, стандартные изделия, прочие изделия, материалы, комплекты.

Наличие тех или иных разделов определяется составом проектируемого изделия. В учебной практике чаще всего используют следующие разделы: документация, сборочные единицы, детали и стандартные изделия. Название каждого раздела записывается в виде заголовка с прописной буквы в графе «Наименование» и подчеркивается.

До и после заголовка следует оставлять свободную строку.

Раздел «Документация» включает в себя основной комплект конструкторских документов изделия, например: сборочный чертеж, монтажный чертеж, схема, технические условия и т. д.

В разделах «Комплексы», «Сборочные единицы», «Детали» указывают комплексы, сборочные единицы, детали, непосредственно входящие в изделие. При этом на сборочные единицы, внесенные в раздел «Сборочные единицы», выполняют самостоятельные сборочные чертежи со своей спецификацией.

В раздел «Детали» записывают только нестандартные детали входящие в изделие. Причем сначала вносят составные части, входящие в сборочную единицу, на которые выпущены самостоятельные чертежи (рабочие чертежи деталей), а затем записывают детали, которые изготавливаются без чертежей по данным, указанным на сборочном чертеже и в спецификации.

Раздел «Стандартные изделия» заполняется по различным категориям стандартов: государственные, отраслевые, стандарты предприятий.

В пределах каждой категории стандартов запись производят по группам изделий в алфавитном порядке, а в пределах каждого наименования — в порядке возрастания обозначений стандартов, например:

Болт М12 × 65.58 ГОСТ 7796—70;

Болт М20 × 75.58 ГОСТ 7798—70.

Если изделия изготавливаются по одному стандарту, допустимо упрощения записей, например, допускается общую часть наименования записывать один раз в виде заголовка, т. е. в виде

Болты ГОСТ 7796—70:

М10 × 65.58;

М20 × 50.58;

М24 × 40.58.

Рекомендуемая последовательность записи в спецификации группы крепежных деталей: болты, винты, гайки, шайбы, шпильки и др.

После заполнения всех разделов спецификации каждой составной части изделия присваивается порядковый номер, начиная с единицы в разделе «Сборочные единицы», который запи-

сывается в графе «Поз.». Этот номер, являющийся номером позиции каждой составной части изделия, проставляется на чертеже сборочной единицы.

## 14.7. Чтение сборочного чертежа

Прочитать сборочный чертеж — это означает определить назначение, устройство и принцип работы изображенного на нем изделия. При этом выясняют взаимодействие, способы соединения и форму каждой детали.

Рекомендуемая последовательность чтения сборочных чертежей:

1. *Ознакомление с изделием.* По основной надписи выяснить наименование изделия, масштаб изображения и др.

2. *Чтение изображений.* Определить, какие виды, разрезы, сечения даны на чертеже и каково назначение каждого изображения. Выяснить положение секущих плоскостей, с помощью которых выполнены разрезы и сечения, а при наличии дополнительных и местных видов — направления их проецирования.

3. *Изучение составных частей изделия.* По спецификации выяснить их наименования, по чертежу — форму и взаимное положение. Изучить составные части изделия по порядку номеров позиций спецификации, причем изображения деталей сначала следует найти на том виде, на котором указан номер позиции, а затем — на остальных. Учесть, что при наличии разрезов выявлению формы детали способствуют одинаковые наклон и частота линий штриховки ее сечений.

4. *Изучение конструкции изделия.* Выяснить характер соединения отдельных деталей между собой. Для неразъемных соединений (сварных, клепаных, паяных и т. п.) определить каждый элемент и места их соединения, а для разъемных — выявить все крепежные детали.

5. *Определение последовательности сборки и разборки изделия.* Это завершающая стадия чтения чертежа.

Рассмотрим пример чтения сборочного чертежа изделия, показанного на рис. 14.4.

1. На сборочном чертеже изображена вилка кабельная угловая, что видно из основной надписи. Она является одной из двух частей разъема, применяемого для соединения электрического кабеля. Соединение одной части разъема — вилки с другой частью — розеткой происходит с помощью контакта *1* и гайки *2*.

2. На сборочном чертеже даны четыре изображения: полный разрез, часть вида слева, сечение *А—А* и местный вид *Б*. Разрез

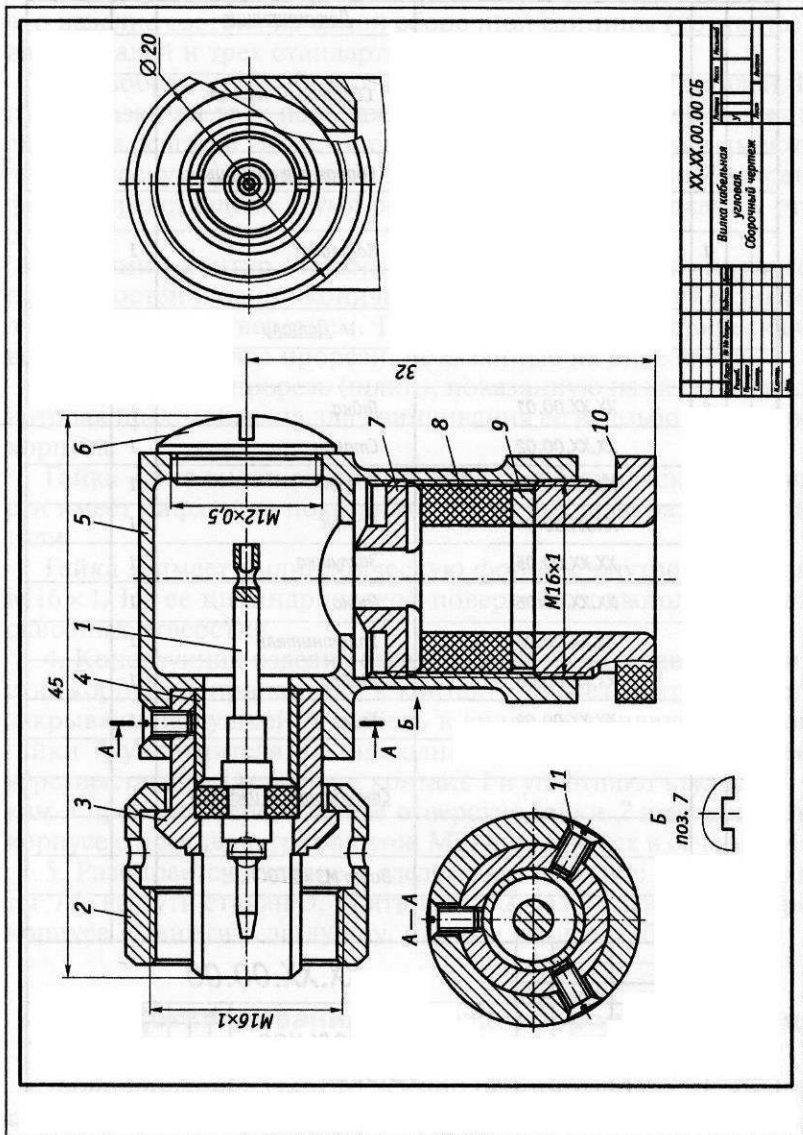


Рис. 14.4

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
			XX.XX.00.00 СБ	Сборочный чертеж		
				<u>Сборочные единицы</u>		
		1	XX.XX.01.00 СБ	Контакт	1	
				<u>Детали</u>		
		2	XX.XX.00.01	Гайка	1	
		3	XX.XX.00.02	Стакан	1	
		4	XX.XX.00.03	Втулка	1	
		5	XX.XX.00.04	Корпус	1	
		6	XX.XX.00.05	Заглушка	1	
		7	XX.XX.00.06	Гайка	1	
		8	XX.XX.00.07	Уплотнитель	1	
		9	XX.XX.00.08	Шайба	1	
		10	XX.XX.00.09	Гайка	1	
				<u>Стандартные изделия</u>		
		11		Винт М3×5 ГОСТ ...	3	
			<b>XX.XX.00.00</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
Разроб.					Литера	Лист
Проверил						Листов
Н.контр.						1
Утв.						
				<b>Вилка кабельная угловая</b>		

Рис. 14.5

выявляет внутреннюю конструкцию изделия, вид слева дает возможность понять форму гайки 2 и стакана 3. Сечение А—А выявляет соединение стакана 3 и корпуса 5. Местный вид В пока-

зывает часть гайки 7. Вид *Б* выполнен по направлению, указанному соответствующей стрелкой.

3. По спецификации, приведенной на рис. 14.5, определяем, что изделие состоит из одной сборочной единицы (контакта), девяти деталей и трех стандартных винтов.

По изображениям на чертеже определяем форму деталей. Корпус показан на трех изображениях: в основном разрезе, на виде слева и в сечении *А—А*. Внешние очертания корпуса имеют цилиндрическую форму с изгибом под прямым углом. Внутренняя форма представлена двумя резьбовыми и одним гладким отверстиями.

Внешний контур стакана 3 состоит из трех цилиндрических поверхностей и одной конической поверхности со сквозным цилиндрическим отверстием. При этом одна цилиндрическая поверхность имеет две прорези, показанные на виде слева.

Гайка 7 имеет прорезь (шлиц), показанную на местном виде *Б*, которая предназначена для ввинчивания ее в резьбовое отверстие корпуса.

Гайка 10 на внешней по диаметру цилиндрической поверхности имеет рифление, показанное частью вида на разрезе этой детали.

Гайка 2 имеет цилиндрическую форму с внутренней резьбой  $M16 \times 1$ . На ее цилиндрической поверхности выполнены четыре сквозных отверстия.

4. Конструкция изделия следующая. Кабель вставляют в отверстие корпуса 5, припаивают к контакту 1 через другое отверстие и закрывают заглушкой 6. Кабель в вилке закрепляют с помощью гайки 7, уплотнителя 8 и еще одной гайки 10. Во внутреннее отверстие стакана 3 вставляют контакт 1 и уплотняют втулкой 4. Стакан 3 проходит через гладкое отверстие гайки 2 и закрепляется в корпусе с помощью трех винтов  $M2$ , показанных в сечении *А—А*.

5. Разбирается изделие в следующем порядке: отвинтить винты 11, вынуть стакан 3, снять гайку 2. Из резьбовых отверстий корпуса вывинтить заглушку, гайки и вынуть кабель.

## 14.8. Детализирование чертежа сборочной единицы

*Детализирование* состоит в выполнении рабочих чертежей деталей.

Существенным моментом при детализировании сборочных чертежей является умение выделять изображения отдельной детали из всех окружающих.

На сборочном чертеже часто изображение охватывающей детали в разрезе бывает закрыто изображением охватываемой.



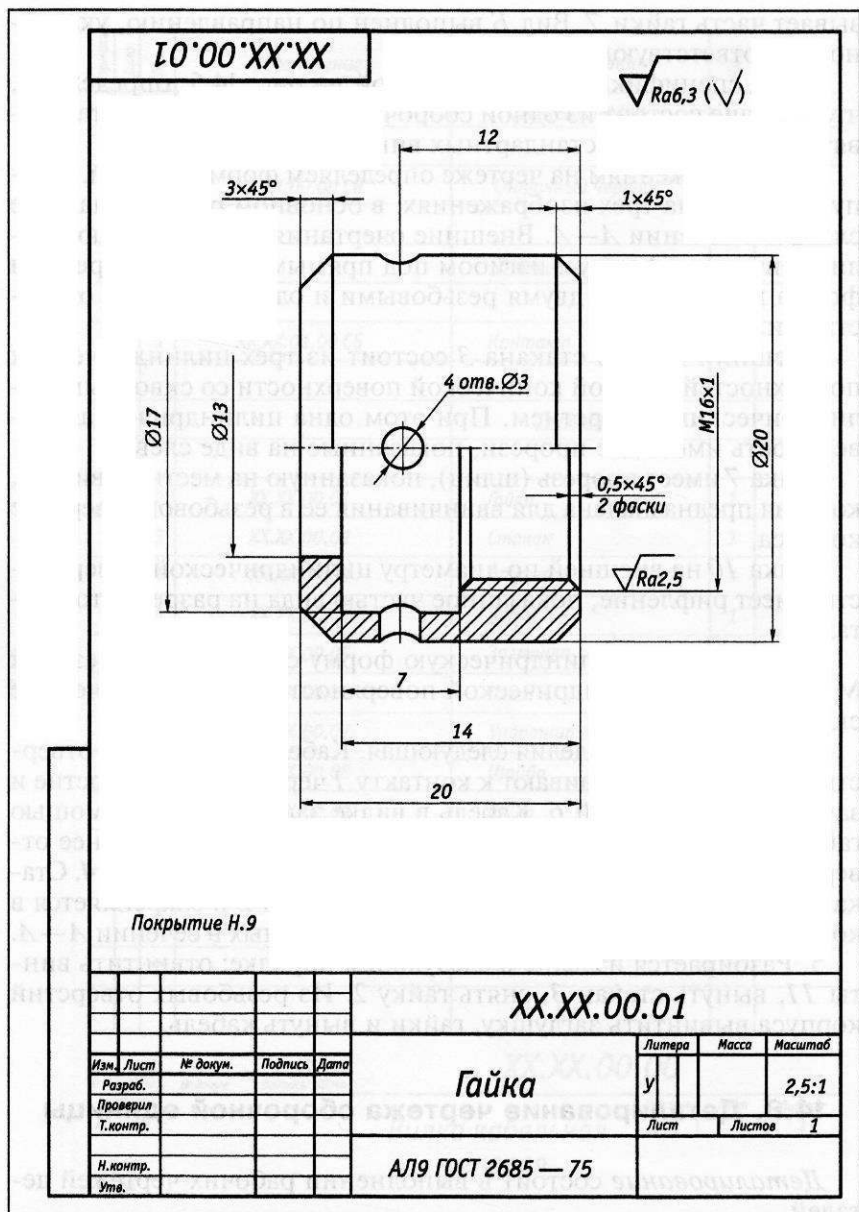


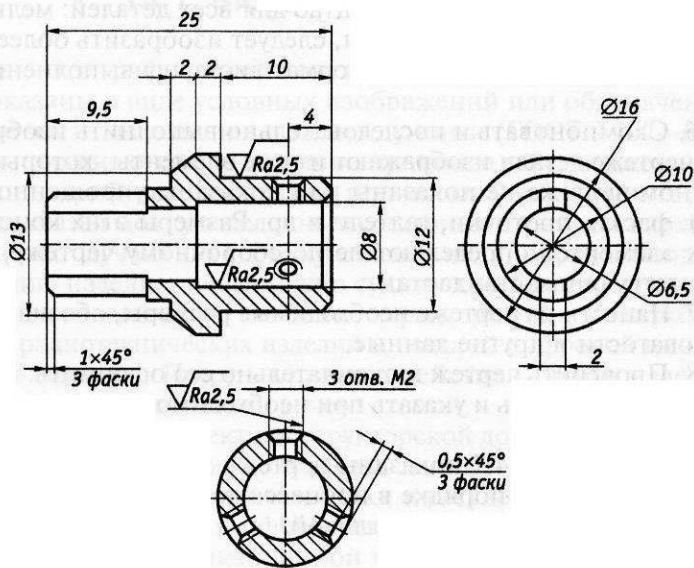
Рис. 14.6

Детализирование выполняют в следующем порядке:

1. Изучить сборочную единицу, прочитав ее чертеж в указанной ранее последовательности.

20'00'XX'XX

$\sqrt{Ra6,3}$  ( $\checkmark$ )



Покрытие Н.9

				<b>XX.XX.00.02</b>				
<b>Изм.</b>	<b>Лист</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>	<b>Стакан</b>	<b>Литера</b>	<b>Масса</b>	<b>Масштаб</b>
Разраб.						у		2,5:1
Проверил								
Т.контр.						<b>Лист</b>	<b>Листов</b>	1
Н.контр.								
Утв.					<b>АЛ9 ГОСТ 2685 — 75</b>			

Рис. 14.7

2. Установить детали, чертежи которых необходимо выполнить. Процесс детализования начинать с простых деталей.

3. Найти и проанализировать имеющиеся на чертеже изображения намеченной детали, определить ее главное изображение, а также число и состав необходимых изображений. (Число и состав изображений детали на рабочем чертеже могут не соответствовать изображениям на чертеже сборочной единицы.)

4. Выбрать масштаб изображений, причем не обязательно выдерживать один и тот же масштаб для всех деталей: мелкие детали, особенно сложной формы, следует изобразить более крупно.

5. Выбрать необходимый формат листа для выполнения чертежа.

6. Скомпоновать и последовательно выполнить изображения. На чертеже детали изображают и те ее элементы, которые на сборочном чертеже не показаны или показаны упрощенно, например: фаски, проточки, галтели и др. Размеры этих конструктивных элементов определяют не по сборочному чертежу, а по соответствующим стандартам.

7. Нанести на чертеже необходимые размеры, обозначения шероховатости и другие данные.

8. Проверить чертеж и окончательно его оформить: заполнить основную надпись и указать при необходимости технические требования.

На рис. 14.6, 14.7 показаны чертежи двух деталей, выполненные в указанном порядке в процессе детализования сборочного чертежа вилки кабельной угловой.

### **Контрольные вопросы**

1. Что должен содержать сборочный чертеж?
2. Каковы основные правила оформления чертежа сборочной единицы?
3. Какие условности и упрощения допустимы при выполнении сборочного чертежа?
4. Что представляет собой спецификация?
5. Какова последовательность заполнения спецификации?
6. Какова последовательность чтения сборочного чертежа?

### 15.1. Виды и типы схем

*Схема* — это графический конструкторский документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними (ГОСТ 2.102—68).

Схемы применяются при изучении принципа действия механизмов, машин, приборов, аппаратов, при их наладке и ремонте для пояснения связей между отдельными составными частями изделия.

Во многих случаях по чертежу общего вида, определяющему конструкцию изделия, невозможно судить о процессах, протекающих в этом изделии. Это особенно характерно для электротехнических, радиотехнических изделий и изделий цифровой вычислительной техники. Понять принцип действия такого изделия можно, только ознакомившись с его схемой.

Схемы входят в комплект конструкторской документации и содержат так же, как и другие документы, данные, необходимые для проектирования, изготовления, сборки и регулировки изделия.

Правила выполнения и оформления схем содержатся в стандартах седьмой классификационной группы ЕСКД.

Виды, типы схем и общие требования к их выполнению определяет ГОСТ 2.701—2008.

В зависимости от видов элементов и связей между ними различают следующие *виды* схем, имеющие буквенные обозначения: электрические — Э, гидравлические — Г, пневматические — П, кинематические — К, оптические — Л, вакуумные — В, газовые — Х, автоматизации — А, комбинированные — С.

В зависимости от основного назначения различают следующие *типы* схем, имеющие цифровые обозначения: структурные — 1, функциональные — 2, принципиальные (полные) — 3, соединений — 4, подключения — 5, общие — 6, расположения — 7, прочие — 8, объединенные — 0.

Наименование схемы определяется ее видом и типом (например, схема электрическая принципиальная, схема гидравлическая принципиальная).

Схеме, входящей в состав конструкторской документации изделия, присваивают код, который включает в себя букву, определяющую ее вид, и цифру, обозначающую ее тип (например, схема электрическая принципиальная — Э3, схема гидравлическая принципиальная — Г3).

Наименование схемы вписывают в графу 1 основной надписи чертежа (см. рис. 9.4) после наименования изделия, для которого эта схема выполнена, шрифтом меньшего размера, чем наименование изделия. Код схемы вписывают в графу 2 основной надписи после обозначения документа в следующем виде: XX. XX. XX. ЭЗ.

## 15.2. Общие требования к выполнению схем

1. Схемы выполняют на листах стандартных форматов (схема может состоять из одного или нескольких листов), установленных ГОСТ 2.301—68.

2. При выполнении схем применяют условные графические обозначения, установленные стандартами ЕСКД.

Условные графические обозначения, стандартизованные или строящиеся на основе стандартизованных обозначений, на схемах не поясняют.

Нестандартизованные условные графические обозначения, применяемые на схемах, должны поясняться.

3. Схемы выполняют без соблюдения масштаба и действительного пространственного расположения составных частей изделия, т.е. они должны быть компактными, но в то же время понятными и удобными для чтения.

4. Линии связи на схемах изображают в виде горизонтальных и вертикальных отрезков с минимально возможным числом изломов и пересечений. Толщина линий связи может быть от 0,2 до 1,0 мм в зависимости от формата схемы. (Предпочтительна толщина линий от 0,3 до 0,4 мм.) Расстояние между соседними параллельными линиями связи должно быть не менее 3 мм.

5. Утолщенные линии применяемых в схемах условных графических обозначений должны быть в 2 раза толще линий связи.

6. Условные графические обозначения элементов изображают на схемах в положении, указанном в соответствующих стандартах, а также повернутыми на угол, кратный  $90^\circ$ , или зеркально повернутыми.

7. На схемах допускается указывать необходимые технические данные, размещая их около соответствующих условных графических обозначений элементов (например, номинальные значения их параметров) или на свободном поле листа над основной надписью (диаграммы, таблицы, текстовые указания).

