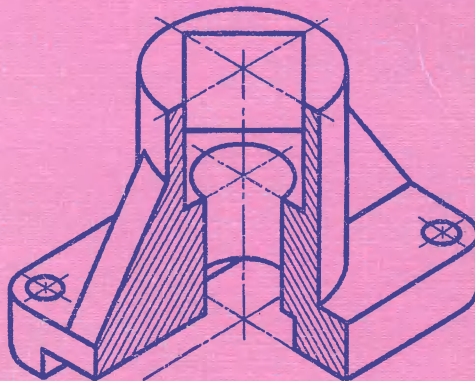
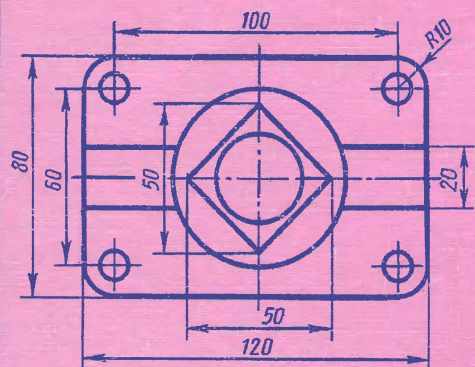
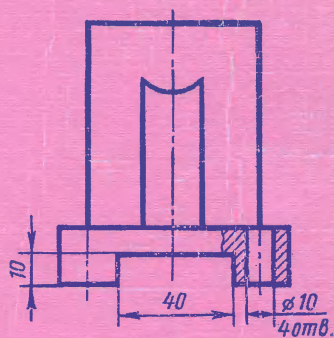
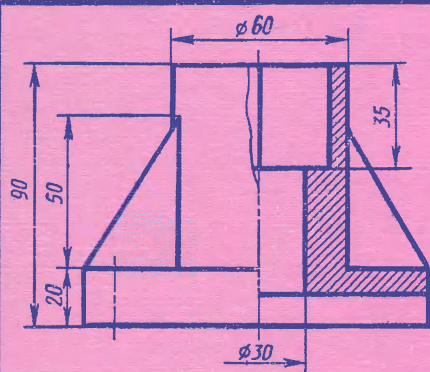




Р.С.Миронова Б.Г.Миронов

# ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА



Р.С.Миронова Б.Г.Миронов

---

# ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

Издание второе,  
исправленное и дополненное

*Рекомендовано  
Министерством образования Российской  
Федерации в качестве учебника для студентов  
средних специальных учебных заведений, обучающихся  
по техническим специальностям*



МОСКВА  
2001



УДК 744  
ББК 30.11  
М64

Рецензент: преподаватель техникума легкой промышленности Р.М. Букина

**Миронова Р.С., Миронов Б.Г.**  
М 64 Инженерная графика: Учебник. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Высш. шк.;  
Издательский центр «Академия», 2001. — 288 с.: ил.

ISBN 5-06-003801-7 (Высшая школа)

ISBN 5-7695-0614-8 (Изд. центр «Академия»)

В учебнике (1-е — 1991 г.) достаточно полно изложены теоретические основы начертательной геометрии и проекционного черчения, описаны различные геометрические построения, вопросы техники черчения, технического рисования и использования чертежных инструментов и принадлежностей, что позволяет не только приобрести знания теории предмета, но и овладеть практическими навыками выполнения чертежа.

В разделе «Машиностроительное черчение» даны основные сведения о конструкторской документации и рассмотрены правила выполнения чертежей изделий в соответствии с действующими стандартами ЕСКД.

В книге приведены некоторые справочные материалы, необходимые студентам для выполнения графических работ.

*Для студентов, обучающихся по специальностям технического профиля среднего профессионального образования (техникумы, колледжи).*

УДК 744  
ББК 30.11

ISBN 5-06-003801-7  
ISBN 5-7695-0614-8

© ГУП «Издательство «Высшая школа», 2001

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства «Высшая школа» и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия издательства запрещается.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Важное место в подготовке специалистов со средним техническим образованием занимает черчение. Умение читать и выполнять чертежи — необходимое условие успешной работы на производстве. Поэтому целью изучения черчения является приобретение теоретических знаний и практических навыков.

Изучая предмет, учащиеся знакомятся с чертежными инструментами и принадлежностями, осваивают правила оформления чертежей по ЕСКД; в разделе «Основы начертательной геометрии и проекционное черчение» изучают способы построения изображений объемного предмета на плоскости; правила выполнения разрезов, сечений, построения линий перехода поверхностей и нанесения размеров.

В разделе «Машиностроительное черчение» студенты знакомятся с видами конструкторской документации, изучают условности и упрощения, применяемые на машиностроительных чертежах, учатся выполнять эскизы деталей, составлять и читать чертежи общих видов и сборочные чертежи средней сложности.

Изучение «Инженерной графики» дает студентам комплекс знаний и навыков, необходимых для выполнения курсовых и дипломных работ в учебном заведении и дальнейшей работы на производстве.

Вопросы содержания тем, рассматриваемых в разделе 5 примерной программы по дисциплине «Инженерная графика» должны согласовываться с предметными комиссиями профилирующих дисциплин, так как большую роль при изучении этого раздела играет компьютерное и программное обеспечение учебного процесса. Именно поэтому рекомендация — выполнение чертежа машинным способом — в программе сопровождается пометкой «по возможности».