Правила выполнения схем изделий устанавливают соответствующие стандарты ЕСКД, например: электрические схемы — ГОСТ 2.702—2011, кинематические — ГОСТ 2.703—2011, гидравлические и пневматические — ГОСТ 2.704—2011.

### 15.3. Схемы электрические

*Электрическая схема* — это графическое изображение электрических цепей устройства с использованием соответствующих условных обозначений его элементов и связей между ними, раскрывающих принцип работы изделия.

Электрические схемы в зависимости от основного назначения подразделяются на следующие установленные стандартами типы: структурные, функциональные, принципиальные (полные), соединений (монтажные), подключения, общие, расположения и совмещенные.

Для пояснения различий выполнения и оформления разных типов схем рассмотрим электрические схемы изделия «Приемник».

*Структурная схема* определяет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. Структурные схемы разрабатывают на стадии проектирования изделия и используют для общего ознакомления с этим изделием.

На структурной схеме изображают все функциональные части изделия и основные взаимосвязи между ними. Функциональные части изображают в виде прямоугольников, внутри которых указывают соответствующие наименования или цифровые обозначения (номера) элементов и устройств. Отдельные элементы схемы допускается изображать в виде условных графических обозначений. При этом расшифровка всех принятых цифровых обозначений функциональных частей схемы должна быть приведена на свободном поле листа в виде таблицы произвольной формы.

Направление хода рабочих процессов в изделии в соответствии с ГОСТ 2.721—74 показывают стрелками.

Структурная схема должна давать представление о ходе рабочего процесса в изделии и выполняться в направлении слева направо.

Структурная электрическая схема изделия «Приемник» показана на рис. 15.1.

*Функциональная схема* разъясняет процессы, протекающие в отдельных функциональных частях изделия.

На функциональной схеме одни функциональные части изделия изображают в виде условных графических обозначений, а другие — в виде прямоугольников.

Вид и размеры условных графических обозначений, используемых в схемах, устанавливают стандарты седьмой классификационной группы ЕСКД — ГОСТ 2.721—74... 2.758—81.

На схеме наименование каждого устройства должно быть вписано в соответствующий прямоугольник и указано позиционное обозначение каждого элемента.

Функциональная электрическая схема изделия «Приемник» показана на рис. 15.2.

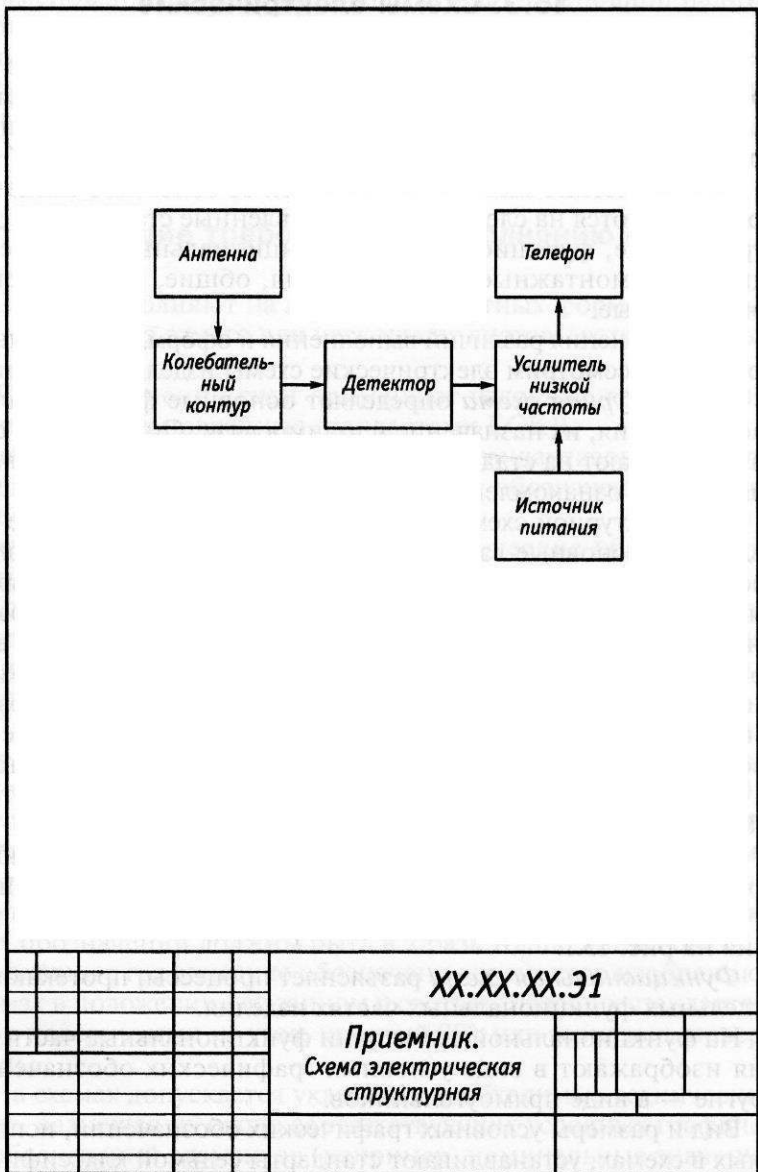


Рис. 15.1

*Принципиальная (полная) схема* определяет полный состав элементов изделия и связей между ними и дает детальное представление о принципе его работы.





Правила оформления и выполнения принципиальных схем действительны и для схем электрических принципиальных.

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы и устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, и все электрические связи между ними, а также электрические элементы (разъемы, зажимы и т. п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

Схемы выполняют для изделий, находящихся в отключенном состоянии.

При выполнении схем используют строчной способ, т. е. все условные графические обозначения в соответствии с их функциональным назначением группируют в горизонтальные и вертикальные цепи.

Все элементы, изображенные на схеме, должны иметь позиционное обозначение, состоящее из двух частей:

- латинских букв, определяющих их вид;
- порядкового номера (арабских цифр) в пределах одной группы элементов данного вида.

Буквенные обозначения видов элементов устанавливает ГОСТ 2.710—81.

Порядковые номера элементам схемы присваивают, начиная с единицы, в пределах одной группы элементов данного вида (например,  $R1$ ,  $R2$  и т. д. или  $C1$ ,  $C2$  и т. д.) в соответствии с последовательностью расположения их на схеме сверху вниз в направлении слева направо.

Буквы и цифры позиционного обозначения выполняют чертежным шрифтом одного размера.

Буквенно-цифровое позиционное обозначение на схеме наносится справа от элемента или сверху над ним.

Электрическая принципиальная схема изделия «Приемник» показана на рис. 15.3.

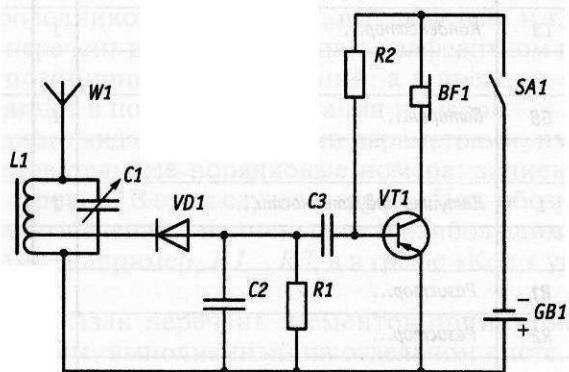
Данные об элементах, изображенных на схеме, указывают в перечне элементов.

Перечень элементов помещают на первом листе схемы или выполняют на отдельных листах формата А4 в виде самостоятельного текстового документа с соответствующей основной надписью (ГОСТ 2.104—2006).

В графе 1 основной надписи перечня (см. рис. 9.4) записывают наименование изделия, для которого составлен данный перечень, а под ним пишут «Перечень элементов».

В графе 2 основной надписи указывают код «П», присвоенный документу, и код схемы (например: ПЭЗ — перечень схемы электрической принципиальной).

Перечень элементов оформляют в виде таблицы, заполняемой сверху вниз. При размещении перечня на листе схемы его распо-



										<b>XX.XX.XX.ЭЗ</b>									
										<b>Приемник.</b> Схема электрическая функциональная									

Рис. 15.3

лагают над основной надписью на расстоянии 12 мм от нее. Продолжение перечня разрешается помещать на чертеже слева от основной надписи с повторением головки таблицы.



Для примера приведем запись условного обозначения резистора, включающую в себя его тип, номинальную мощность, номинальное сопротивление, допустимое отклонение от номинального сопротивления в процентах или класс точности и номер стандарта или технических условий: резистор МЛТ-0,5-510 кОм  $\pm 5\%$ -А-В, запись означает, что резистор металлопленочный лакированный теплоустойчивый с номинальной мощностью 0,5 Вт, номинальным сопротивлением 510 кОм и допустимым отклонением номинального сопротивления  $\pm 5\%$ , групп А, В.

Аналогично в перечне записывают и другие элементы: конденсаторы, полупроводниковые элементы, выключатели и т. д.

Элементы в перечень вносят по группам в алфавитном порядке их буквенных позиционных обозначений, а в пределах каждой группы располагают в порядке возрастания номеров.

Элементы одного вида с одинаковыми параметрами, имеющие на схеме последовательные порядковые номера, записывают в перечне одной строкой. В этом случае в графу «Поз. обозн.» вписывают только обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, например,  $R1 \dots R3$ , а в графе «Кол.» указывают общее их число.

На рис. 15.4 показан перечень элементов принципиальной электрической схемы, выполненный на отдельном листе.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение схемы и поясните ее назначение.
2. Перечислите виды схем и укажите их буквенные обозначения.
3. Перечислите типы схем и укажите их цифровые обозначения.
4. Как образуется код схемы и где его указывают на схеме?
5. Каков код схемы электрической принципиальной?
6. Дайте определение схемы электрической.
7. Перечислите типы электрических схем.
8. Что представляет собой принципиальная схема?
9. Из чего состоит позиционное обозначение элементов электрических схем?
10. Как составляется перечень элементов?

*Компьютерная графика* — это создание, обработка и воспроизведение изображений с помощью вычислительной техники.

Создание средств компьютерной графики требует глубоких знаний начертательной геометрии, инженерной графики, математики, вычислительной техники, программирования, а также знания тех отраслей деятельности человека, где используется компьютерная графика.

Компьютерная графика работает в области *дискретных прямоугольных геометрических пространств*.

Для записи изображений в память компьютера используется *одномерное* геометрическое пространство, мера которого  $x$  определяет номер ячейки памяти компьютера.

Изображение на экране компьютера формируется в виде *двухмерного* геометрического пространства, две меры которого  $x$  и  $y$  определяют местоположение элемента плоского изображения.

Для моделирования реальных объектов и сцен используется *трехмерное* геометрическое пространство, три меры которого  $x$ ,  $y$ ,  $z$  определяют местоположение элемента объекта в пространстве.

Необходимо обратить внимание на то, что в компьютерной графике помимо геометрических параметров элементов используется их цвет. В этом случае двухмерное геометрическое пространство преобразуется в трехмерное математическое пространство.

Помимо цвета ( $c$ ) для каждого элемента реального объекта ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) можно также ввести и другие свойства, например температуру ( $t$ ), плотность ( $\rho$ ) и т. п. Тогда для моделирования реальных объектов будут использоваться многомерные математические пространства  $A(x, y, z, c, t, \rho, \dots)$ .

Однако на экране компьютера или на листе бумаги чертежа мы можем видеть только отображаемые различного цвета точки, из которых складывается геометрическое и цветовое восприятие изображения предмета. Поэтому при выводе на экран дисплея изображения предмета мы отображаем геометрию и одно из свойств предмета путем окраски каждой точки.

## Глава 16. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЕГО ЗАДАЧИ

### 16.1. Основные понятия

*Геометрическое моделирование* — процесс создания графических объектов.

*Графический объект* — описание геометрических свойств (формы поверхности, размеров, размещения в пространстве) материального объекта-оригинала в виде изображения.

*Геометрическая модель* — модель графического объекта, отражающая геометрические свойства объекта-оригинала. Модель всегда является упрощением оригинала и отличается от него тем или иным искажением. Модель можно представить как самостоятельное физическое изделие (упрощенное) или составить из элементов сложной моделирующей установки (человеческого мозга или компьютера, т.е. можно сформировать графический объект мысленно, запомнить его и записать вручную или с применением компьютера).

Задачами геометрического моделирования являются:

- создание моделей графических объектов;
- размещение графических объектов в сцене (ограниченной пространственной прямоугольной системе координат);
- организация движений графических объектов (анимация);
- представление изображений графических объектов на моно- и стереоэкранах (визуализация);
- формирование чертежной документации, создание слайдов и видеофильмов.

Эти задачи решаются в системах автоматизированного проектирования (САПР), системах связи, геоинформационных системах (ГИС), при научных исследованиях (например, при моделировании атмосферных и водных процессов), во всевозможных тренажерах, играх, художественном дизайне, кино и на телевидении, а также во многих других областях, где используется современная компьютерная техника.

Геометрическое моделирование исследуемых конструкций и процессов на компьютере — это сложный алгоритмический процесс, включающий в себя:

- выбор или разработку математической модели описания геометрических объектов;
- размещение геометрических объектов в сцене с учетом ориентации;
- описание динамики объектов;



Рис. 16.1

- перевод математической модели в машинную в форматах, минимизирующих вычислительный процесс ее обработки;
- преобразование математической и машинной моделей;
- визуализацию машинной модели.

Для ввода и коррекции геометрической информации создают графические редакторы, содержащие библиотеки геометрических примитивов, таких, как точка, линия, поверхность, простейшие геометрические тела (куб, параллелепипед, сфера, цилиндр, конус, тор и их модификации).

Из геометрических примитивов формируются детали, из деталей — объекты, а из объектов — сцены. Далее создаются библиотеки сцен, которые позволяют накапливать и эффективно использовать комплексную информацию, применяемую в дальнейшем для геометрического моделирования.

Динамические сцены наиболее полно отражают процесс моделирования реальных явлений и используются в различных областях науки и техники.

На рис. 16.1 показана технология геометрического моделирования и визуализации динамических трехмерных сцен на компьютере, которая отражает основные процессы подготовки и обработки геометрической информации в компьютере в интерактивном режиме.

## 16.2. Графические объекты, примитивы и их атрибуты

Графические объекты размещаются на плоскости и в пространстве. На плоскости их местоположение определяется прямоугольной двумерной системой координат, оси которой ( $x$ ,  $y$ )

пересекаются в начале системы координат, перпендикулярны друг другу и имеют заданные единичный размер и направление. В пространстве местоположение графических объектов определяется прямоугольной трехмерной системой координат, оси которой ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) пересекаются в начале системы координат, перпендикулярны друг другу и имеют заданные единичный размер и направление. Чаще всего масштаб соотношения единичных размеров осей системы координат равен единице, в этом случае единичный элемент системы координат в плоскости равен квадрату, а в пространстве — кубу. Если масштабы соотношений единичных размеров осей отличны от единицы, то единичный элемент системы координат равен в плоскости прямоугольнику, а в пространстве — параллелепипеду.

В компьютерной технике единичный элемент изображения на плоскости называется *пиксел*, а единичный элемент в пространстве — *воксел*. При этом пиксел может быть квадратом или прямоугольником, а воксел — кубом или параллелепипедом.

**Примитивами** называются такие графические объекты, из которых можно составить графические объекты более сложные по геометрической форме. Например, для прямой линии точка является примитивом, так как прямая линия может быть составлена из точек. Для треугольника (части плоскости) примитивами будут и точка и прямая линия, так как его можно составить и из точек, и из прямых линий. Из треугольников можно сформировать любую кривую поверхность, а из частей кривых поверхностей — тело любой сложности, ограниченное этими частями поверхностей. Таким образом, каждый предыдущий элемент, составляющий графический объект, считается примитивом для этого графического объекта.

**Атрибутами** называются описания, характеризующие свойства графического объекта. Например, описание вида *Окружность А (радиус; координаты центра; цвет)* характеризует графический объект — окружность, имеющую следующие атрибуты: значение радиуса в единицах измерения, координаты размещения центра окружности ( $x$ ,  $y$ ) в единицах измерения и номер цвета, т. е. описание вида *Окружность А (35; 10, 15; 63)* определяет окружность  $A$  с радиусом 35 мм, центр которой расположен в точке с координатами  $x = 10$  мм,  $y = 15$  мм, красного цвета.

Атрибуты могут иметь различные значения и изменяться в ходе преобразований графического объекта.

Часто используемые в геометрическом моделировании графические объекты можно отнести к примитивам. Рассмотрим такие примитивы.

**Точка** — с математической точки зрения бесконечно малая величина, размещенная в определенном месте пространства.



В компьютерной технике наименьшая физическая величина точка равна на плоскости пикселу, а в пространстве — вокселу.

**Линия** — с математической точки зрения множество соприкасающихся друг с другом в определенном направлении точек, она бесконечно тонкая и расположена в пространстве по определенному математическому закону.

Линия, все соседние точки которой связаны друг с другом линейной зависимостью, называется *прямой*.

Линия, все соседние точки которой связаны друг с другом нелинейной зависимостью, называется *кривой*.

Линия, при движении по которой от начальной точки в одном направлении происходит возврат в начальную точку, называется *замкнутой* (например, окружность, эллипс и т. п.).

Линия, при движении по которой от начальной точки в одном направлении нельзя попасть в начальную точку, называется *разомкнутой* (например, парабола, гипербола и т. п.).

В компьютерной технике наименьшая физическая толщина линии равна на плоскости пикселу, а в пространстве — вокселу.

**Поверхность** — с математической точки зрения множество соприкасающихся друг с другом в произвольных направлениях точек, она бесконечно тонкая и расположена в пространстве по определенному математическому закону.

Поверхность, все соседние точки которой связаны друг с другом линейной зависимостью, называется *плоскостью*.

Поверхность, все соседние точки которой связаны друг с другом нелинейной зависимостью, имеет кривизну и называется *кривой поверхностью*, или просто *поверхностью*. В данном случае имеется в виду, что плоскость есть частный случай поверхности.

Поверхность, при пересечении которой плоскостью во всех возможных направлениях всегда получают замкнутую линию пересечения (линию, точки которой принадлежат одновременно плоскости и поверхности), называется *замкнутой* (например, сферическая, эллиптическая, тор и т. п.).

Поверхность, при пересечении которой плоскостью во всех возможных направлениях и даже в случае одного пересечения получают разомкнутую линию, называется *бесконечной разомкнутой*. Например, при пересечении двух плоскостей получается бесконечная прямая линия, а при пересечении параболоидной поверхности плоскостью по оси симметрии — разомкнутая линия парабола, следовательно, и плоскость и параболическая поверхность являются бесконечными поверхностями.

Замкнутые поверхности не могут быть бесконечными, они всегда ограничивают часть пространства.

*Ограниченной* поверхностью называется выделенная часть поверхности, имеющая ограничения в определенных направлениях.

Части поверхности при выделении можно представить в виде лежащих на поверхности линий ограничения и точек выбора. Например, линия окружности, лежащая на плоскости, и точка выбора, лежащая внутри окружности на плоскости, выделяют часть плоскости — круг. Если поставить точку выбора вне окружности, можно получить плоскость, в которой вырезано круглое отверстие.

В компьютерной технике наименьшая физическая толщина поверхности в пространстве равна вокселу.

Реальные графические объекты всегда имеют конечный размер, следовательно, графический объект занимает определенную часть пространства, ограниченную замкнутой поверхностью, состоящей из одной или множества частей поверхностей, пересекающихся друг с другом. Для определения, какая часть пространства принадлежит данному графическому объекту, внутри этого объекта должна находиться точка выбора, от которой можно дойти до любой поверхности, ограничивающей данный графический объект.

### Контрольные вопросы

1. Какие основные задачи решает компьютерная графика?
2. Чем отличается графический объект от геометрической модели?
3. Из каких геометрических примитивов формируются сцены?
4. Какова технология геометрического моделирования на компьютере?
5. В какой системе координат решаются задачи компьютерной графики?
6. Чем отличается пиксел от воксела?
7. Каковы основные геометрические примитивы?
8. Какова толщина линии, поверхности и какой размер имеет точка?
9. Для чего необходима точка выбора?
10. Какие существуют виды линий и поверхностей?

### 16.3. Геометрические модели и их математическое описание

Для формирования геометрических моделей на компьютере необходимо компактное максимально точное описание геометрической формы графических объектов, что обеспечивает математическое символьное описание.

По видам описаний геометрические модели подразделяются на растровые, точечные, каркасные и аналитические. Их преобразование заключается в масштабировании (изменении размеров), изменении формы (геометрических характеристик) и изменении положения в пространстве (местоположения и ориентации).

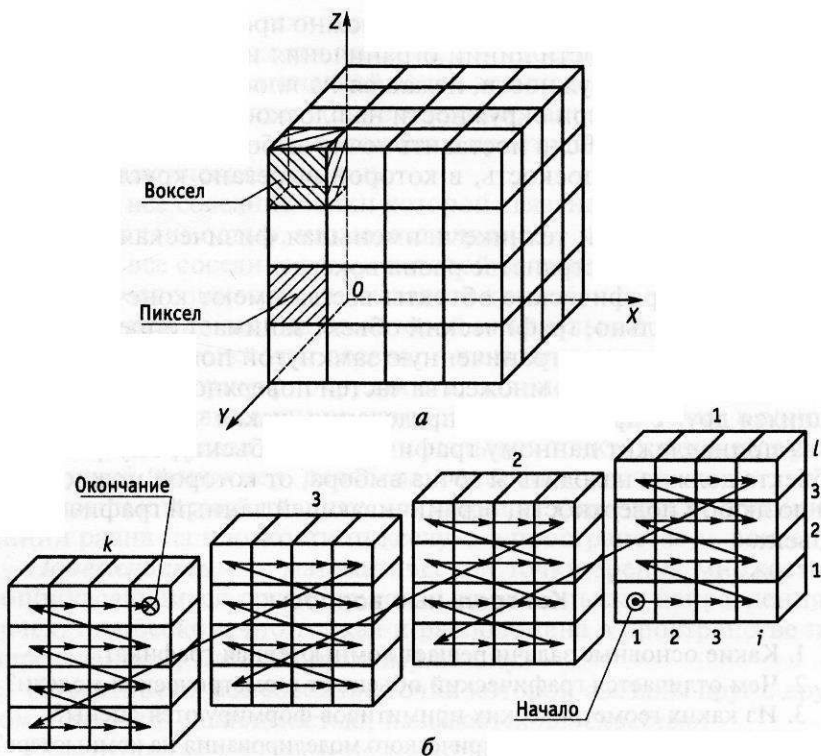


Рис. 16.2

**Растровая модель** (рис. 16.2, а) — это часть плоскости или пространства в виде прямоугольной матрицы в системе координат с осями  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и конечным числом элементов по этим осям соответственно  $i$ ,  $k$ ,  $l$ .

Элементом плоской матрицы является пиксел, а элементом объемной матрицы — воксел.

Общее число элементов в плоской матрице  $S = i \times k$ , общее число элементов в объемной матрице  $V = i \times k \times l$ .

В растровой модели элементы записываются последовательными цифрами в порядке следования (рис. 16.2, б) от начала системы координат по оси  $X$  с переходом на следующую строку по оси  $Z$  и после прохождения плоскости  $XU$  с переходом на следующую плоскость по оси  $Y$ .

Там, где в пространстве отсутствует записываемый графический объект, пиксел или воксел имеет значение нуля, а там, где он присутствует, — соответствует числу, характеризующему элемент записываемого графического объекта.

Например, в двоичной системе элементы, принадлежащие графическому объекту, записываются как единицы, в цветовой гамме — как номер цвета (значение, отличное от нуля, так как нуль означает отсутствие в данном месте графического объекта), в температурной гамме — значением температуры и т. д.

Таким образом выполняется запись всех элементов выделенного пространства.

Математическое описание растровой модели имеет вид

$$V_{i,k,l} = \langle v_1, v_2, v_3, s, v_{i \times k \times l} \rangle.$$

В компьютерной модели в массив описания последовательно записываются значения  $i, k, l, v_1, v_2, v_3, \dots, v_{i \times k \times l}$ .

Растровая модель может иметь записи как элементов поверхности графического объекта, так и его тела.

Точность описания графического объекта растет с увеличением общего числа элементов растровой модели.

Растровая модель максимально приближена к компьютерной записи графических объектов, однако объемы записей в ней объектов с реальной точностью достаточно велики.

**Точечная модель** — это последовательная запись  $n$  точек с координатами  $x, y, z$  и их свойствами  $c, d, t, \dots$  (цвет, плотность, температура и т. д.), из которых состоит поверхность или тело графического объекта.

Математическая формула описания точек поверхности или тела точечной модели имеет вид

$$P_{x,y,z,c,d,t,\dots} = \langle p_1, p_2, p_3, \dots, p_n \rangle.$$

В компьютерной модели в массив описания точки записываются в произвольном порядке.

Объем записи модели в компьютере зависит от размера и точности описания графического объекта.

**Каркасная модель** — это графический объект, заданный множеством линий, принадлежащих его поверхности. При этом линии задаются таким образом, чтобы они с достаточной степенью точности позволяли определить форму поверхности.

**Аппроксимация** — это последовательное соединение контрольных точек поверхности отрезками прямых линий — векторами.

Моделированием поверхности с использованием метода аппроксимации получают линейную каркасную модель.

**Интерполяция** — это последовательное соединение контрольных точек поверхности отрезками кривых линий с условием обеспечения гладкости и сохранения в местах сшивки непрерывности кривой более или менее высокого порядка, т. е. сплайнами.

Моделированием поверхности с использованием метода интерполяции получают нелинейную каркасную модель.

Растровые и точечные модели обеспечивают полное описание поверхностей с тем разрешением, которое определяет модель, а в каркасных моделях только контрольные точки принадлежат поверхности-оригиналу. Положения других точек, принадлежащих смоделированной поверхности, могут отличаться от их положений на поверхности оригинала.

Линейные каркасные модели определяют получение граненых поверхностей, а нелинейные — гладких. И линейные, и нелинейные каркасные модели отличаются от поверхности-оригинала. Приближение точности поверхности каркасной модели к криволинейной поверхности-оригиналу обеспечивается увеличением числа ее линий, что может в конце концов привести к получению точечной модели.

Линейная каркасная модель известна и под другими названиями: векторная модель, треугольные сети, полигональная модель. В плоскости кривые линии задаются отрезками прямых линий — векторами, а в пространстве — кусочками плоскостей — треугольниками, многоугольниками (которые иногда называют полигонами).

*Линейная* каркасная модель — это набор ребер, вершин и многоугольников, связанных таким образом, что каждое из ребер разделяется одним или двумя многоугольниками. Ребро соединяет две вершины, и, следовательно, многоугольник — это замкнутая последовательность ребер.

Обычно описание многоугольника происходит не в произвольном порядке, а по часовой стрелке или против часовой стрелки относительно внешней нормали к поверхности. Ребро может принадлежать двум соседним многоугольникам, и при этом вершина будет разделяться, как минимум, двумя ребрами.

Каждый многоугольник в линейной каркасной модели представлен списком координат его вершин:

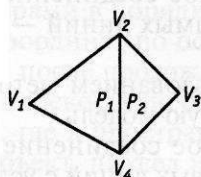


Рис. 16.3

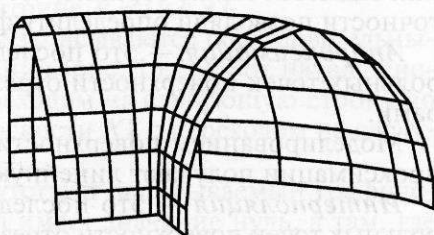


Рис. 16.4

$$P = ((x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n)).$$

Вершины в списке хранятся в том порядке, в котором они будут встречаться при описании многоугольника.

Последовательным описанием всех многоугольников получают запись линейной каркасной модели. Например, для графического объекта, состоящего из двух треугольников  $P_1$  и  $P_2$ , не лежащих в одной плоскости (рис. 16.3), список вершин имеет вид

$$V = (V_1, V_2, V_3, V_4) = ((x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n)),$$

а списки граней

$$P_1 = (1, 2, 4); P_2 = (4, 2, 3),$$

где  $1 \dots 4$  — номера вершин.

Линейные каркасные модели являются самым распространенным способом описания поверхности. Основная проблема здесь заключается в сравнительно большом объеме данных, необходимых для хранения координат вершин, списков ребер и треугольников при точных описаниях криволинейных поверхностей.

*Нелинейная* каркасная модель состоит из отрезков плоских кривых линий — сплайнов, которые проходят через определенные (контрольные) точки описываемой поверхности. Сплайн обладает свойством непрерывности и записывается с помощью полиномов различной степени. Это означает, что кривая, проходя через контрольные точки, не будет иметь изломов. Сшивая сплайны друг с другом и пересекая их между собой, получают каркас поверхности, состоящий из набора кривых непрерывных линий, записанных в виде полиномов и проходящих через контрольные точки описываемой поверхности.

На рис 16.4 показан пример поверхности, описываемой сплайнами, проходящими через 130 контрольных точек.

*Аналитическая модель* — это описание графического объекта математическими выражениями (алгебраическими, дифференциальными, тригонометрическими уравнениями и неравенствами, системами уравнений и т. д.).

Особенностью аналитической модели является описание сложных по форме гладких и непрерывных поверхностей без применения аппроксимации и интерполяции, что обеспечивает более точное описание кривых поверхностей.

Из всего многообразия аналитических моделей выделим алгебраические и кинематические.

*Алгебраическая* модель — это описание поверхности или частей поверхностей графического объекта с помощью алгебраических уравнений.

Алгебраическое уравнение представляет собой многочлен с  $m$  переменными, возведенными в степень  $n$ , имеющий одно, несколько или бесконечное число решений — корней.

Алгебраическое описание графического объекта с множеством свойств поверхности и тела объекта имеет следующий общий вид:

$$a_k m^n = 0,$$

где  $a$  — коэффициенты при переменных алгебраического уравнения поверхности, ограничивающей объект, которые могут принимать отрицательные, нулевые и положительные значения, а также могут быть целыми и дробными;  $k$  — текущий номер коэффициента  $a$  от максимального до нулевого;  $m$  — набор переменных  $x, y, z, c, d, t \dots$  уравнения, т.е. свойств объекта;  $n$  — номер высшей степени (порядок уравнения) при переменных, характеризующий сложность свойств.

Для записи модели объекта необходимо определить форму записи членов многочлена алгебраического уравнения с любым числом переменных и любого порядка.

Члены многочленов с одной переменной располагаются в порядке возрастания или убывания ее степени.

Для записи членов многочлена со многими переменными обычно используется лексикографический порядок. Этот способ взят из словарей, где слова расположены в порядке алфавита, т.е. взаимное расположение двух слов определяется их первыми буквами, а если они совпадают, вторыми и т.д.

При лексикографической записи алгебраического многочлена в виде  $F(x_{k-1}, x_{k-2}, x_{k-3}, \dots, x_0)$  один из его членов, стоящий на первом месте, называется высшим членом многочлена.

Сложность (кривизна) поверхности определяется порядком описывающего ее алгебраического уравнения, поэтому для записи членов алгебраического многочлена целесообразно применять сортировку их по степени переменной от высшей к низшей и внутри степенных групп использовать лексикографический порядок. Это позволит, повышая степень уравнения, сохранять порядок расположения его членов от низшей степени к высшей.

Рассмотрим алгебраические уравнения, которые описывают геометрические свойства поверхностей в трехмерном пространстве. Такие уравнения в общем виде имеют три переменные ( $x, y, z$ ) и могут быть любого (кроме нулевого) порядка (степени).

Алгебраическое уравнение 1-го порядка общего вида

$$a_3x + a_2y + a_1z + a_0 = 0$$

описывает простейшую по геометрической форме поверхность — плоскость, которая является бесконечной. Данное уравнение

описывает любое положение плоскости в пространстве, а его коэффициенты определяют ориентацию плоскости (поворот) относительно осей прямоугольной системы координат и смещение (расстояние) ее от начала системы координат по нормали.

Решением этого уравнения являются значения координат  $(x, y, z)$  точек, лежащих на плоскости, число которых бесконечно.

Две плоскости, расположенные в пространстве, могут *сливаться* (т.е. коэффициенты одного уравнения соответственно равны коэффициентам другого уравнения или могут быть приведены к общему множителю или делителю), быть *параллельными* (т.е. отличаются только коэффициенты  $a_0$  их уравнений) и *пересекаться* (при любых других комбинациях коэффициентов уравнений).

Линией пересечения двух плоскостей является прямая, точки которой принадлежат обеим плоскостям. Найти значения точек линии пересечения двух плоскостей можно решением системы их уравнений. Число таких решений бесконечно.

При пересечении трех плоскостей получают точку, принадлежащую этим плоскостям. Для определения точки пересечения трех плоскостей необходимо решить систему, состоящую из трех уравнений этих плоскостей. Решение такой системы единственное.

Пересечением плоскостей в пространстве можно построить бесконечное число граничных тел, а затем описать их.

Рассмотрим описание куба (рис. 16.5) с центром, размещенным в начале системы координат, и размером ребра 100 мм. Так как куб имеет шесть граней, необходимо составить систему из шести уравнений плоскостей:

$a_3x + 50 = 0$  — уравнение левой грани куба, отстоящей влево по оси  $X$  от начала системы координат на 50 мм, с вершинами 1, 2, 3, 4;

$a_3x - 50 = 0$  — уравнение правой грани куба, отстоящей вправо по оси  $X$  от начала системы координат на 50 мм, с вершинами 5, 6, 7, 8;

$a_2y - 50 = 0$  — уравнение передней грани куба, находящейся ближе к нам по оси  $Y$  от начала системы координат на 50 мм, с вершинами 1, 5, 8, 4;

$a_2y + 50 = 0$  — уравнение задней грани куба, находящейся дальше от нас по оси  $Y$  от начала системы координат на 50 мм, с вершинами 2, 6, 7, 3;

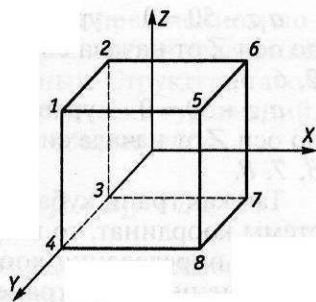


Рис. 16.5



$a_1z - 50 = 0$  — уравнение верхней грани куба, отстоящей вверх по оси  $Z$  от начала системы координат на 50 мм, с вершинами 1, 2, 6, 5;

$a_1z + 50 = 0$  — уравнение нижней грани куба, отстоящей вниз по оси  $Z$  от начала системы координат на 50 мм, с вершинами 4, 3, 7, 8.

Так как грани куба расположены параллельно плоскостям системы координат, то в приведенных уравнениях  $a_3 = a_2 = a_1 = 1$ .

Для определения координат вершины 1, которая образуется пересечением трех граней с вершинами 1, 2, 3, 4; 1, 5, 8, 4 и 1, 2, 6, 5, необходимо решить следующую систему уравнений:

$$a_3x + 50 = 0;$$

$$a_2y - 50 = 0;$$

$$a_1z - 50 = 0.$$

Получим координаты вершины 1 (-50, 50, 50). Аналогично определим координаты всех остальных вершин куба.

Далее найдем 12 ребер куба, которые выделим по вершинам: 1-2, 2-6, 6-5, 5-1, 1-4, 2-3, 6-7, 5-8, 4-3, 3-7, 7-8, 8-4.

Для определения любой точки ребра необходимо решить систему уравнений двух плоскостей, которые образуют это ребро. Например, для ребра 1-2 (грани 1, 2, 3, 4 и 1, 2, 6, 5) это следующие уравнения:

$$a_3x + 50 = 0;$$

$$a_1z - 50 = 0.$$

При фиксированных значениях  $x = -50$  и  $z = 50$  значение  $y$  может быть любым в промежутке от вершины 1 до вершины 2 ( $-50 < y < 50$ ). Например, точка с координатами (-50, 30, 50) находится на ребре 1-2.

Для определения любой точки грани необходимо в уравнение грани подставить значения переменных  $x$ ,  $y$ ,  $z$  в соответствующих пределах. Например, все точки верхней грани с вершинами 1, 2, 6, 5, уравнение которой  $a_1z - 50 = 0$ , будут иметь значение  $z = 50$ , а  $x$  и  $y$  при этом могут иметь значения от -50 до 50.

Таким образом, описание геометрической модели куба с размером ребра 100 мм и с центром в начале системы координат будет иметь следующий вид:

$$a_3x + 50 = 0; a_3x - 50 = 0; a_2y - 50 = 0; a_2y + 50 = 0;$$

$$a_1z - 50 = 0; a_1z + 50 = 0; a_3 + a_2 + a_1 = 1,$$

где  $-50 < x < 50$ ;  $-50 < y < 50$ ;  $-50 < z < 50$ .

В компьютерной алгебраической модели в определенном порядке записывают числовые значения коэффициентов уравнений и числовые значения ограничений переменных. Структура такой записи определяется порядком записи алгебраических уравнений.

Алгебраическое уравнение *2-го порядка общего вида*

$$a_9x^2 + a_8y^2 + a_7z^2 + a_6xy + a_5xz + a_4yz + a_3x + a_2y + a_1z = 0$$

описывает поверхность 2-го порядка, размещенную в любой точке пространства, произвольно ориентированную в прямоугольной системе координат и имеющую определенный размер.

Если расположить центр симметрии поверхности 2-го порядка в начале системы координат таким образом, чтобы ее оси симметрии совпадали с осями системы координат, то отдельные коэффициенты такого алгебраического уравнения будут иметь значения  $-1$ ,  $0$  и  $1$  и оно будет называться *приведенным*. Комбинируя значения коэффициентов  $(-1, 0, 1)$ , можно получить поверхности семи типов: пару плоскостей, сферические, цилиндрические, конические, гиперболические, параболические и мнимые.

Комбинируя значения формообразующих коэффициентов алгебраического уравнения 2-го порядка, можно получить 28 подтипов (инвариантов) поверхностей 2-го порядка, среди которых имеются мнимые поверхности (т.е. алгебраические уравнения которых не имеют действительных решений).

Две поверхности в пространстве могут касаться, пересекаться, не касаться и не пересекаться. В первом случае система двух уравнений 2-го порядка будет иметь единственное решение (поверхности имеют одну общую точку), во втором случае — множество решений (имеется множество общих точек, лежащих на кривой линии, описываемой уравнениями от 2-го до 4-го порядка), а в третьем — решения не имеется (нет общих точек).

Алгебраические уравнения, начиная с 3-го порядка, принято называть уравнениями *высшего порядка*. Это обусловлено тем, что уравнения 1-го и 2-го порядков имеют аналитические решения, а уравнения высших порядков имеют только частные решения в радикалах и в общем случае требуют применения числовых методов решений.

С повышением порядка алгебраического уравнения растет число его членов. В табл. 16.1 показано число членов алгебраического уравнения общего вида до 10-го порядка. С возрастанием порядка алгебраического уравнения возрастают многообразие и сложность геометрической конфигурации поверхностей.

Произвольно задавая значения коэффициентов алгебраического уравнения любого порядка, можно получать фантастические формы, однако можно попасть и в область мнимых поверх-

Степень алгебраического уравнения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число коэффициентов уравнения	4	10	20	35	56	84	120	165	220	286

ностей, поэтому следует создавать библиотеки типов реальных поверхностей для каждого порядка уравнений.

Число типов и подтипов поверхностей любого порядка можно определить с помощью теории инвариантов (определителей высших порядков) и доказать, что оно конечно. Отметим, что это число резко возрастает по мере увеличения порядка уравнения. Так как эти поверхности рассматриваются в прямоугольной системе координат, то они имеют определенную симметрию относительно ее осей.

На практике бывает интересно не только описать какую-либо сложную поверхность, но и задать различные дополнительные (негеометрические) свойства (цвет, плотность, вязкость и др.) в любой ее точке, а также сохранить непрерывность изменения этих свойств по всей поверхности.

Функциональные зависимости между геометрической формой и другими свойствами поверхности могут быть линейными, квадратичными, алгебраическими высших порядков и любыми другими, в том числе трансцендентными.

Простейшую квадратичную зависимость, например для цвета (или для другого свойства), можно ввести в уравнение 2-го порядка для 4-й переменной  $c$ :

$$a_{14}x^2 + a_{13}y^2 + a_{12}z^2 + a_{11}xy + a_{10}xz + a_9yz + a_8xc + a_7yc + a_6zc + a_5x + a_4y + a_3z + a_2c^2 + a_1c + a_0 = 0.$$

Для определения геометрической формы поверхности зададим  $c = 0$  и решим уравнение с тремя переменными  $x, y, z$ .

Для определения значения цвета надо сгруппировать члены при переменной  $c$ , считая переменные  $x, y, z$  константами:

$$a_2c^2 + (a_8x + a_7y + a_6z + a_1)c + (a_{14}x^2 + a_{13}y^2 + a_{12}z^2 + a_{11}xy + a_{10}xz + a_9yz + a_5x + a_4y + a_3z + a_0) = 0.$$

Задавая числовые значения координат для каждой точки поверхности, получим значение, которое преобразуем в номер цвета.

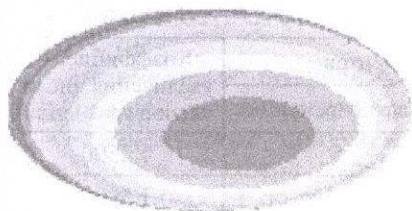


Рис. 16.6

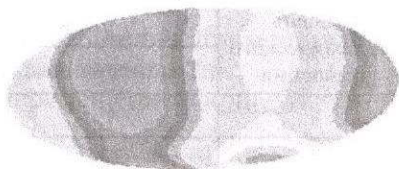


Рис. 16.7

Окраска эллипсоида с квадратичной зависимостью показана на рис. 16.6.

Окраска поверхности 2-го порядка с применением трансцендентной функции цвета вида

$$C(x, y, z) = \sum_{i=1}^n a_i \cos^i(x) + b_i \sin^i(y)$$

показана на рис. 16.7.