Студент к моменту использования персонального компьютера для изготовления чертежа и другой конструкторской документации должен достичь определенного уровня знаний

теории инженерной графики и иметь достаточный уровень умений и навыков в выполнении и чтении чертежа. Умение анализировать ортогональный чертеж геометрического объекта, умение расчлнить его сложную форму на простые составляющие геометрические тела и умение синтезировать их — это основа эффективного диалога студента с компьютером. Поэтому при широком использовании вычислительной техники в учебном процессе нельзя допускать подмены изучения предмета изучением применения компьютера, что в настоящее время имеет место, во многих учебных заведениях. Подготовка грамотного пользователя, умеющего ставить перед собой задачи по проектированию технических объектов и изготовлению конструкторской документации и могущего их решать с помощью такого современного инструмента, как компьютер, после овладения инженерной графикой должна включать изучение вопросов применения вычислительной техники в области машинной графики, возможностей применения различных графических навыков и изучения специальной литературы. Например: Федоренко А.П. «Выполнение чертежей в системе «Автокад» — М.: ЛТД, 1991; Романычева Э.Т., Сидорова Т.М., Сидоров С.Ю. AutoCAD. Версии 12, 13, 14. Практическое руководство — М.: ДМК, 1997.

Раздел IV «Машинная графика» написан канд. техн. наук, доц. Пузиковым А.А.

Книга содержит справочный материал, необходимый для выполнения отдельных видов графических работ, таблицы, определяющие расчетные параметры и конструктивные размеры стандартных деталей и их элементов\*. Это позволит учащимся приобрести навыки в использовании справочной литературы в своей работе.

\* Справочные материалы, приведенные в учебнике, даны выборочно, с учетом требований учебного процесса. Некоторые из них приведены с упрощениями.

Для того чтобы понять, какой путь прошел современный чертеж с момента его возникновения до наших дней, коротко рассмотрим основные этапы развития инженерной графики и стандартизации.

Графика — это способ отображения окружающей нас действительности на плоскости. Графика вмещает в себя множество способов изображения. Рассмотрим два из них: рисунок и чертеж.

Рисунок — это графическое изображение, выполненное от руки на глаз, которое дает нам представление только о внешнем виде предмета и не дает представления о внутреннем его устройстве и размерах.

Чертеж — это графическое изображение, выполненное при помощи специальных чертежных инструментов и принадлежностей по особым правилам построения изображений, которое дает нам полное представление о внешнем и внутреннем устройстве предмета и о его размерах.

Задолго до того, как люди создали письменность, они научились рисовать окружающие их предметы. Для создания графических изображений на различных этапах развития общества использовались разнообразные материалы и инструменты. Сначала материалом служила земля, стены пещеры, камни, на которых рисунки выцарапывались. Затем использовали бересту, кожу, холст, пергамент, бумагу и другие материалы, на которые изображения наносились чернилами или тушью с помощью гусиного пера. Только в конце XVIII века для построения графических изображений стали применяться карандаши.

Проследивая путь развития чертежа от древних времен до наших дней, можно выделить два основных его направления: первое — строительные чертежи, по которым строили жилища, промышленные здания, мосты и другие сооружения; второе — промышленные чертежи, по

которым создавали различные инструменты, приспособления, машины.

Возникновение строительных чертежей относится к тому времени, когда люди для постройки жилища или помещений для хранения утвари или зимовки скота на земле в натуральную величину разбивали планы помещений и на них возводили постройки. Делалось это с помощью примитивных приспособлений. Линейные размеры откладывали разметочным циркулем (рис. 1), окружности проводили с помощью веревки и двух колышков (рис. 2). Один колышек вбивался в землю и играл роль центра, а другим, натягивая веревку, проводили окружность.

Когда возводимые сооружения стали занимать обширные площади, потребовалось участие большого количества людей, возникла необходимость вычерчивать чертежи в уменьшенном виде, на каком-либо материале (коже, холсте, пергаменте). Чертежи выполняли без масштаба, но с размерами, и только в XVIII веке

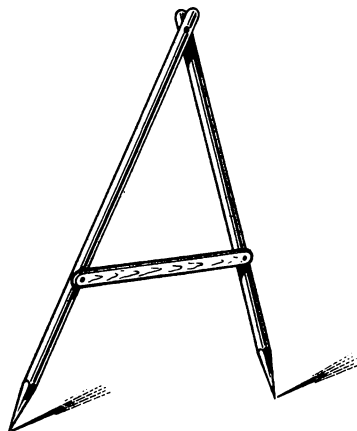


Рис. 1

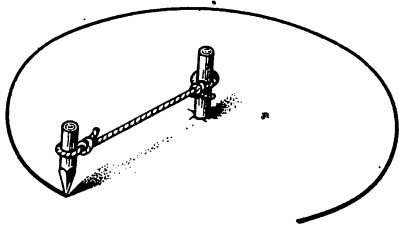


Рис. 2

стали применять масштаб. Первоначально изображение в плане (вид сверху) совмещали с изображением фасада здания (вид спереди) (рис. 3).

В XVI веке в Москве по приказу Ивана Грозного был создан «Пушкарский приказ», который ведал инженерным и артиллерийским делом. Там были уже чертежники, которых тогда называли «чертежниками». Чертежи выполнялись с

помощью чертежных инструментов: линейки (правил) и циркуля (кружала). По распоряжению Ивана Грозного по всему Московскому государству специальными людьми собирался географический материал, который лег в основу составленного в XVI веке «Большого чертежа» всей Московской Руси.

В начале XVII века при Борисе Годунове был составлен «Годуновский чертеж Кремля», изображавший дворцовые палаты и оборонительные укрепления, расположенные вокруг Кремля.