На рис. 16.8 показана поверхность 4-го порядка, окрашенная с применением функции градиентного шума.

Добавление одной переменной в алгебраическое уравнение позволяет описать какое-либо свойство поверхности, например цвет, при незначительном увеличении объема записи.

При повышении степени уравнения число его членов возрастает в лексографическом порядке.

При увеличении числа переменных число коэффициентов увеличивается в зависимости от общего их числа до добавления переменных и по мере повышения степени, но не более чем в 2 раза (табл. 16.2).



Рис. 16.8

Степень алгебраического уравнения	Число коэффициентов		Коэффициент увеличения числа членов уравнения
	Три переменные	Четыре переменные	
1	4	5	1,2500
2	10	15	1,5000
3	20	33	1,6500
4	35	59	1,6857
5	56	96	1,7142
6	84	146	1,7380
7	120	211	1,7583
8	165	293	1,7757
9	220	394	1,7909
10	286	516	1,8041

*Кинематическая* модель — это описание графического объекта кинематическим способом с использованием уравнений образующих и направляющих линий. Некоторые кинематические модели называют твердотельными.

При кинематическом способе образования поверхность рассматривается как непрерывная совокупность последовательных положений некоторых линий, перемещающихся в пространстве по определенному закону. Такая линия, называемая *образующей*, может оставаться неизменной или изменять форму. Закон перемещения образующей определяется посредством задания семейства некоторых линий — *направляющих*, по которым скользит образующая. Кроме направляющих (их может быть одна, две или более) могут быть заданы дополнительные условия, уточняющие закон перемещения образующей.

Точка, принадлежащая поверхности, располагается на образующей, что позволяет однозначно ответить, принадлежит ли точка пространства данной поверхности.

Совокупность элементов поверхности, которая позволяет построить любую ее точку, называется *опредлителем* поверхности. Чаще всего определитель поверхности состоит из проекций образующей и направляющих.

Для наглядности изображения поверхности на эюре принято показывать ее очерк полностью или частично на плоскостях проекций. Под *очерком* поверхности понимается линия, ограничивающая контур видимой ее части при проецировании этой поверхности на некоторую плоскость.

В зависимости от вида образующей различают следующие поверхности:

- *линейчатые*, получаемые перемещением прямолинейной образующей, — цилиндрическая, коническая и др.;

- *нелинейчатые*, получаемые перемещением криволинейной образующей, — сфера, параболоид и др.

В зависимости от закона движения образующей различают следующие поверхности:

- *вращения* (образующая поверхность вращается вокруг некоторой оси) — круговые, цилиндрические, конические, сфера, тор и др.;

- *винтовые* (образующая совершает винтовое движение) — поверхности винтов, шнеков и др.;

- *торсовые* (образующая перемещается, оставаясь касательной к некоторой пространственной кривой);

- *с плоскостями параллелизма* (образующая перемещается, оставаясь все время параллельной некоторой плоскости, называемой плоскостью параллелизма) — поверхности цилиндроида, коноида и др.

Важным свойством поверхности является возможность или невозможность развертывания ее в плоскость. Соответственно различают поверхности *развертывающиеся*, т. е. совмещающиеся с плоскостью всеми своими точками без разрывов и складок, и *неразвертывающиеся*. К первым относятся линейчатые поверхности: цилиндрические, призматические, конические, пирамидальные и торсовые.

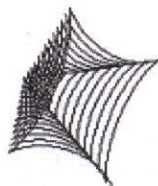
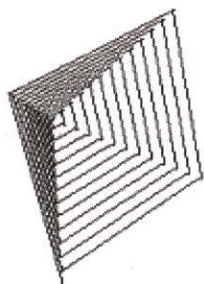
Для формирования описания нелинейчатых поверхностей в качестве образующей линии конструируют составную кривую — обвод.

*Обводом* называется линия, составленная из дуг кривых выбранного вида, которые в стыковых точках имеют определенный порядок соприкосновения.

В инженерной практике в качестве составляющих обводов обычно используют отрезки прямых и дуги кривых 2-го и 3-го порядка. Порядок соприкосновения составляющих в стыковых точках определяет порядок гладкости обвода. Если смежные составляющие имеют в стыковых точках общие касательные, то такая составная линия называется обводом 1-го порядка гладкости. Составная линия представляет собой обвод 2-го порядка гладкости, если график изменения кривизны по ее длине непрерывный, а ломаная — обвод нулевого порядка гладкости.

Разработано множество способов конструирования обводов.

Изменяя коэффициенты уравнений образующих и направляющих в кинематических моделях, можно конструировать сложные по форме технические поверхности. На рис. 16.9, а, в показаны примеры таких поверхностей, изображенных с редким ша-



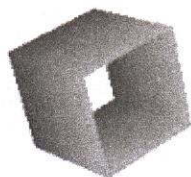
*a*



*б*



*в*



*г*

Рис. 16.9

гом. На рис. 16.9, б, г изображены эти же поверхности при нормальной визуализации.

## Контрольные вопросы

1. Назовите основные виды геометрических моделей.
2. Что имеется общего у растровых и точечных моделей и чем они отличаются?
3. Какое свойство алгебраических уравнений используется для описания геометрических поверхностей?
4. Как с помощью сплайнов можно описать геометрическую поверхность сложной формы?
5. Что такое негеометрические свойства графического объекта в алгебраических моделях?
6. Какая модель называется кинематической и какой принцип описания заложен в этой модели?

### 16.4. Преобразование графических примитивов и геометрических моделей

При геометрическом конструировании сложных объектов необходимо осуществлять различные преобразования графических примитивов: перенос и поворот их в пространстве, масштабирование, визуализацию и изменение формы.

*Перенос точки в пространстве* осуществляется посредством передвижения ее параллельно осям прямоугольной системы координат.

Для перемещения точки в пространстве достаточно задать приращения координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Формулы переноса имеют следующий вид:

$$x_d = x + \Delta x; y_d = y + \Delta y; z_d = z + \Delta z,$$

где  $x$ ,  $y$ ,  $z$  — координаты прежнего положения точки;  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  — приращения координат;  $x_d$ ,  $y_d$ ,  $z_d$  — координаты нового положения точки.

Эти формулы используются для переноса растровых, точечных и каркасных моделей, так как во всех этих моделях осуществляется перемещение точек.

Для переноса аналитических моделей преобразовывают коэффициенты при переменных аналитических выражений. Подставляя новые значения переменных (вычисляемые по формулам переноса) в аналитические выражения, получим новые значения коэффициентов их переменных. Например, при перемещении плоскости вида  $5x + 7y - 20z + 40 = 0$  в новую точку пространства, отстоящую на расстояние  $\Delta x = -10$ ,  $\Delta y = 20$  и  $\Delta z = 5$ , получим следующее новое уравнение:  $5(x - 10) + 7(y + 20) - 20(z + 5) = 0$ , или  $5x + 7y - 20z + 30 = 0$ .



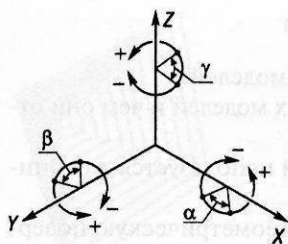


Рис. 16.10

Перемещение в пространстве не изменяет ориентации поверхности, ее масштабы и форму.

*Поворот точки в пространстве* осуществляется вокруг осей в плоскостях, перпендикулярных оси вращения, по окружности с радиусом, равным расстоянию от точки до оси вращения.

Поворот линии или поверхности в пространстве означает вращение всех точек, принадлежащих данному графическому объекту, вокруг выбранной оси. Каждая точка графического объекта вращается по окружности со своим радиусом. Угол поворота задается в градусах или радианах. Вращением вокруг осей прямоугольной системы координат можно достичь любой ориентации графического объекта в пространстве, для чего достаточно выполнить поворот вокруг двух любых ее осей.

Направления вращения графических объектов вокруг осей прямоугольной системы координат показаны на рис. 16.10. При указанном положении осей положительное направление вращения осуществляется против часовой стрелки.

Вывод формул для вычисления координат аналитических моделей графических объектов (как и в случае переноса точки) осуществляется посредством подстановки формул вращения точки в уравнения поверхности и вычисления новых значений коэффициентов этих уравнений через прежние коэффициенты и значения углов поворота.

В отличие от переноса, когда можно задавать одновременно перемещение точки по всем трем осям, повороты точки осуществляются последовательно вокруг каждой выбранной оси.

Поворот вокруг оси  $X$  точки с координатами  $x, y, z$  определяется формулами:

$$x_r = x;$$

$$y_r = y \cos \alpha - z \sin \alpha;$$

$$z_r = y \sin \alpha + z \cos \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол поворота точки вокруг оси  $X$ ;  $x_r, y_r, z_r$  — координаты повернутой точки.

Поворот плоскости вида  $a_3x + a_2y + a_1z + a_0 = 0$  вокруг оси  $X$  на угол  $\alpha$  приведет к следующему изменению значений коэффициентов уравнения плоскости:

$$a_{3r} = a_3;$$

$$a_{2r} = a_2 \cos \alpha + a_1 \sin \alpha;$$

$$a_{1r} = -a_2 \sin \alpha + a_1 \cos \alpha;$$

$$a_{0r} = a_0.$$

Поворот вокруг оси  $Y$  точки с координатами  $(x, y, z)$  определяется формулами:

$$x_r = x \cos \beta + z \sin \beta;$$

$$y_r = y;$$

$$z_r = -x \sin \beta + z \cos \beta,$$

где  $\beta$  — угол поворота точки вокруг оси  $Y$ ;  $x_r, y_r, z_r$  — координаты повернутой точки.

Поворот плоскости вида  $a_3x + a_2y + a_1z + a_0 = 0$  вокруг оси  $Y$  на угол  $\beta$  приведет к следующему изменению значений коэффициентов уравнения плоскости:

$$a_{3r} = a_3 \cos \beta + a_1 \sin \beta;$$

$$a_{2r} = a_2;$$

$$a_{1r} = -a_3 \sin \beta + a_1 \cos \beta;$$

$$a_{0r} = a_0.$$

Поворот вокруг оси  $Z$  точки с координатами  $(x, y, z)$  определяется формулами:

$$x_r = x \cos \gamma + y \sin \gamma;$$

$$y_r = x \sin \gamma + y \cos \gamma;$$

$$z_r = z,$$

где  $\gamma$  — угол поворота вокруг оси  $Z$ ;  $x_r, y_r, z_r$  — координаты повернутой точки.

Поворот плоскости вида  $a_3x + a_2y + a_1z + a_0 = 0$  вокруг оси  $Z$  на угол  $\gamma$  приведет к следующему изменению значений коэффициентов уравнения плоскости:

$$a_{3r} = a_3 \cos \gamma + a_2 \sin \gamma;$$

$$a_{2r} = -a_3 \sin \gamma + a_2 \cos \gamma;$$

$$a_{1r} = a_1;$$

$$a_{0r} = a_0.$$

Подставляя формулы поворота точки в алгебраические уравнения поверхностей, можно получить формулы преобразования коэффициентов алгебраических уравнений любых порядков.

Выведенные формулы будут справедливы для описания вращения поверхностей вокруг осей прямоугольной системы координат (при этом центр вращения находится в начале системы координат). В случае если требуется вращать объект вокруг оси, произвольно расположенной в пространстве, необходимо ось его вращения совместить с осью системы координат посредством переноса и поворота, а после выполнения вращения вернуть ее в прежнее положение. Практически это делается следующим образом. В объекте выбирается точка, лежащая на оси вращения, которая переносится в начало системы координат. Затем на оси вращения выбирается вторая точка, которая вращением совмещается с выбранной осью системы координат. После выполнения заданного поворота объекта ось его вращения возвращают в первоначальное положение, последовательно поворачивая и перенося ось объекта.

Данный способ поворота в пространстве не изменяет местоположение поверхности, ее масштаб и форму.

*Масштабирование* — это увеличение или уменьшение размеров объекта в определенное число раз по отношению к оригиналу. Масштаб записывается в виде отношения двух чисел, в котором оригинал всегда представлен единицей, а масштабированный объект — любым числом больше единицы ( $M$ ), в том числе и дробным. Масштаб увеличения записывается в виде  $M : 1$ , а масштаб уменьшения — в виде  $1 : M$ .

Масштабирование всегда осуществляется относительно какой-либо точки — центра масштабирования. В прямоугольной системе координат это означает увеличение или уменьшение координат точек в определенное число раз по отношению к началу данной системы координат.

Равномерным является масштабирование, одинаковое по всем трем осям системы координат. Равномерное масштабирование не изменяет форму симметричного объекта, если центр масштабирования совпадает с центром симметрии, а изменяет только размер объекта.

При неравномерном масштабировании, т. е. при разном масштабе по осям системы координат, изменяется форма объекта, однако в этом случае не изменяется тип объекта, а образуется его подтип.

Например, при масштабировании сферы с центром, расположенным в начале системы координат, только по одной оси системы координат получается двухосный эллипсоид, а по двум с разными масштабами — трехосный. Эти поверхности одного типа — сферические, однако они разных подтипов.

Общепринятое масштабирование относится к линейным преобразованиям, однако если число масштаба заменить функцией,

то масштабирование будет нелинейным, что приведет к изменению типа поверхности.

Формулы масштаба увеличения для точки имеют вид

$$x_m = xm_x; y_m = ym_y; z_m = zm_z,$$

а формулы масштаба уменьшения можно записать в виде

$$k_x = \frac{1}{m_x}; k_y = \frac{1}{m_y}; k_z = \frac{1}{m_z};$$

$$x_k = xk_x; y_k = yk_y; z_k = zk_z,$$

где  $x_m, y_m, z_m$  — новые координаты масштабированной точки;  $x, y, z$  — первоначальные координаты точки;  $m_x, m_y, m_z$  — соответственно значения масштаба увеличения по осям;  $k_x, k_y, k_z$  — соответственно значения масштаба уменьшения по осям.

Масштабирование точки при увеличении масштаба приводит к удалению ее от начала системы координат, а при уменьшении — к приближению к началу системы координат.

Подстановкой получают формулы масштабирования для коэффициентов уравнения поверхности, учитывая, что в уравнении общего вида коэффициенты обратно пропорциональны коэффициентам приведенного уравнения. Это означает, что при масштабировании поверхности, описанной алгебраическим уравнением общего вида, числа масштабов при вычислении значений коэффициентов этого уравнения меняются местами по сравнению с вычислением координат точки. Уменьшение значений коэффициентов алгебраического уравнения общего вида обуславливает увеличение размеров объекта, а их увеличение — уменьшение его размеров.

Масштабирование плоскости с любой ориентацией, расположенной в начале системы координат, не имеет смысла, так как нормаль плоскости равна нулю. Если нормаль имеет какое-либо числовое значение, то увеличение масштаба плоскости в соответствии с уравнениями:

$$a_{3m} = a_3k_x; a_{2m} = a_2k_y;$$

$$a_{1m} = a_1k_z; a_{0m} = a_0$$

удаляет ее от начала системы координат, а уменьшение масштаба плоскости в соответствии с уравнениями:

$$a_{3k} = a_3m_x; a_{2k} = a_2m_y;$$

$$a_{1k} = a_1m_z; a_{0k} = a_0$$

приближает ее к началу системы координат. При этом не изменяется ориентация плоскости в пространстве, так как при масш-

табировании сохраняются соотношения коэффициентов  $a_3$ ,  $a_2$ ,  $a_1$  ее уравнения, а изменяется только значение коэффициента  $a_0$ , который определяет значение нормали плоскости.

### Контрольные вопросы

1. Для чего производятся преобразования геометрических примитивов?
2. Какой из видов преобразования геометрических примитивов является алгоритмически наиболее сложным и почему?
3. Что необходимо учитывать при выполнении поворотов и масштабирования и как влияют повороты и масштабирование на форму поверхности?
4. Можно ли методом подстановок получить формулы преобразования коэффициентов алгебраического уравнения 27-й степени?
5. Какую геометрическую информацию содержат коэффициенты алгебраических уравнений 1-го, 2-го и высших порядков?

## 16.5. Визуализация

Визуализация — это одна из наиболее сложных проблем компьютерной графики.

Визуализация предусматривает процесс преобразования компьютерной модели в изображение на экране дисплея или на бумаге с обеспечением необходимой точности воспроизведения, с удалением невидимых линий, с выполнением разрезов, сечений, показом освещения и нанесением теней, а также поясняющей текстовой и графической информации.

Чтобы отобразить трехмерную модель, сформированную в процессе моделирования в памяти компьютера, необходимо преобразовать ее в двумерную модель (видеомодель), а затем в страницу отображения с соответствующим разрешением изображения и таблицей цветов.

На практике при визуализации в основном используются два метода проецирования:

- параллельное ортогональное проецирование, наиболее подходящее для технического конструирования, так как не искажает размеры объектов при отображении на плоском экране;
- центральное проецирование, обеспечивающее при визуализации реалистических сцен на плоский экран эффект глубины этих сцен за счет изменения реальных размеров объектов в зависимости от глубины расположения их в сцене.

При отображении могут использоваться различные методы проецирования и могут быть получены различные типы и виды изображений (рис. 16.11).



Рис. 16.11

**Параллельное ортогональное проецирование** — это отображение объекта на плоском экране параллельными лучами, приходящими из бесконечно удаленной точки, перпендикулярно экрану (рис. 16.12).

**Центральное проецирование** — это отображение объекта на плоском экране лучами, приходящими из определенной точки пространства (точки зрения), и центральным лучом, перпендикулярным плоскости экрана (рис. 16.13).

**Моноизображение** — это представление на одной странице изображения объекта при рассматривании его одним глазом.

**Стереоизображение** — это представление на двух страницах изображения объекта при рассматривании его двумя глазами (слева и справа) и построение для каждого глаза своей страницы изображения объекта.

**Контурное изображение** — это отображение объекта в виде контурных (очерковых граничных) линий, т. е. изображение, представляющее внешние очертания объекта без отображения линий пересечения его элементов.

**Каркасное изображение** — это отображение объекта в виде каркаса, составленного из соединенных отрезков прямых линий, лежащих на его поверхности.

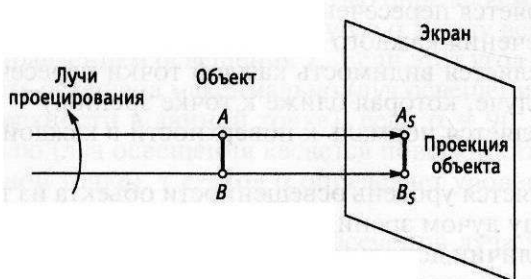


Рис. 16.12

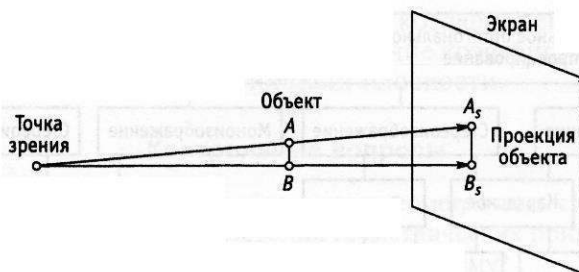


Рис. 16.13

*Изображение без удаления невидимых частей* — это отображение всех элементов объекта (линий пересечения, вершин, любой его стороны) вне зависимости от расположения их в пространстве.

*Изображение с удалением невидимых частей* — это отображение только тех элементов объекта (или их частей), которые видны наблюдателю.

*Видовое изображение* — это полутоновое отображение объекта в виде точек, лежащих на его поверхности и окрашенных с учетом уровня освещения каждой точки в зависимости от расположения нормали поверхности (в данной точке) по отношению к линии света.

*Изображение с тенями* — это видовое изображение с использованием нескольких источников освещения и одной точки рассматривания.

Приведем общий алгоритм визуализации.

1. Определяется положение точки зрения в пространстве.
2. Определяется положение и дискретное разрешение (число пикселей по горизонтали и вертикали) экрана проецирования. (Объект проецирования, как правило, располагается между точкой зрения и экраном.)
3. Проводятся прямые лучи из точки зрения к каждому пикселу экрана.
4. Проверяется пересечение каждым лучом объекта и наличие точек пересечения каждого луча с объектом.
5. Определяется видимость каждой точки пересечения. (Видна точка на луче, которая ближе к точке зрения.)
6. Определяется нормаль к поверхности в каждой точке пересечения.
7. Вычисляется уровень освещенности объекта из точки зрения по углу между лучом зрения и нормалью.
8. При наличии дополнительных источников освещения определяются углы между лучами освещения из каждого такого источника, вычисляется уровень освещенности от каждого источника

и определяется суммарный уровень освещенности объекта в данной точке.

9. Так как тени образуются при расположении источников освещения вне точки зрения и строятся в виде равномерно освещенного экрана вне изображения объекта, определяется зона освещения каждым источником, а затем суммируется освещенность в тех зонах, где происходит наложение теней.

Процесс визуализации связан с большим количеством вычислений, которое растет с увеличением разрешения экрана, поэтому создаются алгоритмы с элементами оптимизации процесса визуализации.