В начале XVIII века в период правления Петра I в России бурно развивается кораблестроение, горнорудная промышленность, строятся машины и заводские силовые установки. Все это требовало умелого выполнения чертежей. В связи с этим по указу Петра I вводится преподавание черчения в специальных учебных заведениях, что послужило причиной появления

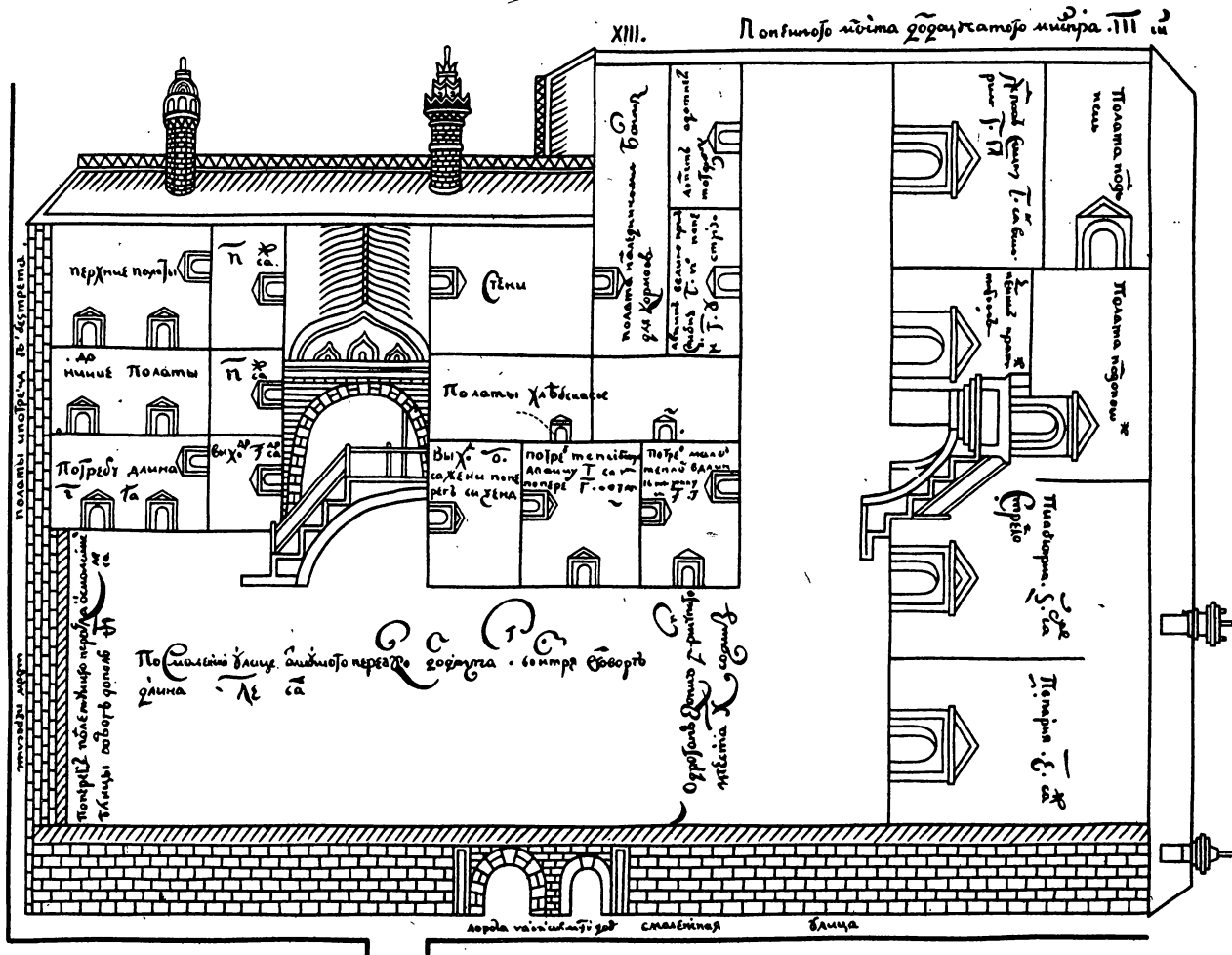


Рис. 3

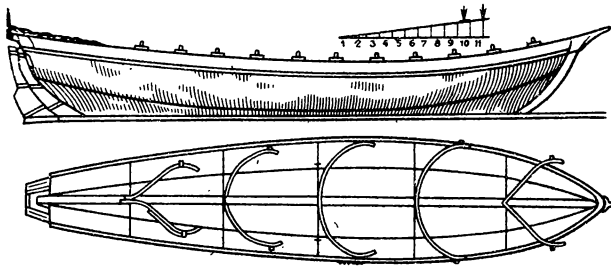


Рис. 4

в 1708 г. первых учебников по черчению: «Приемы циркуля и линейки» и «Практические геометрии». В это время появляются первые чертежи заводских сооружений, где изображения выполнялись в двух видах. Сохранился чертеж

двадцатидвухвесельного шлюпа, выполненный лично Петром I в 1719 г. (рис. 4).

В период ремесленного производства, когда изделие от начала до конца изготавливалось одним человеком, его форма и размеры определялись самим мастером. Изделия, пользовавшиеся широким спросом — серпы, косы, ножи, дверные запоры и т. д., изготовляли по образцу с применением разметки и шаблонов, которые заменяли собой чертеж. С развитием производства на смену мелким ремесленным мастерским приходят крупные мануфактуры, где широко применяется разделение труда. Теперь одно изделие выполняется несколькими мастерами. Появились промышленные чертежи. Сначала они выполнялись без размеров, затем на поле чертежа стали делать надписи, указывающие основные размеры.