**Визуализация алгебраических поверхностей 2-го порядка.** Рассмотрим методы и алгоритмы построения реалистических пиксельных отображений пространственных объектов на экране при центральном проецировании.

В отличие от методов построения каркасных изображений на экране, где для ускорения процесса используется вывод изображения отрезками прямых линий, для окраски освещенных поверхностей необходим пиксельный вывод изображений, а следовательно, и вычисление значений каждого пиксела отображаемой поверхности.

Значение пиксела выражается полутонами цвета. Число полутонов для одного чистого цвета определяет цветовую разрешающую способность изображения.

Цветовая разрешающая способность устанавливается аппаратными средствами и реализуется программными средствами путем отображения объемных тел на плоском экране с установленных точки зрения и точек освещения.

Приведем алгоритм метода окраски освещенных поверхностей.

1. Из точки зрения  $v_p(x, y, z)$  (рис. 16.14) проводим луч, попадающий через визуализируемую поверхность на экран проецирования в точку  $s_p(x, z)$ . При этом на поверхности 2-го порядка получаем две точки: ближнюю к наблюдателю  $p_n(x, y, z)$  и дальнюю  $p_f(x, y, z)$ .

2. В точке пересечения с поверхностью определяем вектор нормали  $N$  к ближней точке. Вычисляем угол  $\alpha$  между вектором нормали  $N$  и направлением освещения  $L$ . Если этот угол равен нулю, то поверхность освещена максимально (луч освещения перпендикулярен поверхности в данной точке); если  $\alpha = 90^\circ$ , то освещение равно нулю (луч освещения касается поверхности и скользит по ней в данной точке), т. е. угол  $\alpha$  определяет уровень освещенности.

3. Находим координаты точки пересечения луча зрения с экраном проецирования  $s_p(x, z)$ .

4. Вычисляем экранные координаты пиксела.



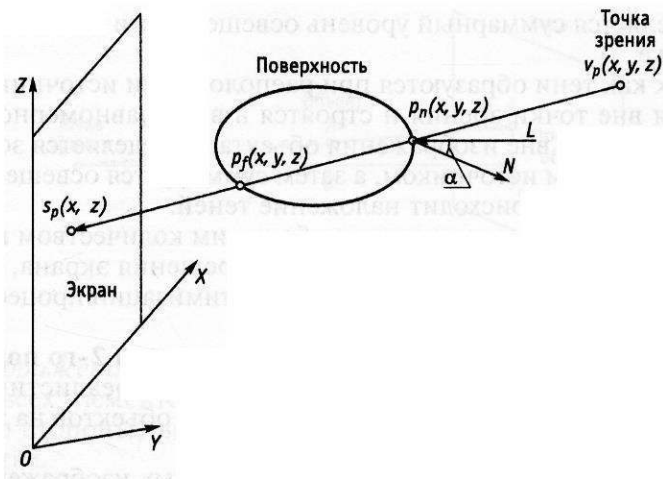


Рис. 16.14

5. Присваиваем пикселу номер цвета (полутона освещения).
6. Выводим пиксел на экран.
7. Начинаем сканирование поверхности с точки выбора (рис. 16.15), идем влево, затем вправо с переходом на строку вверх-вниз, определяем в цикле все проекции точек поверхности и получаем на экране окрашенную освещенную поверхность.

Приведем математическое описание рассмотренного метода.

Визуализируем поверхность 2-го порядка, уравнение которой имеет следующий общий вид:

$$a_9x^2 + a_8y^2 + a_7z^2 + a_6xy + a_5xz + a_4yz + a_3x + a_2y + a_1z + a_0 = 0. \quad (16.1)$$

Уравнение луча, проведенного через две точки в пространстве, имеет вид

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{z-z_1}{z_2-z_1}. \quad (16.2)$$

Сканирование луча осуществляется от точки зрения к экрану, проходя через поверхность, и начинается с точки выбора поверхности.

Размер шагов визуализации при решении математических уравнений вычисляется следующим образом. Например, разрешающая способность изображения равна  $800 \times 600$ . Физический размер пиксела на экране размером  $256 \times 192$  мм (14") по оси  $X$  равен 0,32 мм, по оси  $Z$  равен 0,32 мм.

Примем текущие значения координат, мм:

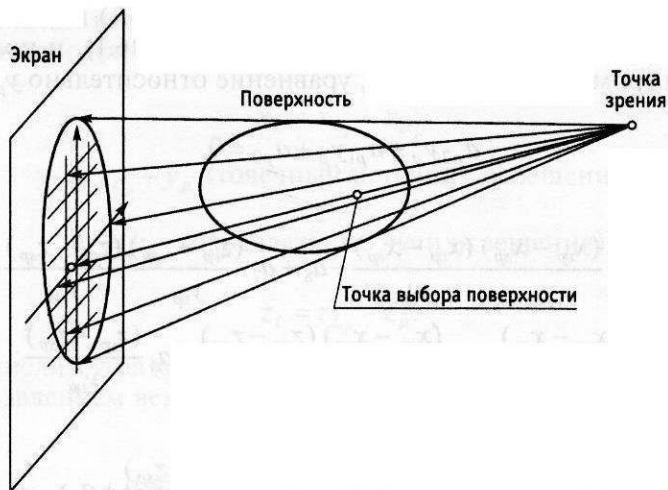


Рис. 16.15

- пиксела на экране ( $x_{sp}$  — по ширине,  $z_{sp}$  — по высоте);
- точки, лежащей на поверхности ( $x_p$  — по ширине объема,  $y_p$  — по глубине объема,  $z_p$  — по высоте объема).

Изменяя текущее экранное значение пиксела по  $x_{pix}$  от 0 до 799, а по  $z_{pix}$  от 0 до 599, вычислим координаты точек, лежащих на экране и на поверхности.

Определим координату  $x$  точки пересечения луча проецирования с поверхностью:

$$x_{sp} = x_{pix} \cdot 0,32.$$

В уравнение (16.2) подставим  $x_{sp}$  и выразим  $x_p$  через  $y_p$ :

$$x_p = \frac{(y_p - y_{vp})(x_{sp} - x_{vp})}{y_{vp}} + x_{vp}. \quad (16.3)$$

Найдем координату  $z$  точки пересечения луча проецирования с поверхностью (необходимо инвертировать экранную систему в координатную систему пространства по высоте, так как начало экранной системы в левом верхнем углу экрана, а начало пространственной системы в левом нижнем углу пространства):

$$z_{sp} = (599 - z_{pix}) \cdot 0,32.$$

В уравнение (16.2) подставим  $z_{sp}$  и выразим  $z_p$  через  $y_p$ :

$$z_p = \frac{(y_p - y_{vp})(z_{sp} - z_{vp})}{y_{vp}} + z_{vp}. \quad (16.4)$$

Решим систему, состоящую из уравнений (16.1) и (16.2), подставив выражения (16.3) и (16.4) в уравнение (16.1), и получим, опуская громоздкие выкладки, уравнение относительно  $y_p$ :

$$a_{p2}y_p^2 + a_{p1}y_p + a_{p0} = 0, \quad (16.5)$$

где

$$a_{p2} = a_9 \frac{(x_{up} - x_{sp})(x_{up} - x_{sp})}{y_{up} y_{up}} + a_8 + a_7 \frac{(z_{up} - z_{sp})(z_{up} - z_{sp})}{y_{up} y_{up}} +$$

$$+ a_6 \frac{(x_{up} - x_{sp})}{y_{up}} + a_5 \frac{(x_{up} - x_{sp})(z_{up} - z_{sp})}{y_{up} y_{up}} + a_4 \frac{(z_{up} - z_{sp})}{y_{up}};$$

$$a_{p1} = a_9 \cdot 2 \cdot x_{sp} \frac{(x_{up} - x_{sp})}{y_{up}} + a_7 \cdot 2 \cdot z_{sp} \frac{(z_{up} - z_{sp})}{y_{up}} + a_6 x_{sp} +$$

$$+ a_5 (z_{sp} \frac{(x_{up} - x_{sp})}{y_{up}} + x_{sp} \frac{(z_{up} - z_{sp})}{y_{up}}) + a_4 z_{sp} + a_3 \frac{(x_{up} - x_{sp})}{y_{up}} +$$

$$+ a_2 + a_1 \frac{(z_{up} - z_{sp})}{y_{up}};$$

$$a_{p0} = a_9 x_{sp} x_{sp} + a_7 z_{sp} z_{sp} + a_3 x_{sp} + a_1 z_{sp} + a_0.$$

Решим уравнение (16.5) для нахождения  $y_p$ :

$$b = \frac{-a_{p1}}{2a_{p2}}; \quad c = \frac{a_{p0}}{a_{p2}}; \quad q = \sqrt{bb - c}; \quad q = \sqrt{q};$$

$$y_{pn} = b + q \text{ (ближняя точка поверхности);}$$

$$y_{pf} = b - q \text{ (дальняя точка поверхности).}$$

Подставив значение  $y_p$  в формулу (16.3), найдем  $x_p$ .

Подставив значение  $y_p$  в формулу (16.4), найдем  $z_p$ .

Дифференцируя уравнение (16.1) и подставляя координаты точки поверхности  $p(x, y, z)$ , найдем координаты нормали  $N(x, y, z)$ :

$$x_N = 2a_9 x_p + a_6 y_p + a_5 z_p + a_3;$$

$$y_N = 2a_8 y_p + a_6 x_p + a_4 z_p + a_2;$$

$$z_N = 2a_7 z_p + a_5 x_p + a_4 y_p + a_1.$$

Вычислим координаты вектора освещенности  $L(x, y, z)$  в точке поверхности  $p(x, y, z)$  и относительно точки освещения  $L_p(x, y, z)$ :

$$x_L = x_{L_p} - x_p;$$

$$y_L = y_{L_p} - y_p \text{ (точечный источник освещения);}$$

$$y_L = y_{L_p} \text{ (параллельные лучи освещения);}$$

$$z_L = z_{L_p} - z_p.$$

Вычислим угол между нормалью поверхности в точке  $N(x, y, z)$  и направлением вектора освещенности  $L(x, y, z)$ :

$$\alpha = \frac{(x_L x_N + y_L y_N + z_L z_N)}{\sqrt{(x_L^2 + y_L^2 + z_L^2)(x_N^2 + y_N^2 + z_N^2)}}.$$

Значение  $\alpha$  изменяется в пределах от 0 до 1. Номер полутона цвета  $hcol$  определяется по формуле

$$hcol = a \times dcol + bcol,$$

где  $dcol$  — число полутонов цвета;  $bcol$  — начальный номер цвета в цветовой таблице.

Для вывода пиксела на экран используется стандартная функция

$$putpixel(x_{sp}, z_{sp}, hcol).$$

Если в ходе сканирования при вычислении  $y_p$  по уравнению (16.5) подкоренное выражение приобретает отрицательное значение, это означает, что луч сканирования выходит за пределы поверхности. В этом случае изменяется направление сканирования.

Приведем порядок сканирования для минимизации числа проходов.

1. От точки выбора поверхности проходим по строке вправо до границы поверхности.

2. От точки выбора поверхности проходим по строке влево до границы поверхности.

3. Определяем середину между границами поверхности.

4. От середины между границами поверхности переходим на одну строку вверх и повторяем процедуры прохода вправо и влево.

5. Повторяем процедуры 1...4 до нахождения верхней границы поверхности.

6. От точки выбора поверхности переходим на одну строку вниз и повторяем процедуры 1 ... 4 при движении вниз до нахождения нижней границы поверхности.

**Определение видимости.** При проецировании пространственной сцены на экран получают плоскую картину, состоящую из отдельных точек. Каждая точка — это пиксел. В пространстве на луче, приходящем в этот пиксел, может быть расположено множество точек, из которых только одна видна и выводится на экран. Нахождение таких точек и является задачей определения видимости объектов в пространственной сцене при ее проецировании на экран.

Видимость определяется из конкретной точки пространства, которая называется точкой зрения.

Если лучи проецирования непараллельны и размер рассматриваемого объекта соизмерим с расстоянием, с которого этот объект рассматривается, то проецирование называется центральным.

Если точка зрения удалена в бесконечность и лучи проецирования практически параллельны, то такое проецирование называется параллельным.

Видимой считается единственная точка из лежащих на луче проецирования, которая расположена ближе всех к точке зрения и дальше всех от экрана (объект расположен между экраном и точкой зрения).

Приведем алгоритм определения видимости для сцены, содержащей несколько объектов.

1. Определить глубины точек, лежащих на различных поверхностях и на одном луче проецирования.

2. Сравнить эти глубины и выбрать точку, ближайшую к точке зрения.

3. Определить уровень освещенности выбранной точки.

4. Вывести точки на экран.

5. Осуществить последовательно сканирование по всем поверхностям всех объектов, начиная с точки выбора поверхности, и проверить все точки поверхностей (рис. 16.16).

6. Проверить видимость точек поверхности сравнением значений их глубин с глубинами точек всех других поверхностей (см. процедуры 1, 2), начиная с точки выбора поверхности. Если точка видна, выполнить процедуры 3, 4, если не видна, перейти к проверке следующей точки.

7. Закончить процесс определения видимости проверкой последней точки последней поверхности.

При последовательном процессе определения видимости поверхностей сначала выводятся на экран видимые точки первой поверхности, затем второй и так до последней поверхности.

**Построение теней.** Построение теней на экране требуется в случае освещения сцены несколькими источниками света. Это

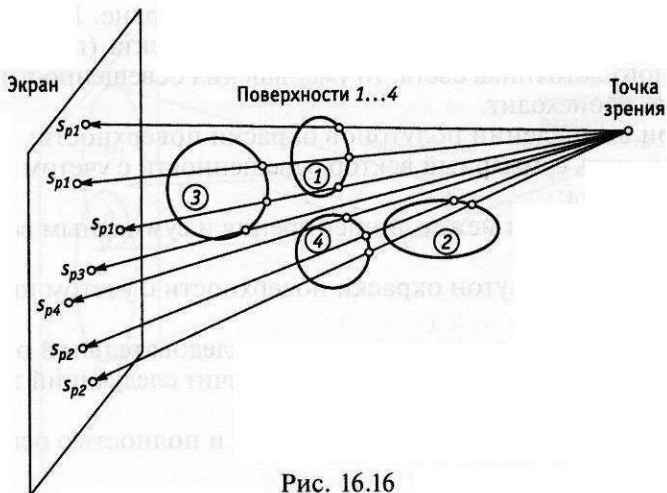


Рис. 16.16

могут быть источники параллельного света различных направлений, точечные источники света, расположенные в различных точках пространства, а также комбинации параллельных и точечных источников освещения.

При таком освещении сцены необходимо вычислять освещенность фона экрана и объектов от каждого источника освещения и суммировать результаты. Причем суммарную конечную освещенность фона или объекта необходимо привести к разрешающей способности цветового адаптера графической станции. Иначе могут возникнуть световые и цветовые искажения.

Алгоритмически построение теней сводится к построению фона экрана с учетом задержки света от источников света объектами, расположенными на пути его движения к экрану.

Первоначально экран черный, т. е. на него свет не попадает. При всех последующих построениях освещенность возрастает в серых полутонах (если объекты непрозрачны), и суммарная освещенность не должна превышать максимальной светимости экрана, иначе тени начнут пропадать.

Приведем алгоритм визуализации пространственной сцены с тенями.

1. Для каждого источника света:

- осветить полностью экран в зависимости от интенсивности источника света;
- провести лучи света из источника света к экрану через объекты, начиная с точек выбора поверхностей объектов;
- если луч света задерживается полностью или частично поверхностью объекта (при полупрозрачных объектах), в этой точке экрана следует вычесть интенсивность источника света из полутонов

освещенности и получить тень объекта на экране. Если в точке экрана уже имеется тень от предыдущего объекта (поверхности) для данного источника света, то уменьшения освещенности в этом случае не происходит.

2. При вычислении полутонов окраски поверхности:

- вычислить суммарный вектор освещенности с учетом всех источников света;
- определить угол между линией зрения и суммарным вектором освещенности;
- определить полутоном окраски поверхности с учетом цвета поверхности.

Выполнение этого алгоритма при последовательной обработке и выводе изображения на экран обеспечит следующий зрительный эффект.

1. Включается первый источник света и полностью освещается экран.

2. Появляется тень на экране от первой поверхности первого объекта сцены.

3. Появляются последовательно все тени от всех поверхностей всех объектов сцены.

4. Включается следующий источник света, освещенность растет, появляются новые тени.

5. Включаются остальные источники света.

6. После отображения теней от последнего источника света начинают появляться изображения объектов со своей окраской и освещенностью от различных источников света.

Рассмотрим еще один алгоритм построения теней.

1. Просуммировать интенсивности всех источников света и осветить экран.

2. Провести лучи света из источника света к экрану через объекты, начиная с точек выбора поверхностей объекта.

3. Если луч света задерживается полностью или частично поверхностью объекта (при полупрозрачных объектах), то в этой точке экрана следует вычесть интенсивность источника света в полутонах освещенности и получить тень объекта на экране.

4. Перебрать все источники света и получить тени и полутени на экране.

На рис. 16.17 показана схема построения теней от поверхности пространственного объекта на экране.

Рассмотренный алгоритм позволяет получить эффект одновременного включения всех источников света и последовательного появления на экране теней и полутеней от объектов сцены.

Из двух приведенных алгоритмов второй более «быстрый», так как не требует запоминания и проверки полутонов освещенности экрана при определении тени.

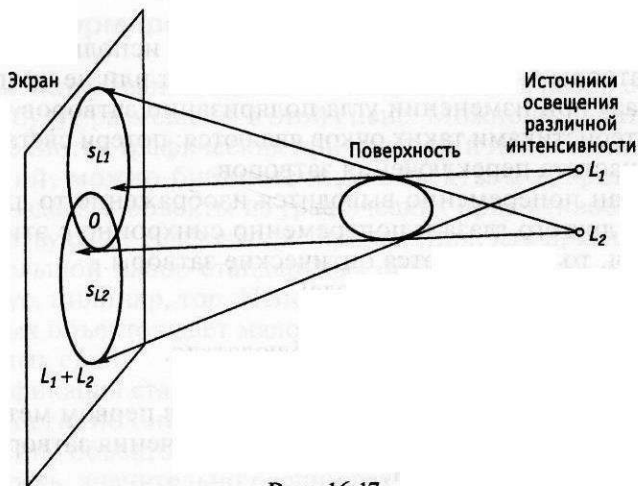


Рис. 16.17

**Стереозображения.** Как известно, для получения стереозображения необходимо иметь два изображения, каждое для своего глаза, и затем каждому глазу представлять только его изображение.

Существуют различные устройства разделения изображений для глаз. Такими устройствами, например, могут быть механические перегородки, тубусы, а также оптические клинья. Однако их использование противоестественно для работы глаз, так как при близком расположении экрана от наблюдателя они заставляют перестраивать угол зрения, а значит, утомляют глаза.

Наибольшее распространение получили системы с двумя изображениями, представленными на одном экране.

Рассмотрим два основных метода представления стереозображений на экране: одновременное и попеременное.

В первом методе используется цветовое разделение изображений для каждого глаза, а во втором, временное.

Для цветового разделения изображений используются очки с парами цветов: красный — синий; красный — зеленый; оранжевый — синий. При расчете и построении изображений применяется чересстрочная развертка, т.е. сдвиг каждого изображения на одну строку по отношению к другому.

Преимущества данного метода:

- считается только один полный кадр вместо двух;
- изменение положения наблюдателя не устраняет стереоэффект.

Недостатки метода:

- разрешение изображения падает вдвое;
- требуются идеальная чистота очковых фильтров и подбор цвета дисплея, иначе «пробиваются» цвета фильтров;



- изображение черно-белое.

Для временного разделения изображений используются оптические затворы — очки, которые пропускают или не пропускают свет к глазу при изменении угла поляризации затворов на  $90^\circ$ .

Характеристиками таких очков являются: потери света, напряжение и частота переключения затворов.

На экран попеременно выводится изображение то для одного, то для другого глаза и попеременно синхронно с этим то закрываются, то открываются оптические затворы.

Преимущества данного метода:

- полное цветное изображение;
- некритичность положения наблюдателя.

Недостатки метода:

- вдвое большее время вычислений, чем в первом методе;
- необходимость синхронизации переключения затворов с выводом кадров изображений;
- необходимость использования дисплеев с вдвое большей по сравнению с моноизображением частотой вывода кадров изображений;
- необходимость организации четырех страниц памяти подготовки кадров вместо двух в первом методе;
- очки с оптическими затворами должны иметь проводную или радиосвязь, а также по разным причинам затворы не обеспечивают полного непропускания света, что приводит к подглядыванию глазом не своего изображения, а следовательно, искажению стереоэффекта.

Для увеличения качества стереоэффекта используют средства слежения за положением глаз наблюдателя. Обычно такие средства размещаются на очках или на шлеме наблюдателя и передают информацию в компьютер. Изображение кадра для каждого глаза считается с учетом параметров размещения глаза в пространстве, что позволяет наблюдателю принять любое положение относительно сцены и осматривать сцену произвольным образом.

### Контрольные вопросы

1. Какие виды проецирования вы знаете и для чего они используются?
2. Зачем требуется визуализация в реальном времени?
3. Чем различается визуализация точки, плоскости и поверхности?
4. Что такое освещенность поверхности и как она определяется?
5. Как видимость связана с освещенностью?
6. Что такое суммарная освещенность при построении теней?
7. Какие требования должны выполняться при стереовизуализации?

## 16.6. Формирование описаний объектов и сцен

При моделировании сцены необходимо иметь набор объектов, которые будут размещены в этой сцене. Можно выбирать объекты из библиотек графических приложений и использовать их без изменений, можно библиотечные объекты модифицировать, можно создавать объекты из графических примитивов.

Существующие графические приложения, как правило, содержат небольшой набор стандартных объектов, таких, как сфера, куб, конус, цилиндр, тор. Непосредственное использование библиотечных объектов дает мало возможностей для создания многообразных сцен.

Модификация стандартных объектов позволяет расширить эти возможности, но они также ограничены.

Создание объектов из примитивов, таких, как точка, линия и поверхность, значительно расширяет круг получаемых объектов сложной формы, однако этот процесс часто бывает длительным и трудоемким. Например, формирование растровых и точечных моделей требует ручной записи множества пикселей, вокселей и точек. Формирование каркасных моделей снижает число задаваемых точек (линий), однако для обеспечения высокой точности описания кривых поверхностей их требуется достаточно много. Аналитические модели в определенной степени решают проблему записи поверхностей, так как число коэффициентов уравнений даже высших порядков невелико. Однако в настоящее время графические приложения не содержат библиотек алгебраических поверхностей высших порядков, которые позволяют создать огромное число любых поверхностей.

Процесс формирования объектов из примитивов сводится к масштабированию, перемещению, повороту примитивов и выбору частей примитивов, которые принадлежат объекту.

Алгебраические модели позволяют формировать из примитивов сложные поверхности и иметь при этом компактные описания. Например, из шести плоскостей можно составить описание куба. Для этого достаточно перемножить уравнения этих шести плоскостей ( $x = 5$ ,  $x = -5$ ,  $y = 5$ ,  $y = -5$ ,  $z = 5$ ,  $z = -5$ ) и получить следующее уравнение 6-го порядка:

$$x^2 y^2 z^2 - 25x^2 y^2 - 25x^2 z^2 - 25y^2 z^2 + 625x^2 + 625y^2 + 625z^2 - 15625 = 0,$$

которое описывает куб с размером ребра 5 единиц, показанный на рис. 16.18. При этом достаточно поставить точку выбора в центре куба, чтобы получить привычный куб, не выходя за пределы данного куба (выбор частей плоскостей).

#### Уравнение 4-го порядка

$$x^4 + y^4 + 2x^2y^2 + 4x^3 - 2x^2 - 2y^2 - 8x = 0,$$

полученное перемножением коэффициентов двух уравнений круговых цилиндров 2-го порядка, смещенных в пространстве, описывает довольно интересную поверхность, приведенную на рис. 16.19.

Процесс формирования сцены заключается в размещении и ориентации объектов в этой сцене.

*Анимация* — это создание кадров видеофильма, в котором отображаются динамичные объекты (перемещающиеся, поворачивающиеся, изменяющиеся).

При моделировании анимации записываются формулы движений и изменений объектов для каждого кадра видеофильма.

Перемещения, повороты и масштабирование объекта моделируются с использованием соответствующих формул одновременно для всех примитивов, составляющих данный объект.

Изменение формы объекта необходимо при формировании библиотек объектов, проектировании сложных конструкций, моделировании сложных процессов, в которых происходят геометрические изменения (взрывы, разрушения, столкновения, деформация и т. п.).

Изменение формы объектов достигается следующими способами:

- перемещением и поворотом в пространстве отдельных примитивов, составляющих объект;
- неравномерным масштабированием объекта из произвольно выбранной точки;

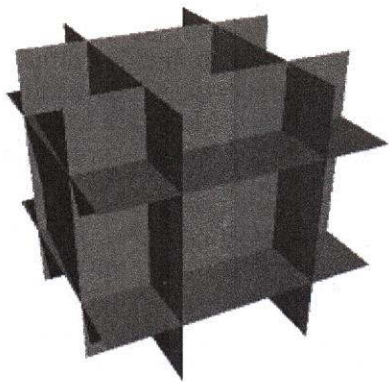


Рис. 16.18

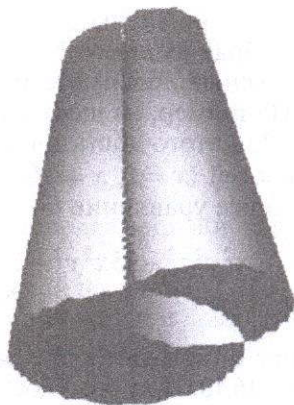


Рис. 16.19

• изменением значений параметров аналитических выражений геометрических моделей (для алгебраических поверхностей изменением значений коэффициентов алгебраических уравнений).

При изменении формы объекта необходимо решать следующие задачи:

- определять линии пересечения поверхностей;
- осуществлять сшивку и сглаживание поверхностей.

Для растровых, точечных и каркасных моделей изменения объектов сводятся к операциям с элементами растра и точками, которые перемещаются в пространстве. В этом случае необходимо решить задачу заполнения разрывов в поверхности объекта (которые могут возникнуть) дополнительными элементами растра или точками (для точечных и каркасных моделей).

Для аналитических моделей, например алгебраических, произвольные изменения коэффициентов могут привести к получению мнимых поверхностей (отсутствию решений уравнений). В этом случае необходим аналитический или визуальный контроль выполнения изменений.

Если для растровых, точечных и каркасных моделей результат изменения объекта можно предположить, то в случае изменения отдельных коэффициентов алгебраических уравнений высших порядков полученный результат может быть неожиданным.

Приведем пример, как изменение коэффициентов алгебраического уравнения 4-го порядка влияет на изменение формы поверхности.

Возьмем поверхность 4-го порядка в виде двух пересекающихся сфер (рис. 16.20), уравнение которой

$$x^4 + y^4 + z^4 + 2x^2y^2 + 2x^2z^2 - 2y^2z^2 - 10x^2 - 6y^2 - 6z^2 + 9 = 0$$

было получено методом объединения двух сфер.

Будем изменять значения коэффициентов этого уравнения. Если коэффициент при  $y^2$ , равный  $-6$ , изменить на  $-34$ , получим сглаженную поверхность, где исчезла резкая граница при пересечении сфер (рис. 16.21). Если коэффициент при  $y^2$ , равный  $-6$ , изменить на  $+15$ , получим разрыв поверхности и искажение форм сфер (рис. 16.22). Если коэффициент при  $x^2y^2$ , равный  $2$ , изменить на  $-3$ , получим поверхность, показанную на рис. 16.23.

Так как все изменения формы объекта происходят в прямоугольной системе координат, наиболее понятные изменения можно проводить по осям системы координат, при необходимости переносить объект в начало системы координат и потом поворачивая его для совмещения направления изменений с осями системы координат, а затем возвращая в прежнее положение.

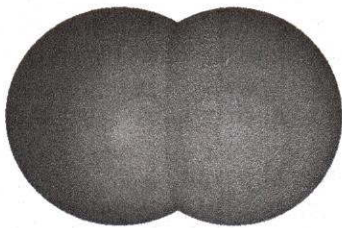


Рис. 16.20

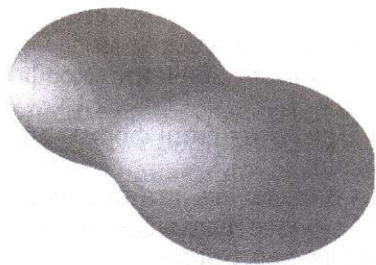


Рис. 16.21



Рис. 16.22

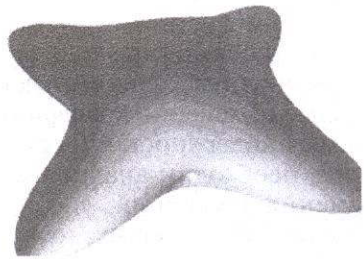


Рис. 16.23

### Контрольные вопросы

1. С помощью каких операций можно формировать графические объекты и сцены?
2. Что такое сшивка и сглаживание и почему они необходимы при описании графических объектов?
3. Отличаются ли операции изменения формы объекта для различных геометрических моделей?
4. Как можно изменять форму поверхностей алгебраических моделей?

### 16.7. Сравнение моделей графических объектов

При моделировании графических объектов и сцен немаловажное значение имеют объемы записей моделей в компьютер и сложность алгоритмов их обработки. Особенно важно это в случае передачи моделей по сетям связи в реальном времени, поэтому в таблицу сравнения (табл. 16.3) включают объемы записей изображений, получаемые с применением стандартов сжатия графических изображений.

Наименование модели	Объем записи, байт	Коэффициент сжатия
2D, пиксельная, стандарт TIFF	6 140 776	1
2D, пиксельная, стандарт JPEG	79 443	77,2980
Растровая (3D, бинарная)	28 311 552 000 000	0,000002184
Точечная	1 633 597 200	0,003759
Векторная	74 352	82,5905
Алгебраическая	60	102 346,2666

Приведем пример. Для сравнения различных видов моделей были подсчитаны значения объемов необходимой памяти для каждой модели в целях записи многоцветного объекта, состоящего из одной поверхности 2-го порядка — окрашенного в цвета радуги двухосного эллипсоида (рис. 16.24) размером  $200 \times 180 \times 180$  мм, размещенного в центре сцены размером  $256 \times 192 \times 192$  мм, шероховатость поверхности которого не должна превышать 0,01 мм.

Данные сравнения приведены в табл. 16.3. При вычислении коэффициента сжатия за единицу был принят объем записи изображения в стандарте TIFF.

На примере эксперимента с одной поверхностью нельзя делать обобщающие выводы, однако можно оценить порядок объемов записей изображений и различных моделей, принимая во внимание, что реальные объекты, как правило, состоят из большого числа примитивов.

Преимущество аналитических моделей перед растровыми, точечными и каркасными заключается в компактной форме описания непрерывных абсолютно тонких и бесконечно точных поверхностей (см. табл. 16.3), однако визуализация их представляет собой довольно сложный и трудоемкий вычислительный процесс.

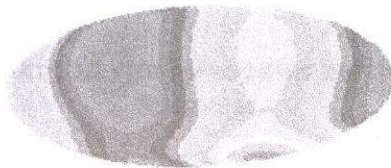


Рис. 16.24

Применение различных эффективных методов вычислительной математики также не гарантирует возможность визуализации таких поверхностей в реальном времени на существующей вычислительной технике. Для этого требуются либо эффективные аппаратные решения (увеличение производительности процессоров, создание специальных геометрических процессоров параллельной обработки частей изображений вплоть до пиксела), либо на определенном этапе преобразование с выбранной точностью аналитической модели в каркасную (векторную), что позволит использовать существующие графические приложения, работающие с этими моделями.

Однако необходимо отметить, что любые преобразования одних моделей в другие должны быть обоснованы, так как, как правило, это ведет к потере информации.

### **Контрольные вопросы**

1. Почему необходимо сжимать записи моделей графических объектов?
2. Что такое коэффициент сжатия?
3. В чем состоит преимущество алгебраических моделей перед другими моделями?
4. Почему в настоящее время алгебраические модели не имеют широкого распространения?

## Глава 17. ИНТЕРАКТИВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

### 17.1. Основные понятия

Вычислительные системы, взаимодействующие с пользователем посредством ввода, обработки и вывода графической информации в ходе решения графических задач, называются *интерактивными графическими системами*. К ним относятся *графические станции* и *персональные компьютеры*.

Графические станции оснащены разнообразным специализированным графическим оборудованием и программным обеспечением, ориентированным на решение графических задач с наибольшей эффективностью.

Графические станции создаются на базе мощных процессоров, они имеют большие объемы оперативной и внешней памяти, их архитектура ориентирована на получение максимальной скорости обработки, визуализации и записи графической информации на различных носителях (бумаге, пленке и т. п.).

Графические станции работают автономно и могут подключаться к местным и глобальным компьютерным сетям.

К графическим станциям можно отнести мощные персональные компьютеры, к которым подключено специальное графическое оборудование (графические экраны, видео- и стереосистемы, графопостроители, сканеры больших форматов, фото- и видеокамеры) и на которых установлены пакеты графических приложений.

К интерактивным графическим системам можно отнести и персональные компьютеры мультимедиа, которые оснащены специальным графическим оборудованием (стереоочками, шлемами виртуальной реальности и т. п.), и обычные персональные компьютеры, на которых установлены графические приложения.

Программное обеспечение интерактивных графических систем (операционные системы, графические приложения) должно быть ориентировано на обработку графической информации в реальном времени.

### 17.2. Архитектура графических вычислительных систем

Вычислительные системы по архитектуре можно подразделить на три вида: с жесткой структурой, с агрегированной структурой и гибридной структурой.



На первом этапе развития вычислительных машин использовались системы с жесткой структурой.

Элементы системы в жесткой структуре нельзя оперативно заменить другими элементами с подобными характеристиками. Все соединения элементов в такой структуре делают максимально короткими и неразъемными, что позволяет снизить массу системы, повысить ее быстродействие и надежность в эксплуатации.

Вычислительные системы с жесткой структурой выполняют узкий круг задач или одну задачу с максимальной эффективностью. Как правило, программное обеспечение в них выполнено аппаратно. Примером таких вычислительных систем является авиационное и космическое бортовое оборудование. Использование вычислительных систем с жесткой структурой целесообразно не в интерактивных многозадачных, а в автоматических однозадачных системах.

В целях обеспечения возможности подключения к компьютеру различных дополнительных устройств, а также для обеспечения взаимозаменяемости любых его агрегатов была разработана агрегированная структура. Однако полностью агрегированная структура, обеспечивающая замену всех элементов системы, оказалась нецелесообразной, поэтому используемые в настоящее время интерактивные графические системы фактически являются гибридными, т. е. имеющими различные доли жесткой и агрегированной структур.

Так как графические станции должны обладать повышенным быстродействием и обрабатывать большие объемы графической информации, то их базовое ядро, которое может содержать много процессоров (включая графические и геометрические процессоры параллельной обработки данных), дополнительные шины передачи графических данных, а также устройства, на которые направляются большие потоки данных (например, накопители), имеют жесткую структуру. При этом часть аппаратуры по вводу и выводу данных, где скорость обмена данными ниже или может появиться необходимость ее замены, выполняется по агрегированной структуре и имеет общую шину с разъемами для подключения различных внешних устройств.

На рис. 17.1 показана упрощенная архитектура графической станции. Ее системный блок построен по жесткой структуре и содержит:

- тактовый генератор, синхронизирующий работу станции;
- центральный процессор, выполняющий арифметические, логические операции и команды управления;
- геометрический процессор 3D, выполняющий масштабирование, перемещение, поворот, изменение формы, визуализацию 3D-объектов, а также операции с векторами, решение уравнений геометрических линий и поверхностей;

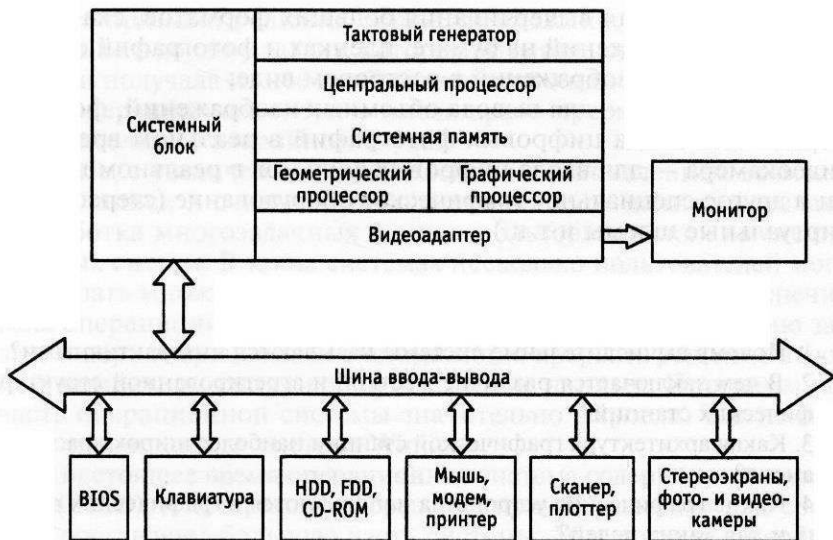


Рис. 17.1

- графический процессор, обрабатывающий 2D-изображения;
- системную память, хранящую оперативные данные операционной системы, процессоров, решаемых задач;
- видеоадаптер, формирующий страницы для вывода на монитор по заданному разрешению и цветовой палитре.

К системному блоку через контроллер подключена шина ввода-вывода. На рис. 17.1 контроллер показан в виде двухсторонней стрелки, которая означает передачу и преобразование данных в обоих направлениях. Контроллер согласует работу различных устройств на физическом уровне (различные напряжения и формы сигналов) и на логическом (разрядность и структуру кодов). На шину ввода-вывода через контроллеры подключаются различные устройства:

- BIOS, обеспечивающее проверку работоспособности элементов станции при ее включении и во время работы, а также ввод и вывод данных внешних устройств;
- клавиатура, обеспечивающая символьный ввод информации и управление с помощью функциональных клавиш;
- дисковые накопители для долговременного хранения информации (HDD, FDD, CD-ROM). Для ускорения обмена данными между системной памятью и жестким диском HDD иногда устанавливают дополнительную прямую шину;
- мышь — указатель на экране монитора, модем — для передачи и приема информации по сетям связи и принтер — для выполнения печати малых форматов;

- плоттер — для вычерчивания больших форматов, сканер — для ввода изображений на бумаге, пленках и фотографий с цифровой записью изображений в растровом виде;
- стереозэкран — для вывода объемных изображений, фотокамера — для ввода цифровых фотографий в реальном времени, видеокамера — для ввода цифровых фильмов в реальном времени и другое специальное графическое оборудование (стереоочки, виртуальные шлемы и т. п.).

### Контрольные вопросы

1. Почему вычислительные системы называются интерактивными?
2. В чем заключается различие жесткой и агрегированной структур графических станций?
3. Какая архитектура графической станции наиболее широко распространена?
4. Какие графические устройства используются в графических станциях и для каких целей?

## 17.3. Программное обеспечение и графические приложения

Для работы вычислительной системы необходимы три основных компонента:

- аппаратные устройства, соединенные друг с другом шинами передачи данных и согласующими устройствами (интерфейсами, контроллерами);
- операционные системы (аппаратные или программные средства для управления работой вычислительной системы);
- прикладные программы.

Для работы аппаратного комплекса необходима управляющая система. Такими управляющими системами и являются операционные системы, развитие которых происходило следующим образом.

Сначала операционные системы создавались под жесткую структуру, и, следовательно, вычислительная система могла решать только одну задачу, которая целиком помещалась в оперативную память. Операционная система строилась на аппаратном уровне и содержала небольшую программную часть.

По мере роста объема решаемых задач (например, графических) возникла необходимость быстрого обмена данными между оперативной памятью и внешними накопителями (магнитными лентами, дисками). Так появилась дисковая операционная система — DOS, у которой имелись новые функции, усложнявшие ее.

Однако принцип решения оставался прежний, т. е. можно было решать только одну задачу, которая вызывала операционную систему и получала из нее необходимые функции управления. При этом операционная система имела право прервать ход решения задачи только в аварийном случае.

Далее, с увеличением быстродействия и появлением возможности записи и считывания больших объемов данных началась разработка многозадачных и многопользовательских вычислительных систем. В таких системах несколько пользователей могли решать множество задач, не мешая друг другу. Это обеспечивала операционная система. Изменился и подход к решению задач: теперь операционная система могла прервать решение в любой момент, сохраняя все необходимые данные. Программная часть операционной системы значительно выросла. Так появилась операционная система Windows.

В настоящее время операционная система содержит и аппаратные (BIOS), и программные средства, причем программные средства составляют большую часть системы. Это связано с необходимостью быстро изменять компоненты операционной системы при замене аппаратных устройств. Работа аппаратных средств согласуется с помощью программных средств — драйверов, которые входят в состав операционной системы. Операционные системы содержат большое число служебных и сервисных программ, в том числе программы связи, программы работы с текстами, графикой и звуком.

Однако, несмотря на богатый сервис операционных систем, основной функцией вычислительного комплекса остается решение прикладных программ.

Необходимо отметить, что прикладные программы обязательно должны быть согласованы с аппаратурой и операционными системами вычислительных комплексов. Попытки создания прикладных программ, работающих с разными типами устройств и видами операционных систем, имеют мало успехов.

Прикладные программы можно подразделить на два вида:

- одиночные задачи, которые создаются и решаются один раз и являются уникальными. Такие задачи часто возникают в научных исследованиях;
- приложения, которые могут решать множество задач в определенной области и часто используются в повседневной деятельности широкого круга пользователей.

К наиболее сложным с точки зрения набора функций и методики решения задач относятся графические приложения. Результатом работы графических приложений могут быть графические документы в моно- и стереоизображении: чертежи, схемы, географические и другие карты, картины, фотографии, видеофильмы.