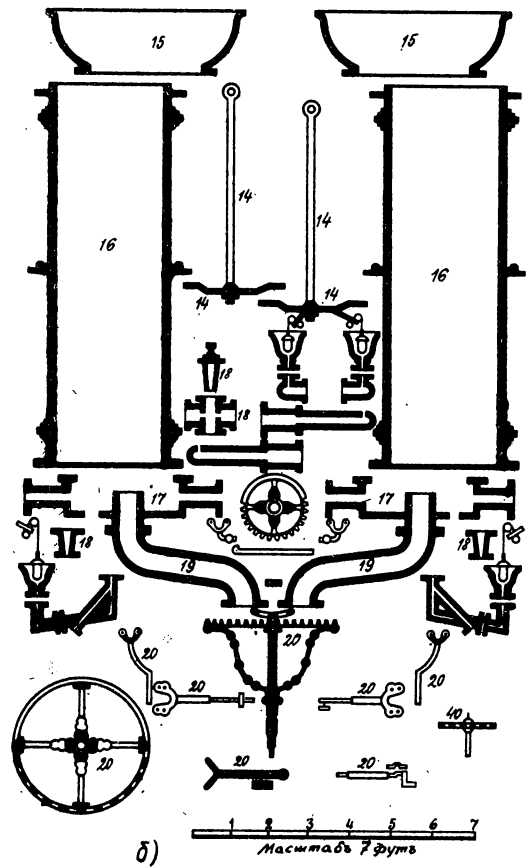
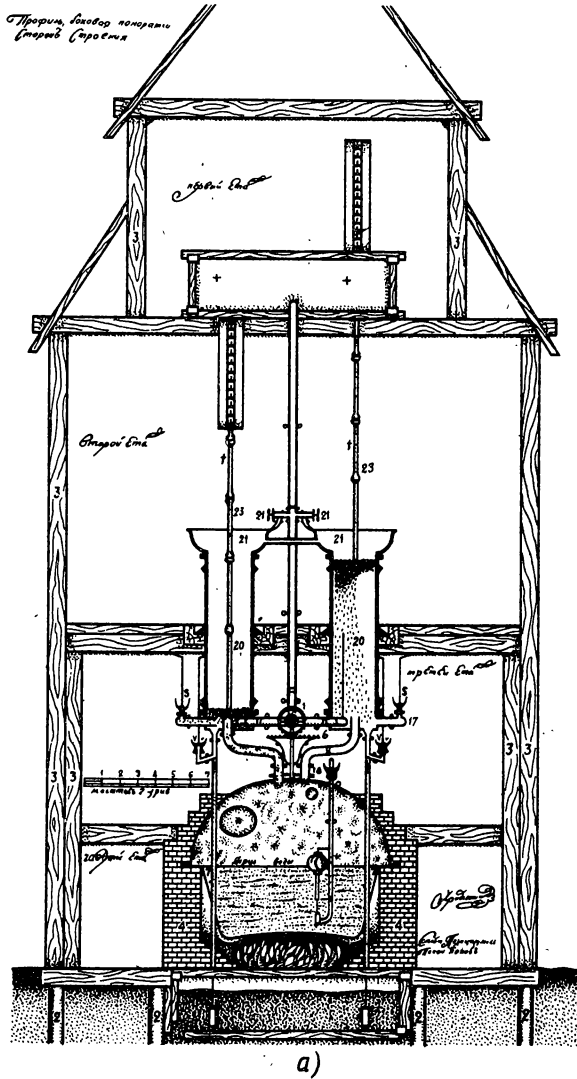