Графические приложения ориентируются на определенные классы задач:

- автоматизированное проектирование изделий;
- обработка фотографий, видеофильмов;
- моделирование объемных динамических сцен — анимация.

Большинство приложений разрабатывается с трансляцией на различные языки. Основным языком корпоративных международных версий — английский с трансляцией на различные языки мира. Международные графические приложения, используемые в нашей стране, дополняются библиотеками государственных и отраслевых стандартов России.

Графические приложения, как и любой программный продукт, постоянно обновляются и имеют много версий.

Графическое приложение — это объемный дорогостоящий программный продукт, поэтому каждая фирма разрабатывает основное ядро графического приложения и расширяет его по модульному принципу для различных разделов области применения. Например, существуют модули проектирования: механических деталей, печатных плат, базовых конструкций, электрических кабельных соединений и т. д. Все эти и другие модули входят в систему проектирования электронных изделий. Естественно, цена такой вычислительной системы растет по мере увеличения числа модулей. Стоимость программного обеспечения большинства подобных систем превосходит стоимость аппаратуры в десятки раз.

Наибольший интерес при проектировании изделий вызывают графические приложения, ориентированные на сквозное проектирование, которые содержат модули проектирования чертежно-конструкторской документации, технологической документации и анализа инженерных расчетов. Преимущество таких систем — получение полного комплекта документации, необходимого для изготовления изделия.

Сравнить существующие в настоящее время графические приложения по качественным показателям достаточно сложно, так как они ориентированы на определенную аппаратуру, операционные системы и различные классы задач.

При выборе и покупке графического приложения необходимо учитывать множество показателей, основными из которых являются:

- стоимость;
- быстродействие;
- число и вид решаемых задач;
- возможность подключения дополнительных графических устройств;
- открытость системы (возможность наращивания дополнительных аппаратных и программных модулей);

- простота освоения;
- удобство пользования;
- наличие сложных автоматических функций (библиотеки);
- скорость ввода и вывода графической информации;
- совместимость с имеющейся вычислительной техникой;
- возможность работы в компьютерных сетях.

### Контрольные вопросы

1. Каковы основные компоненты вычислительной системы?
2. Для чего предназначены операционные системы?
3. Какие виды прикладных программ вы знаете?
4. В чем заключается особенность графических приложений?
5. Какие основные классы задач решают графические приложения?
6. Каковы основные показатели графических приложений?

## 17.4. Технологии решения графических задач

Технологии использования многообразных графических приложений и их функций приближены к работе инженера, владеющего компьютером, и во многом похожи, хотя и требуют определенной адаптации.

Все приложения имеют базовое ядро и дополняются специфическими модулями для работы в определенной области деятельности. Для базового ядра характерны общепринятые функции работы с компьютером:

- ввод символьной информации и управляющих команд с клавиатуры;
- указание на экране и ввод управляющих команд с помощью мыши;
- работа с файловой системой (копирование, переименование, удаление, перенос и сохранение файлов в определенном месте дисковой памяти);
- вывод на печать содержания экрана;
- запуск и управление решением прикладных программ;
- настройка аппаратных и программных средств системы.

После запуска графического приложения при создании новых файлов необходимо установить параметры его работы, например специальный графический режим, вид и разрешение систем координат, подключить специальные графические библиотеки и т. д. Набор стандартных режимов система устанавливает по умолчанию. Все установленные режимы затем учитываются при записи и сохранении информации в файлах. При запуске файла режимы

работы приложения устанавливаются автоматически по данным этого файла.

В состав приложения входит справочная система, которая вызывается на любом этапе его работы. Она содержит общие сведения о данном приложении, алфавитный и предметный указатели отдельных команд и функций, их описание и примеры применения. Справочная система значительно облегчает освоение технологии приложения.

Многие графические приложения претендуют на выполнение широкого спектра услуг, создавая модули в области автоматизированного проектирования (САД), географических информационных систем (ГИС), систем мультимедиа, однако наибольшие успехи достигаются в одной из выбранных областей применения.

Рассмотрим основные графические технологии на примере наиболее распространенного в России графического приложения AutoCAD. (Детально ознакомиться с возможностями любого графического приложения можно с помощью соответствующих справочных систем, руководств и учебных пособий.)

Программный комплекс AutoCAD ориентирован на разработку проектно-конструкторской документации изделий в машиностроении и наиболее успешно применяется в этом направлении. AutoCAD решает две основные графические задачи:

- построение чертежей в двух измерениях;
- построение чертежей трехмерных моделей.

**Построение чертежа в двух измерениях.** После запуска программы необходимо произвести настройку параметров чертежа (установить систему координат, размер поля и единицы измерения). Для удобства вычерчивания и привязки объектов можно также установить режим «Сетка».

На экране будем иметь свободное поле для вычерчивания графических элементов, в левом нижнем углу — пиктограмму пользовательской системы координат, в центре — перекрестие (прицел), управляемое с клавиатуры и мышью, вверху — стандартные панели инструментов и меню, слева — панели инструментов для вычерчивания и редактирования.

При вычерчивании используются графические примитивы — прямолинейные отрезки, кривые линии и точки.

Построение может осуществляться с использованием клавиатуры и (или) с помощью мыши. Рисование мышью на экране аналогично работе конструктора карандашом на бумаге, однако при этом необходимо выбрать соответствующую команду с клавиатуры или указать ее мышью на панели инструментов. После выбора команды (запуска) в режиме диалога необходимо выполнить все запросы, появляющиеся на экране монитора. Для перехода к

следующей команде необходимо завершить предыдущую или отказать от нее.

**Прямолинейные отрезки** строят (команда LINE) посредством указания начальной и конечной точек прямой. Можно также, не отрывая отрезки друг от друга, создать произвольную ломаную прямую или многоугольник. Для окончания построения отрезка или отрезков необходимо нажать клавишу [Enter]. Для удобства построения прямоугольников имеется команда RECTANG, после вызова которой достаточно отметить две диагональные вершины. Строить правильные многоугольники (POLYGON) можно, задавая число их сторон, размер одной стороны и место размещения. При этом имеется три варианта их задания.

**Вспомогательная линия построения (XLINE)** позволяет решить следующие геометрические задачи:

- восстановить перпендикуляры к двум отрезкам из средних точек, с тем чтобы использовать точку их пересечения в качестве центра окружности;
- провести прямую линию между двумя объектами для визуализации их взаимосвязи;
- показать соответствие между элементами двух проекций одной и той же детали;
- провести вспомогательные линии, с тем чтобы определить точку центра многоугольника, и провести линию через эту точку;
- провести линию через центр объекта, показанного в разрезе, чтобы можно было проставить размер от его центра до кромки.

Вспомогательная линия построения непрерывна и ограничена только рамками экрана. Она остается на всем экране при любом изменении масштаба изображений. После окончания построения чертежа вспомогательные линии можно удалить.

**Луч (RAY)** также является вспомогательной прямой, но он ограничен с одной стороны.

Для построения вспомогательных прямых необходимо указать начальную и дополнительную точки.

**Кривые линии** строятся в виде окружностей (CIRCLE), эллипсов (ELLIPSE) и их частей — дуг (ARC). Для построения окружности необходимо указать ее центр и радиус или диаметр, для эллипса — центр, направление построения, размеры полуосей, для дуг — их начальную и конечную точки или угол. Необходимо помнить, что построение дуг по умолчанию выполняется в направлении против часовой стрелки, либо надо указывать направление построения. AutoCAD предлагает пять способов вычерчивания окружности и 12 способов вычерчивания дуги. Имеется также три способа вычерчивания полного эллипса и его дуги.

Для построения дуги вначале выбирают команду CIRCLE или ELLIPSE, а затем ARC.



С помощью окружностей можно построить объект *кольцо*, заключенный между двумя концентрическими окружностями разных диаметров (DONUT), так как кольцо — это часть плоскости, ограниченная двумя диаметрами. При этом область между диаметрами по умолчанию закрашивается. Для вычерчивания кольца требуется указать внутренний, внешний его диаметры и центр. Кольцо применяется для изображения цилиндрических деталей с отверстиями. Кольцо с внутренним радиусом, равным нулю, является кругом.

**Точки (POINT)** — объекты, которые часто используются как вспомогательные элементы при геометрических построениях. Сначала определяют стиль вычерчивания и размер точек, затем указывают положение точки на поле чертежа или вводят значение в командную строку. Точки часто используют для привязки объектов на поле чертежа.

Используя графические примитивы, можно создавать изображения сложных деталей и изделий.

В AutoCAD имеются средства управления изображением (View), позволяющие настроить режим вывода чертежа на экран, и средство общего вида (Aerial View), позволяющее эффективно настроить масштаб и границы видимого на экране фрагмента чертежа.

При работе с большими чертежами значительную экономию времени обеспечивает возможность сохранения нескольких вариантов настройки — видов. Удобство в работе обеспечивает возможность создания на экране неперекрывающихся видовых экранов, в каждом из которых можно просматривать и редактировать изображение в своих масштабе и границах.

Часто возникает необходимость изменения чертежей по различным причинам, т. е. редактирование чертежа является необходимой частью окончательного его построения. Процедуры редактирования позволяют копировать созданный объект и помещать его в другом месте чертежа вместо повторного вычерчивания, удалять какие-то фрагменты, переносить, поворачивать или изменять масштаб. Чтобы отредактировать объект, его также необходимо выбрать.

Практически все команды редактирования находятся в меню Modify, а их пиктограммы — на панели инструментов редактирования. Имеется два варианта редактирования:

- задать команду, а затем выбрать объекты, с которыми эта команда будет оперировать;
- сначала выбрать объекты, а затем задать команду, которая выполнит однотипные преобразования выбранных объектов.

Выбор объекта осуществляется установкой прицела на его изображении, а после нажатия левой клавиши мыши он рисуется

ся штрихпунктирной линией. После выбора последнего объекта нажимают клавишу [Enter], чем выбор прекращается и запоминается.

После выделения объект можно стереть (ERASE), перенести в другое место (MOVE), скопировать (COPY OBJECT), повернуть (ROTATE), масштабировать (SCALE).

Команда CHANGE позволяет изменять параметры отрезков и окружностей, а также свойства объектов — слой, тип линии, ее масштаб и цвет.

Слои помогают упорядочить чертежи, назначая родственным объектам одинаковые свойства. Каждый слой имеет имя, цвет, тип и толщину линии. Новые слои создаются с помощью диалогового окна *Layer Properties Manager* (Свойство слоя). Когда слой становится текущим, каждый новый объект вычерчивается на этом слое. Можно переместить существующий объект на другой слой.

AutoCAD предлагает расширенный набор инструментов редактирования, предназначенный для комплексных операций как с объектами, так и с группами объектов.

Размеры — важная составляющая большинства чертежей. С помощью размеров создается количественное описание проектируемого изделия с учетом технологических возможностей его изготовления. AutoCAD располагает обширными возможностями для нанесения размеров на подготовленное графическое изображение проектируемого изделия. Русифицированный AutoCAD при нанесении размеров использует государственные и отраслевые стандарты России.

Размер на чертеже — это сложный графический объект, состоящий из выносных и размерных линий, размерных стрелок, размерных чисел и определяющих точек. В компьютере этот процесс нанесения размеров формализован, а для пользователя это процесс творческий, который включает в себя поиск свободного места, определение необходимости указания размеров на разных проекциях чертежа, выбор видов размеров (линейные, радиальные, угловые, координатные), а также размеров и стиля текста.

Доступ к командам для работы с размерами в AutoCAD осуществляется посредством меню и панели инструментов Dimension (Размеры).

**Построение чертежей трехмерных моделей.** В AutoCAD можно создавать три типа моделей трехмерных объектов: *каркасные, поверхностные и твердотельные*. Каркасные модели, напоминающие модели, сделанные из проволоки, не несут информации о поверхностях и объеме реального объекта. Они полезны при создании объектов, которые затем можно преобразовать в поверхностные и твердотельные модели. Поверхностные модели

описывают поверхности, ограничивающие реальные объекты, а твердотельные модели описывают части пространства (объемы), которое занимают реальные объекты.

При работе в трехмерной системе координат необходимо задавать трехмерные координаты графических примитивов. Задавая пространственные отрезки прямых, соединяя их между собой, можно получить каркасную модель. Если контур, лежащий в плоскости, поднимать по прямой, перпендикулярной этой плоскости, можно получить поверхностную модель. Например, поднимая прямоугольник, получают параллелепипед; поднимая окружность, получают цилиндр и т.д. Созданные объекты можно поднимать над плоскостью, с которой начиналось создание объекта, получая при этом объект, перемещенный в пространстве по высоте. Построенные подобным способом модели называются 2,5D-модели, так как они имеют фиксированный шаг движения по высоте.

Поверхностные 3D-модели формируются из плоских граней, соприкасающихся друг с другом, и задаются сетью вершин (иногда называемых узлами) — точек, где ребра граней пересекаются. Эти модели называют также полигональными. Построение сложных кривых поверхностей путем аппроксимации их кусочками плоскостей осуществляется с помощью панели инструментов Surfaces (Поверхности). С помощью команды 3DFACE строят грани, состоящие из трех или четырех ребер. Из граней можно создать многогранную поверхность.

Для формирования твердотельных моделей используют панель инструментов Solids (Тела). Действия при создании твердотельных моделей аналогичны действиям при создании поверхностных моделей. В AutoCAD формируются следующие тела: параллелепипед, шар, цилиндр, конус, клин, тор. На основе этих базовых тел можно создавать сложные тела. Команда EXTRUDE (Выдави) служит для создания тел из замкнутых плоских объектов (профилей). Для выдавливания можно использовать замкнутые полилинии на плоскости, круги, эллипсы, замкнутые сплайновые кривые, кольца и области. При выдавливании профиля боковые грани формируются по умолчанию перпендикулярно поверхности исходного объекта. Однако можно сужать и расширять область профиля по мере выдавливания. Можно выдавливать объект вдоль некоторой направляющей, в качестве которой могут использоваться отрезок, окружность, эллипс, дуга, полилиния, сплайновая кривая.

В трехмерном пространстве можно осуществлять редактирование всех моделей, аналогичное редактированию в двухмерном пространстве.

Визуализация трехмерных моделей выполняется после выбора направления проецирования, причем можно задавать типовые и

произвольные направления. Компоновка трехмерного чертежа осуществляется посредством выбора необходимых его видов. Строить изображения можно без удаления невидимых частей, что происходит достаточно быстро, и с удалением невидимых частей (HIDE), что иногда увеличивает время построения изображения в десятки раз. Можно также использовать центральное и параллельное проецирование. Для более реалистического отображения объектов в AutoCAD предусмотрено моделирование освещения и тонирование изображений трехмерных объектов.

### Контрольные вопросы

1. Какие стандартные технологии являются однотипными для вычислительных систем?
2. Чем отличается работа конструктора на бумаге от его работы на компьютере?
3. Какие графические примитивы используют для построения двухмерного изображения чертежа?
4. Зачем необходимы вспомогательные линии построения?
5. Чем отличаются команды LINE и XLINE?
6. Зачем необходима на чертеже точка?
7. Как построить окружность на экране компьютера?
8. Как осуществляется редактирование чертежа на компьютере?
9. Является ли процесс указания размеров на чертеже автоматическим?
10. Чем различаются между собой каркасные, поверхностные и твердотельные модели?
11. Какие исходные тела формируются в AutoCAD?
12. Аналогичны ли ввод и редактирование двумерных и трехмерных объектов?
13. Почему необходимо выбирать различные направления проецирования при визуализации объектов?
14. Как можно увеличить реалистичность изображения объектов?

## 17.5. Перспективные технологии конструирования объектов сложной формы

Конструирование изделий сложной геометрической формы в современных графических приложениях, где в основном используются векторные модели, весьма трудоемкая задача, требующая много времени и вычислительных ресурсов.

Применение алгебраических моделей высших порядков значительно снижает (см. гл. 16) объемы записи проектируемых объектов в память компьютера.

Перспективные алгебраические модели высших порядков обеспечивают применение новых технологий конструирования поверхностей сложной геометрической формы, основанных на изменении значений коэффициентов алгебраического уравнения.

Рассмотрим эти технологии.

**Модификация коэффициентов.** Это один из методов конструирования поверхностей сложных форм посредством изменения коэффициентов алгебраических уравнений высших порядков. Этот метод позволяет создавать многообразные формы, так как изменять можно любые коэффициенты и каким угодно образом, однако для его практической реализации необходимо провести исследование форм, получаемых при изменении различных коэффициентов.

Метод модификации коэффициентов алгебраического уравнения состоит в плавном последовательном изменении числовых значений каждого из коэффициентов этого уравнения в целях получения новых поверхностей.

Так как переменные в уравнениях высших порядков имеют сложные нелинейные зависимости, то управление формой поверхности посредством изменения даже одного коэффициента такого уравнения может привести к получению неузнаваемого (недействительного) изображения.

Практика показала, что формирование форм поверхностей посредством изменения коэффициентов уравнений включает в себя сложные зависимости, которые неадекватны при переходе от одного коэффициента к другому, от одной поверхности к другой.

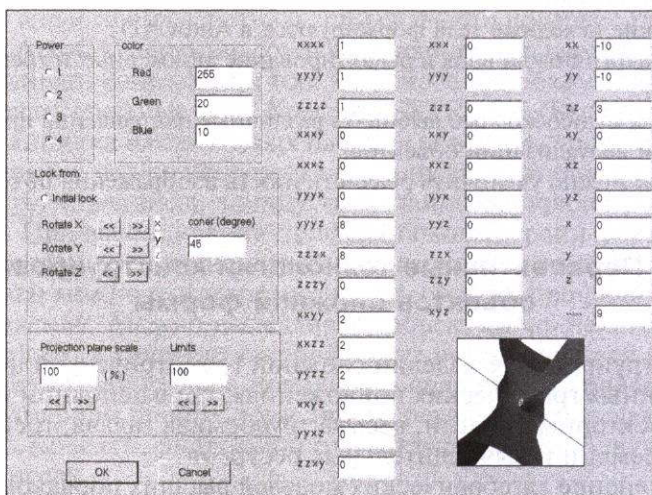


Рис. 17.2

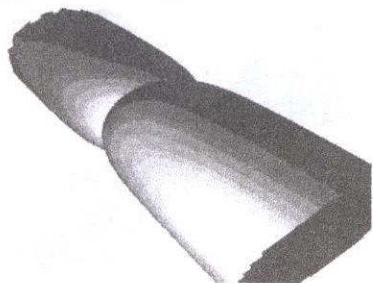


Рис. 17.3

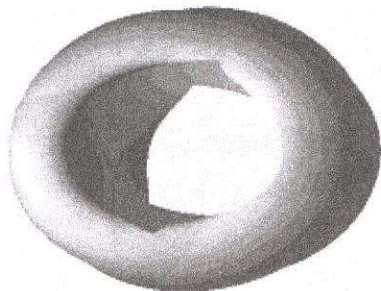


Рис. 17.4

Для исследования влияния значений коэффициентов алгебраических уравнений от 1-го по 4-й порядок была разработана компьютерная программа формирования и визуализации алгебраических поверхностей. Вид панели ввода данных в эту программу представлен на рис. 17.2.

Выбрав порядок поверхности и вводя различные положительные, нулевые или отрицательные числовые десятичные значения коэффициентов соответствующего алгебраического уравнения, получают отображение этой поверхности на экране, которое можно рассматривать с любой стороны, масштабировать, перемещать и вращать вокруг любой оси системы координат.

Рассмотрим примеры модификации коэффициентов алгебраических уравнений с помощью этой программы.

Возьмем поверхность 4-го порядка в виде пересекающихся сфер (см. рис. 16.20), уравнение которой имеет вид

$$x^4 + y^4 + z^4 + 2x^2y^2 + 2x^2z^2 + 2y^2z^2 - 10x^2 - 6y^2 - 6z^2 + 9 = 0.$$

Будем изменять значения коэффициентов исходного уравнения.

Если коэффициент при  $x^4$ , равный 1, изменить на 0, получим новую поверхность 4-го порядка в виде перетянутой трубки (рис. 17.3).

Если коэффициент при  $x^4$ , равный 1, изменить на 4, получим новую поверхность в виде самодельного кольца (рис. 17.4).

Если коэффициент при  $x^2y^2$ , равный 2, изменить на  $-1$ , получим поверхность в виде бабочки (рис. 17.5).

Если коэффициент при  $x^2z^2$ , равный 2, изменить на  $-3$ , получим новую поверхность в виде пропеллера (рис. 17.6).

Если коэффициент при  $x^2z^2$ , равный 2, изменить на  $+12$ , получим поверхность в виде специальной прокладки (рис. 17.7).

Если коэффициент при  $y^2y^2$ , равный 2, изменить на  $-3$ , получим поверхность в виде морской звезды (см. рис. 16.23).