Рис. 5

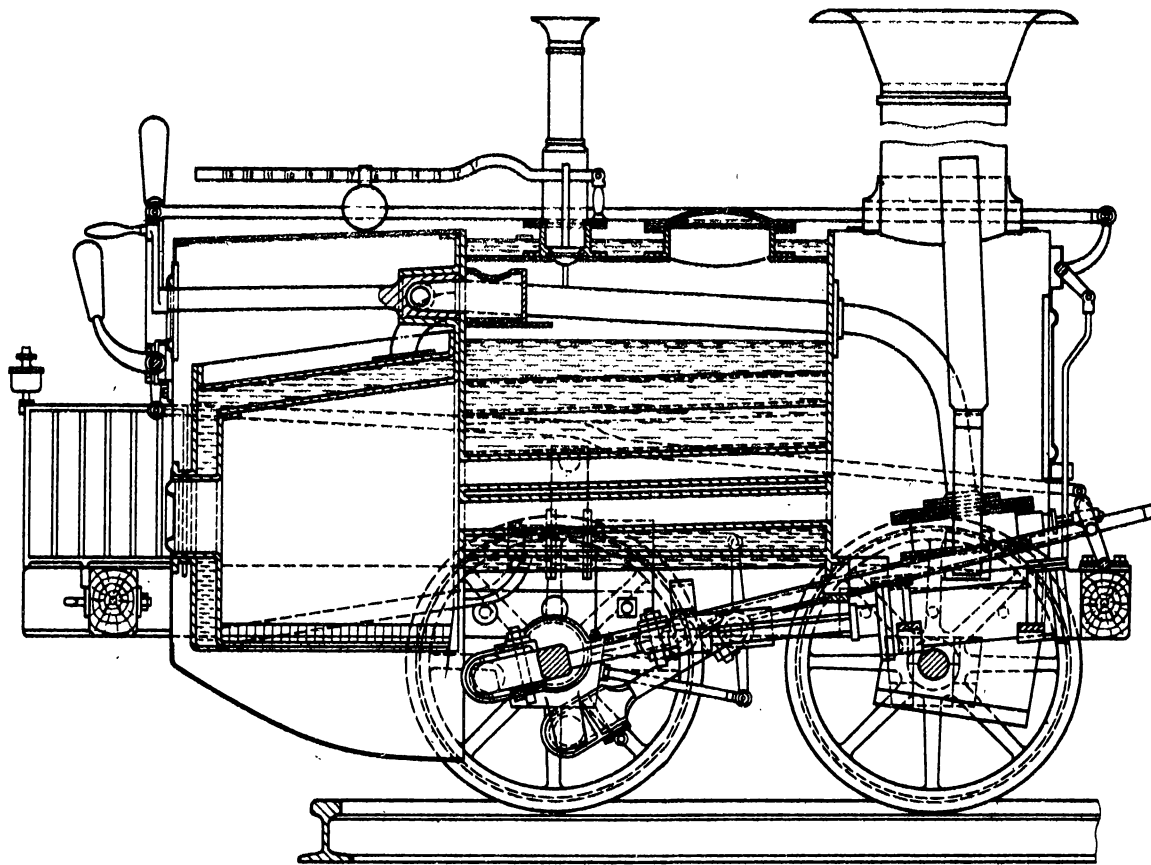


Рис. 6

С развитием техники чертежи усложнялись, и их выполнение требовало более высокой точности исполнения. Стали применять масштабы, проекционную связь, выполняя разрезы, без которых невозможно было понять внутреннее устройство изделия и принцип его работы. Эти чертежи были уже близки к современным чертежам, но на них не было размеров. Они определялись с помощью масштабной шкалы, изображенной на поле чертежа. Примером таких чертежей могут служить чертежи паровой машины И. И. Ползунова, выполненные в 1763 г. (рис. 5). На чертежах изображены поперечный разрез машины (рис. 5, а), на котором показаны применяемые материалы (кирпич, древесина, грунт), отдельные детали (рис. 5, б), что является прообразом современного детализированного чертежа.

Продолжателями дела И. И. Ползунова в развитии отечественной техники и совершенствовании чертежа были русские механики отец и сын Черепановы. В 1824 году по их чертежам была построена первая паровая машина. На рис. 6 показан продольный разрез разработанного ими паровоза.

Дальнейшее совершенствование производства, усложнение формы деталей, потребность в более высокой точности их изготовления приводят к совершенствованию чертежа. В конце первой половины XIX века на чертежах стали наносить размеры с помощью выносных и размерных линий. С развитием машинного производства чертеж приобретает значение важного технического документа, содержащего данные не только о форме и размерах детали, но и о чистоте обработки поверхностей, термической обработке и предельные отклонения размеров, т. е. сведения, необходимые для изготовления этой детали.

Во второй половине XVIII века встречаются чертежи, выполненные в наглядном изображении. Это уже зарождение будущей аксонометрии. Примером может служить чертеж К. Д. Фролова «Рудоподъемная машина» (рис. 7).

Талантливым механиком-изобретателем, внесшим большой вклад в совершенствование чертежа, был И. П. Кулибин. В его проекте однопролетного арочного моста через реку Неву были чертежи поперечного разреза моста,

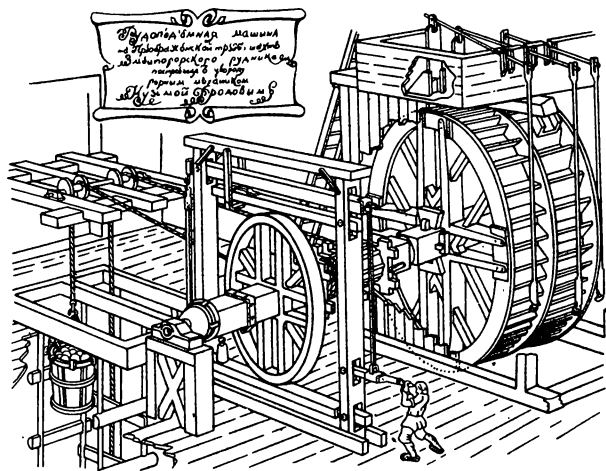


Рис. 7

отдельных конструкций, а также вид сверху и сбоку.

В 1798 г. французский ученый Гаспар Монж (1746—1818) опубликовал свой труд «Начертательная геометрия», в котором он обобщил опыт специалистов в изображении пространственных форм на плоскости и показал решения технических задач графическим способом. Так в конце XVIII — начале XIX вв., когда появилась и стала развиваться начертательная геометрия, метод ортогональных проекций получил научное обоснование.

Первый научный труд по начертательной геометрии в России «Основания начертательной геометрии» был написан в 1821 г. профессором Я. А. Севастьяновым. Дело Я. А. Севастьянова продолжали развивать и совершенствовать такие ученые, как П. К. Галактионов, А. Х. Редер, Н. П. Дуров, И. И. Сомов.

Неоценимый вклад в развитие начертательной геометрии как науки внес В. И. Курдюмов. Он написал 14 научных работ, в которых дал новое направление начертательной геометрии, показав ее применение в технических чертежах. Очень много сделали для развития отечественной технической графики такие ученые, как Н. И. Макаров, Е. С. Федоров, Н. А. Рынин, А. К. Власов, Н. А. Глаголев, Д. И. Каргин, А. И. Добряков. Они заложили основу русской графической науки и создали учебно-методическую литературу по инженерной графике.

В конце 20-х годов необходимость в корот-

кий срок подготовить новые инженерно-технические кадры привела к пересмотру и усовершенствованию методики преподавания черчения и созданию новых учебных пособий. Среди выпущенных в этот период учебных пособий особо нужно отметить труд М. В. Носова и И. Ф. Маслова «Условности машиностроительного черчения» (1928 г.) и пособие профессора С. К. Руженцова «Вспомогательные таблицы по проекционному черчению и скицированию» (1929 г.).

Большую роль в развитии и совершенствовании теории инженерной графики, методики ее преподавания и в создании учебных пособий сыграли такие отечественные ученые, как И. Г. Попов, С. М. Куликов, А. М. Иерусалимский, Н. А. Попов, В. О. Гордон, В. И. Каменев, Н. Ф. Четверухин.

В последнее время плодотворную работу по созданию учебных пособий по черчению и по совершенствованию методики преподавания этого предмета провели проф. С. В. Розов, Н. С. Дружинин, С. К. Боголюбов.

В период индустриализации в условиях бурного развития всех отраслей народного хозяйства потребовалось создание единой жесткой системы правил и норм выполнения машиностроительных чертежей. С этой целью в 1925 г. был создан Комитет по стандартизации при Совете Труда и Обороне, а в 1929 г. вышел первый выпуск стандартов по черчению. 1 мая 1935 г. Комитет по стандартизации издает постановление, согласно которому соблюдение стандартов на чертежи становится обязательным. Нужно отметить, что все нормы и правила, по которым выполняют чертежи, собранные в государственных стандартах, постоянно совершенствуются и изменяются в зависимости от развития производства, науки и техники.

Международное сотрудничество в области науки и техники, расширение товарооборота потребовали создания в 1947 г. Международной организации по стандартизации (ИСО) и Постоянной комиссии Совета Экономической Взаимопомощи по стандартизации. В 1954 г. при Совете Министров СССР был создан Комитет стандартов, мер и измерительных приборов, который впоследствии был преобразован в Государственный комитет СССР по стандартам.

## ГРАФИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ. ГРАФИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ

### ГЛАВА I

## ЧЕРТЕЖНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ, ИХ НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИЕМЫ РАБОТЫ С НИМИ

### § 1. ЧЕРТЕЖНЫЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

**Бумага.** Для учебных чертежей следует брать чертежную бумагу, поверхность которой позволяет многократно стирать карандашные линии и при этом не лохматится. Одна сторона чертежной бумаги шероховатая, а другая — гладкая. Выполнять чертежи следует на гладкой стороне. Для выполнения чертежей в учебных целях не следует пользоваться гляцевой и рисовальной бумагой.

Для выполнения эскизов используют писчую бумагу в клетку, на которой удобно проводить линии от руки.

Миллиметровую бумагу применяют для построения различных графиков и в топографическом черчении.

Чертежная доска является необходимой принадлежностью для выполнения качественного чертежа. Она должна быть ровной и гладкой. Если в процессе эксплуатации рабочая поверхность доски станет неровной, ее следует отциклевать и обработать шлифовальной шкуркой.

**Карандаши.** Умение подобрать карандаши для построения и обводки различных линий чертежа во многом определяет его качество. Для черчения рекомендуется пользоваться карандашами «Конструктор» или «KOH-I-NOOR» (импортные).

Для построения чертежа в тонких линиях применяют карандаши с твердым грифелем — «Т», «2Т» («Н», «2Н»)\*; для обводки основных линий чертежа — карандаши средней твердости — «ТМ» («НВ») и мягкие — «М» («В»); для проведения выносных и размерных линий — «Т», «2Т» («Н», «2Н»); для выполнения надписей — «ТМ», «М» («НВ», «В») и для

технического рисования — мягкие карандаши — «М» ... «3М». Нанесенное на карандаше обозначение твердости нужно сохранять, поэтому затачивают карандаши с той стороны, где нет надписи. Заточку лучше всего производить перочинным ножом, как показано на рис. 8, затачивая 25...30 мм от конца карандаша. Заточенный конец карандаша должен иметь форму конуса (рис. 9, а). Грифель окончательно заостряют на оселке, сделанном из фанерной пластинки, с наклеенной на нее шлифовальной шкуркой (рис. 10). При этом на поверхности стержня остается графитная пыль, которая в процессе работы будет пачкать чертеж и инструменты. Поэтому после заточки грифель нужно протереть кусочком мягкой бумаги или чистой тряпочкой.

При обводке толстых линий чертежа грифель можно заточить «лопаточкой», где толщина среза торца грифеля делается такой ширины, какой должна быть обводимая линия (рис. 9, б).

В процессе работы грифель затупляется, и толщина линии увеличивается. Чтобы этого не происходило, нужно грифель периодически подправлять на оселке. Прежде чем начать работать подправленным грифелем, проверяют на листочке бумаги толщину линии.

При подборе карандашей следует учитывать и качество бумаги. Не следует работать твердыми карандашами на тонкой и рыхлой бумаге, так как от них остается глубокий след, что создает трудности при исправлении чертежа, а линии получают бледными и нечеткими.

В процессе работы над чертежом линии построения нужно проводить тонко, не нажимая на карандаш, чтобы их можно было легко убрать резинкой при исправлении чертежа. Проводя линии вдоль кромки рейшины или угольника, карандаш держат так, чтобы он был расположен в плоскости, перпендикулярной плоскости линейки, и наклонен в сторону

\* В скобках указано соответствующее обозначение твердости импортных карандашей.