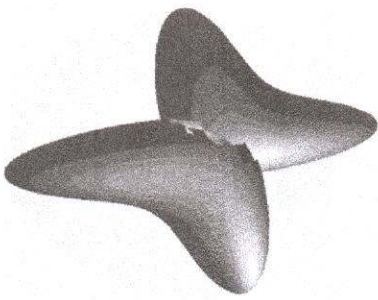


Рис. 17.5

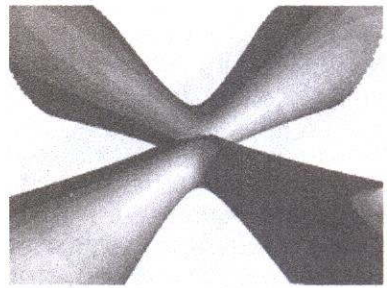


Рис. 17.6

Если коэффициент при  $y^2z^2$ , равный 2, изменить на 11, получим поверхность в виде разорванной сферы (рис. 17.8).

Исследования показали, что переход знака коэффициентов уравнений высоких степеней может привести к образованию новой формы поверхности или ее исчезновению. Изменение значений коэффициентов уравнений низших степеней приводит к сглаживанию формы образованной поверхности и стыковки ее с другими поверхностями.

Изменением коэффициентов при различных переменных можно управлять, изменяя формы поверхности в объеме в направлении осей системы координат.

**Конструирование симметричных поверхностей.** Этот метод основывается на факторе проецирования отдельных геометрических свойств поверхности на коэффициенте уравнения.

Метод заключается в использовании уравнения плоской кривой для формирования тела вращения или цилиндрической поверхности с постоянным сечением сложной формы.

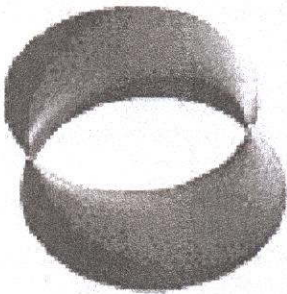


Рис. 17.7

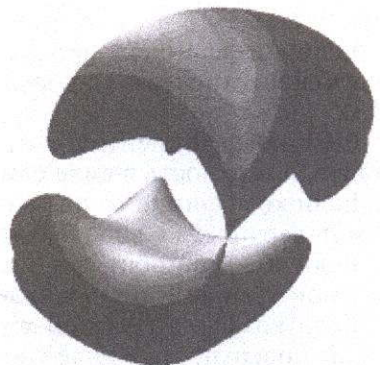


Рис. 17.8

Например, если необходимо сформировать поверхность, вытянутую вдоль оси  $OX$ , в любом сечении которой плоскостью, перпендикулярной этой оси, получается эллипс, необходимо выполнить следующее условие:

$$\begin{aligned} a_{33} = a_{32} = a_{31} = a_{30} = a_{29} = a_{28} = a_{27} = a_{26} = a_{25} = a_{24} = a_{23} = a_{22} = \\ = a_{21} = a_{20} = a_{18} = a_{17} = a_{16} = a_{15} = a_{14} = a_{13} = a_{12} = a_{11} = \\ = a_{10} = a_8 = a_7 = a_5 = a_3 = a_2 = a_1 = 0. \end{aligned}$$

Аналогично записываются условия для поверхностей, вытянутых вдоль двух других осей.

В общем виде уравнение поверхности, вытянутой вдоль оси  $OX$ , имеет вид

$$a_{34}x^4 + a_{19}x^3 + a_9x^2 + a_3x + a_6y^2 + a_4z^2 + a_0 = 0.$$

Для получения сечения окружности необходимо выполнить дополнительное условие  $a_6 = a_4$ .

Для получения ограниченной поверхности коэффициенты  $a_{34}$ ,  $a_6$  и  $a_4$  должны иметь одинаковый знак.

На рис. 17.9 приведен пример такой поверхности — периформа, заданная уравнением  $x^4 + x^3 + y^2 + z^2 = 0$ .

Для образования цилиндрической поверхности с осью, параллельной оси  $OZ$ , необходимо выполнение следующего условия:

$$\begin{aligned} a_{32} = a_{30} = a_{29} = a_{27} = a_{26} = a_{25} = a_{23} = a_{22} = a_{21} = a_{20} = a_{17} = a_{15} = \\ = a_{14} = a_{12} = a_{11} = a_{10} = a_7 = a_5 = a_4 = a_3 = a_1 = 0. \end{aligned}$$

Аналогично записываются условия для поверхностей с осями, параллельными двум другим осям.

В общем виде уравнение цилиндрической поверхности с осью, параллельной оси  $OZ$ , имеет вид

$$\begin{aligned} a_{34}x^4 + a_{33}x^3y + a_{31}x^2y^2 + a_{28}xy^3 + a_{24}y^4 + a_{19}x^3 + a_{18}x^2y + a_{16}xy^2 + \\ + a_{13}y^3 + a_9x^2 + a_8xy + a_6y^2 + a_3x + a_2y + a_0 = 0. \end{aligned}$$

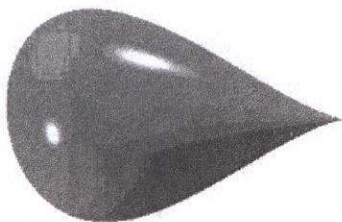


Рис. 17.9

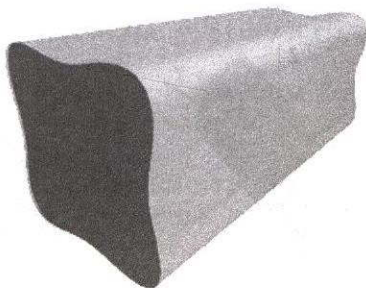


Рис. 17.10



На рис. 17.10 показана цилиндрическая поверхность с осью, параллельной оси  $OZ$ , и сложным постоянным сечением.

Метод конструирования симметричных поверхностей позволяет получить геометрические формы сравнительно узкого диапазона, однако эти формы часто встречаются в технике. Цилиндрические поверхности сложного профиля похожи на трубы сложного профиля, а периформа — на каплю жидкости. В свете изложенного создание библиотек типов и подтипов этих поверхностей является достаточно перспективным.

На рис. 17.11 — 17.13 показаны некоторые поверхности 4-го порядка, которые можно включить в библиотеки и использовать для формирования более сложных объектов на основе технологии объединения поверхностей и описания их комбинации одним алгебраическим уравнением. В отдельных случаях обработка такого уравнения более эффективна, чем обработка системы нескольких уравнений.

**Конструирование сложных поверхностей посредством объединения отдельных поверхностей.** Довольно часто возникает задача создания геометрической формы, включающей в себя две более простые геометрические формы. При этом исходные формы могут пересекаться, не пересекаться, касаться или быть вложены друг в друга.

Поверхности 3-го порядка могут образовываться объединением:

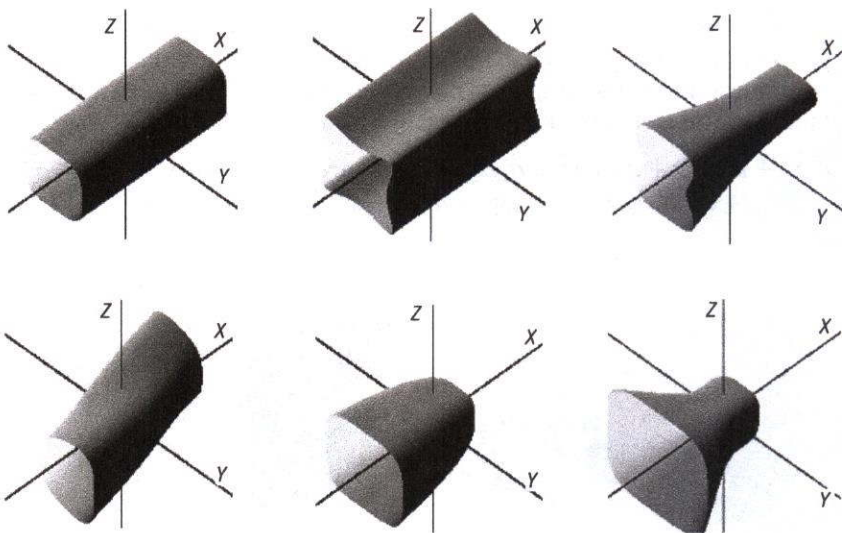


Рис. 17.11

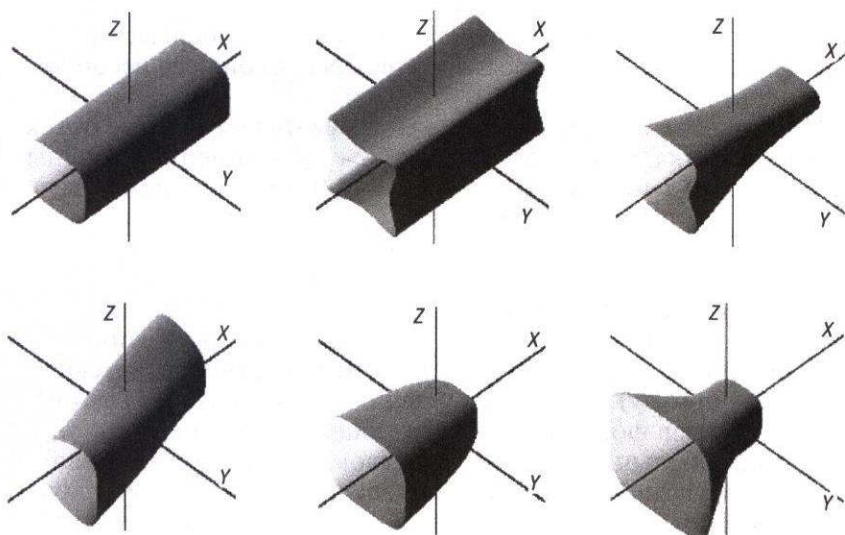


Рис. 17.12

- трех плоскостей;
- плоскости и поверхности 2-го порядка.

Поверхность 4-го порядка может образовываться объединением:

- четырех плоскостей;
- двух плоскостей и поверхности 2-го порядка;
- двух поверхностей 2-го порядка;
- поверхности 3-го порядка и плоскости.

Метод объединения поверхностей заключается в получении нового подтипа поверхностей посредством перемножения уравнений, задающих поверхности более низкого порядка. При этом в качестве исходных могут выступать типы, подтипы и виды поверхностей.

Пусть заданы две исходные поверхности  $f(x, y, z) = 0$  и  $g(x, y, z) = 0$ .

Перемножив уравнения  $f(x, y, z)$  и  $g(x, y, z)$ , получим новое уравнение  $h(x, y, z)$ , степень которого равна сумме степеней исходных уравнений.

Этот метод позволяет строить новые поверхности по уже известным поверхностям. Так как при этом исходные поверхности могут иметь различные конфигурацию, размеры, расположение и ориентацию в любой точке пространства, то данный метод обеспечивает получение большого числа разнообразных форм (типов и подтипов) поверхностей. Например, поверхность, состо-

ящая из двух цилиндрических поверхностей, может содержать пересекающиеся соосные, непересекающиеся соосные, вложенные, пересекающиеся несоосные и непересекающиеся несоосные цилиндры.

Представляется целесообразным разделять полученные объекты 4-го порядка на объекты, полученные объединением соосных поверхностей 2-го порядка и несоосных. Например, при объединении двух цилиндров их оси могут быть совпадающими, параллельными, пересекающимися и скрещивающимися прямыми.

В случае объединения цилиндров с совпадающими и параллельными осями формула результирующей поверхности сохраняется относительно простой при удачном выборе осей координат (иными словами, существует вид такой поверхности, имеющей простую формулу). Также при угле  $90^\circ$  между осями объединенных цилиндров формула результирующей поверхности остается простой с небольшим числом радикалов. Однако при произвольном угле пересечения их осей невозможно выбрать систему координат, обеспечивающую представление объединяемой геометрической формы простой формулой, т. е. в этом случае все виды поверхности задаются достаточно сложной формулой с большим числом радикалов.

Достоинством данного метода конструирования поверхностей является формирование сложной поверхности из известных геометрически понятных поверхностей.

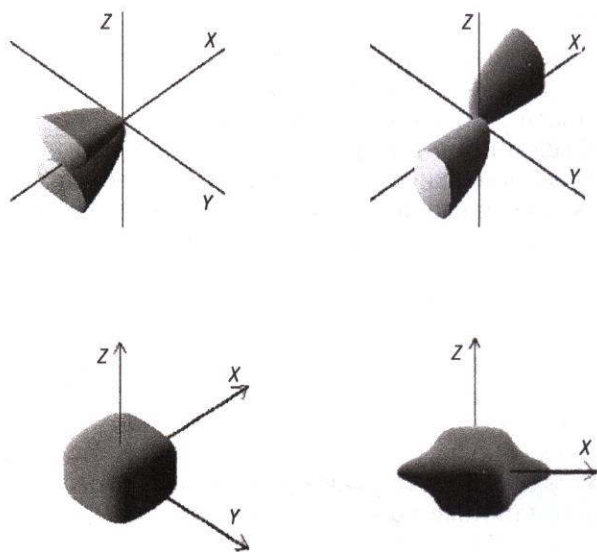


Рис. 17.13

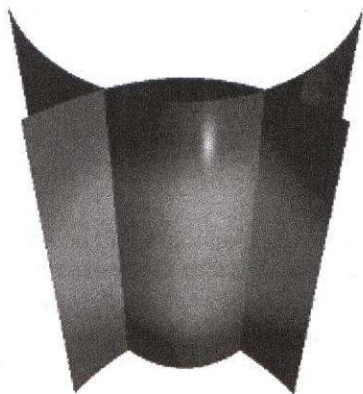


Рис. 17.14

Например, возьмем значения коэффициентов уравнений двух параболических цилиндров из программы формирования поверхностей (т. е. библиотечную поверхность), один из которых развернут на  $180^\circ$  по отношению к другому. Перемножив эти уравнения, получим уравнение цилиндра со сложным внутренним сечением (рис. 17.14):

$$x^4 + y^4 + 2x^2y^2 + 4x^3 + 4xy^2 - 2x^2 - 2y^2 - 8x = 0.$$

Полученные таким образом поверхности можно модифицировать, изменяя значения коэффициентов уравнения. Практическое число таких поверхностей огромно.

Математическая обработка алгебраических уравнений поверхностей позволяет решать многие инженерные задачи с высокой точностью.

### Контрольные вопросы

1. Почему рассмотренные технологии создания алгебраических поверхностей можно назвать перспективными?
2. К чему приводит изменение значений коэффициентов алгебраического уравнения поверхности?
3. Какое число геометрических поверхностей различной конфигурации можно получить методом объединения отдельных простых геометрических форм?
4. В чем заключается выгода использования алгебраических моделей?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аммерал Л.* Машинная графика на персональных компьютерах / Л. Аммерал ; пер. с англ. — М. : Сол Систем, 1992.
2. *Гордон В. О.* Курс начертательной геометрии / В. О. Гордон, М. А. Семенцов-Огиевский. — М. : Наука, 1998.
3. Единая система конструкторской документации. — М. : Изд-во стандартов, 2004.
4. *Иванов В. П.* Трехмерная компьютерная графика / В. П. Иванов, А. С. Батраков. — М. : Радио и связь, 1994.
5. *Попов С. Н.* Аппаратные средства мультимедиа. Видеосистема РС / С. Н. Попов ; под ред. О. В. Колисниченко, И. В. Шишигина. — СПб. : БХВ-Петербург ; Арлит, 2000.
6. *Попова Г. Н.* Машиностроительное черчение : справочник / Г. Н. Попова, С. Ю. Алексеев. — СПб. : Изд-во «Политехника», 2005.
7. *Сорокин Н. П.* Инженерная графика: учебник / Н. П. Сорокин, Е. Д. Ольшевский, А. Н. Заикина, Е. И. Шибанова ; под ред. Н. П. Сорокина. — СПб. : Изд-во «Лань», 2005.
8. *Тихомиров Ю.* Программирование трехмерной графикой / Ю. Тихомиров. — СПб. : БХВ-Петербург, 2000.
9. *Тозик В. Т.* 3ds max 7: трехмерное моделирование и анимация / В. Т. Тозик, А. В. Меженина. — СПб. : БХВ-Петербург, 2005.
10. *Финкельштейн Элен.* AutoCAD 2000. Библия пользователя / Элен Финкельштейн ; пер. с англ. — М. : Изд. дом «Вильямс», 2000.
11. *Чекмарев А. А.* Начертательная геометрия и черчение / А. А. Чекмарев. — М. : Гуманитарный изд. центр ВЛАДОС, 2005.

# Содержание

Предисловие .....	3
-------------------	---

## ЧАСТЬ I НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ

Глава 1. Методы проецирования .....	6
Глава 2. Проецирование прямых линий .....	12
Глава 3. Проецирование плоскости .....	19
Глава 4. Способы преобразования чертежа .....	30
Глава 5. Изображение многогранников .....	36
5.1. Построение проекций многогранника .....	36
5.2. Пересечение прямой линии с поверхностью многогранника ..	38
5.3. Пересечение многогранника плоскостью .....	40
5.4. Развертки гранных поверхностей .....	41
5.5. Взаимное пересечение поверхностей многогранников .....	44
Глава 6. Аксонометрические проекции .....	48
6.1. Классификация аксонометрических проекций .....	48
6.2. Построение аксонометрических изображений плоских фигур и геометрических тел .....	53
Глава 7. Решения основных задач начертательной геометрии .....	56

## ЧАСТЬ II ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

Глава 8. Основные сведения о конструкторской документации и ее оформлении .....	64
8.1. Общие сведения о Единой системе конструкторской докумен- тации .....	64
8.2. Виды изделий .....	66
8.3. Виды и комплектность конструкторских документов .....	67
Глава 9. Общие правила оформления чертежей .....	69
Глава 10. Изображения предмета .....	77
10.1. Основные положения и определения .....	77
10.2. Условности и упрощения, применяемые при выполнении изображений .....	92
10.3. Графические обозначения материалов .....	94
10.4. Нанесение размеров .....	97

<b>Глава 11. Чертежи деталей</b> .....	106
11.1. Основные требования к чертежам деталей .....	106
11.2. Выбор числа изображений на чертеже и их расположение ..	108
11.3. Выполнение эскиза детали .....	111
11.4. Обмер деталей .....	114
11.5. Выполнение рабочего чертежа детали .....	117
11.6. Размеры на чертежах деталей .....	119
11.7. Шероховатость поверхности .....	124
<b>Глава 12. Условные изображения и обозначения резьб</b> .....	128
12.1. Общие сведения о резьбах .....	128
12.2. Условные обозначения резьб .....	129
12.3. Конструктивные и технологические элементы резьбы .....	130
12.4. Условное изображение и обозначение резьб на чертежах .....	131
<b>Глава 13. Разъемные и неразъемные соединения</b> .....	136
13.1. Разъемные соединения .....	136
13.2. Неразъемные соединения .....	146
13.3. Чертеж армированного изделия .....	149
<b>Глава 14. Чертежи сборочных единиц</b> .....	150
14.1. Общие сведения .....	150
14.2. Оформление сборочных чертежей .....	151
14.3. Условности и упрощения на сборочных чертежах .....	151
14.4. Указание номеров позиций .....	153
14.5. Заполнение основной надписи .....	154
14.6. Спецификация .....	154
14.7. Чтение сборочного чертежа .....	156
14.8. Детализирование чертежа сборочной единицы .....	159
<b>Глава 15. Схемы</b> .....	163
15.1. Виды и типы схем .....	163
15.2. Общие требования к выполнению схем .....	164
15.3. Схемы электрические .....	165

### ЧАСТЬ III КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

<b>Глава 16. Геометрическое моделирование и его задачи</b> .....	173
16.1. Основные понятия .....	173
16.2. Графические объекты, примитивы и их атрибуты .....	174
16.3. Геометрические модели и их математическое описание .....	177
16.4. Преобразование графических примитивов и геометрических моделей .....	191
16.5. Визуализация .....	196

16.6. Формирование описаний объектов и сцен .....	209
16.7. Сравнение моделей графических объектов .....	212
<b>Глава 17. Интерактивные графические системы .....</b>	<b>215</b>
17.1. Основные понятия .....	215
17.2. Архитектура графических вычислительных систем .....	215
17.3. Программное обеспечение и графические приложения .....	218
17.4. Технологии решения графических задач .....	221
17.5. Перспективные технологии конструирования объектов сложной формы .....	227
Список литературы .....	236



*Учебное издание*

**Дегтярев Владимир Михайлович,  
Затыльников Вера Павловна**

**Инженерная и компьютерная графика**

**Учебник**

Редактор *В. Н. Махова*  
Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*  
Компьютерная верстка: *Р. Ю. Волкова*  
Корректоры *Л. М. Хмельнова, А. П. Сизова*

Изд. № 106115989. Подписано в печать 22.04.2016. Формат 60 × 90/16.  
Гарнитура «Таймс». Бумага офс. № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,0.  
Тираж 500 экз. Заказ № 105283.

ООО «Издательский центр «Академия». [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)  
129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1.  
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 16679 от 25.05.2015.

Отпечатано: Публичное акционерное общество  
«Т8 Издательские Технологии».

109316 Москва, Волгоградский проспект, дом 42, корпус 5.  
Тел.: (495) 221-89-80.