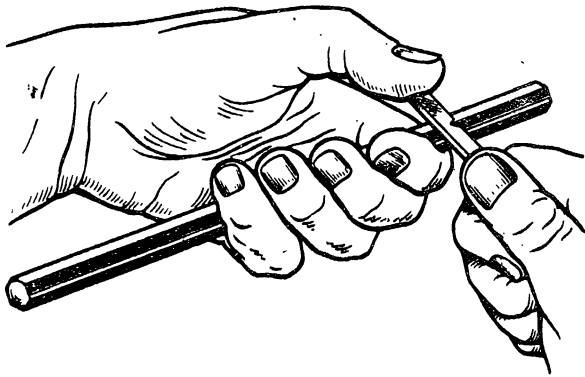


Рис. 8

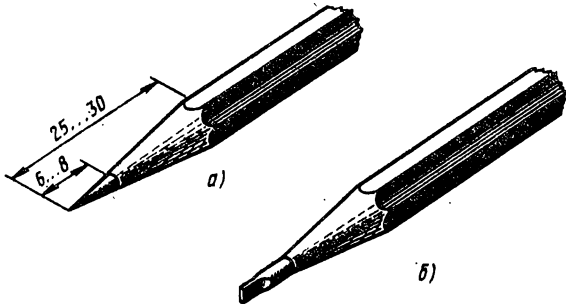


Рис. 9

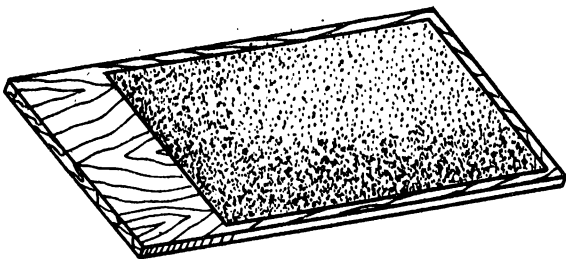


Рис. 10

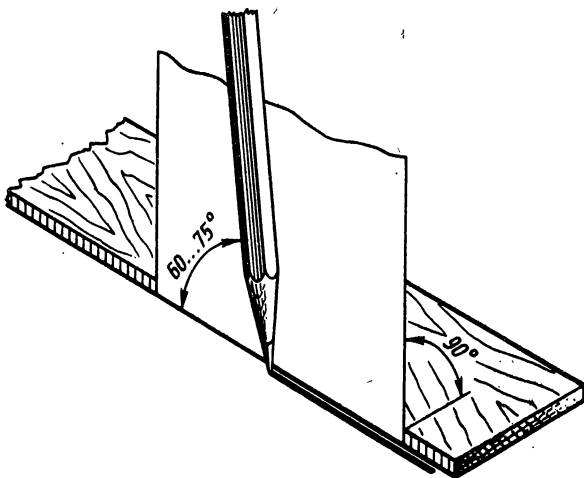


Рис. 11

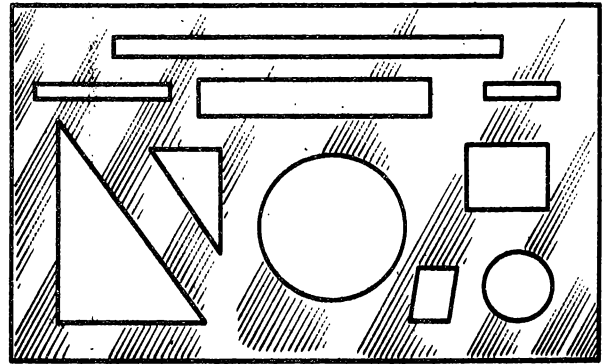


Рис. 12

направления движения примерно под углом  $60...75^\circ$ . Грифель при этом идет не касаясь острием кромки рейсшины или угольника, а параллельно ей (рис. 11).

Резинка для удаления карандашных линий должна быть мягкой и эластичной, не должна размазывать грифель и разрушать поверхность бумаги. В процессе работы над чертежом резинку нельзя долго держать зажатой в кулаке, так как она, став влажной, будет размазывать и втирать грифель в бумагу. Перед работой и периодически во время работы резинку необходимо чистить, потирая ее о поле чертежной доски.

Щитки применяют для удаления с чертежа лишних линий и исправления чертежа на небольшом его участке, когда нужно сохранить близлежащие линии или надписи. Обычно они представляют собой тонкую прозрачную пластинку, на которой имеются прорезы различной величины и формы. Необходимую прорезь щитка накладывают на участок, который нужно удалить, и резинкой стирают карандаш. Такой щиток можно изготовить самим из фотопленки или плотной чертежной бумаги (рис. 12).

## § 2. ЧЕРТЕЖНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Рейсшина — это длинная линейка, предназначенная для работы на чертежной доске. Они бывают двух видов: рейсшина с головкой и рейсшина роликовая (плавающая).

Рейсшина с головкой (рис. 13) имеет на одном конце линейки две поперечные планки (головку). Нижняя планка прикрепляется к линейке неподвижно под углом  $90^\circ$ , а верхняя — подвижная — может закрепляться с помощью болта, гайки и шайбы под любым углом к нижней, что дает возможность проводить наклонные параллельные линии. Прижимая рукой головку рейсшины к левой планке чертежной доски и перемещая рейсшину вверх

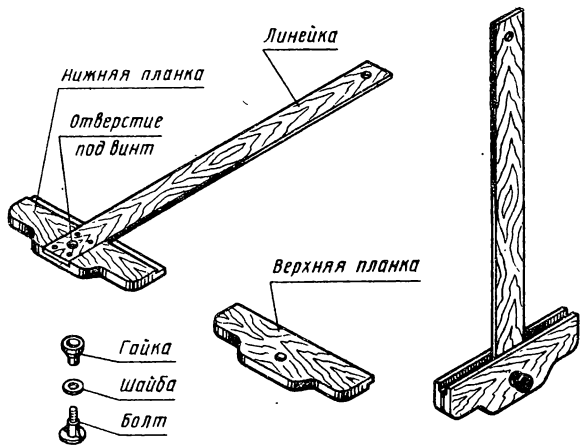


Рис. 13

и вниз, проводят горизонтальные параллельные линии; при этом две планки головки должны быть параллельно совмещены и скреплены болтом (рис. 14, а). Для проведения наклонных параллельных линий рейсшину нужно перевернуть обратной стороной вверх и закрепить подвижную планку под нужным углом (рис. 14, б).

Для того чтобы проверить прямолинейность рейсшины, по ее рабочему краю на листе бумаги проводят линию. Затем рейсшину переворачивают делениями вниз и тем же краем прикладывают к проведенной линии. Если между краем рейсшины и линией нет просвета, т. е. край совпал с линией, то проверяемый край рейсшины прямолинейный. Если край рейсшины и линия не совпадают, то такая рейсшина не годится для работы. Необходимо также проверить, прямой ли угол между линейкой и головкой. Для этого к линейке и головке прикладывают угольник с уже выверенным прямым углом. Если нет зазоров между сторонами угольника, линейкой и головкой, то угол между головкой и линейкой прямой. Длина рейсшины

должна соответствовать длине доски или быть немного короче. Край линейки рейсшины с делениями должен быть гладким, без вмятин. Чтобы рейсшина не коробилась, ее следует хранить в висячем положении. В процессе работы нижнюю сторону линейки рейсшины нужно периодически очищать от грифеля, который она собирает с поля чертежа, резинкой или шлифовальной шкуркой, а затем протереть сухой чистой тряпочкой.

Поскольку рейсшины в основном используются для проведения горизонтальных линий, последнее время чаще применяют роликовые рейсшины. По такой рейсшине можно проводить только горизонтальные линии, а для проведения наклонных линий применяют угольники. Эта рейсшина удобна тем, что, настроив ее один раз, не нужно следить за ее горизонтальностью и придерживать рукой, как этого требует рейсшина с головкой.

Роликовая рейсшина — это длинная линейка, на концах которой справа и слева установлены ролики с двумя канавками. Она крепится к чертежной доске с помощью тонкого шнура или лески и четырех мебельных гвоздей. Рейсшина кладется на чертежную доску на одинаковом расстоянии от торцовых краев доски, и на уровне роликов в верхние и нижние кромки доски забиваются мебельные гвозди так, чтобы под шляпкой гвоздя было место для завязывания нити. Конец первого шнура завязывают за верхний левый гвоздь, опускают вниз до левого ролика, огибают его снизу по нижней канавке слева направо в сторону правого ролика, огибают правый ролик по нижней канавке сверху вправо и вниз и закрепляют нить за нижний правый гвоздь. Второй шнур от верхнего правого гвоздя опускают вниз, огибают правый ролик по верхней канавке снизу справа налево, огибают левый ролик по верхней канавке сверху влево и завязывают за нижний левый гвоздь (рис. 15). Первый шнур нужно натянуть так, чтобы рейсшина

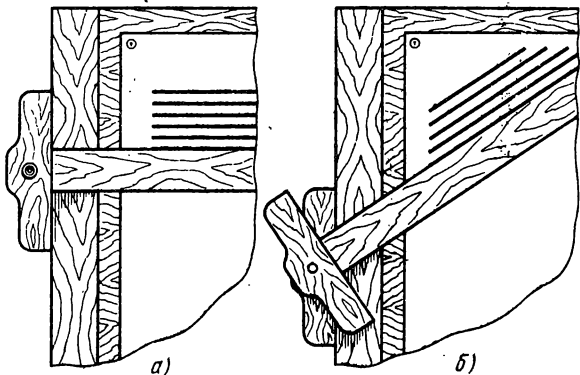


Рис. 14

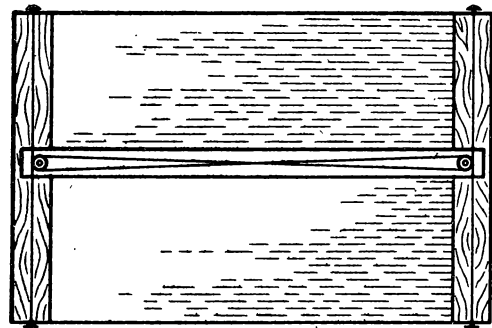


Рис. 15

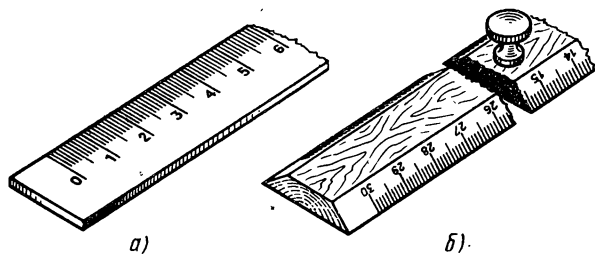


Рис. 16

расположилась немного непараллельно верхнему краю доски. Натягивая второй щнур, выравнивают положение рейшины, устанавливая ее параллельно верхнему краю доски. Натяжение нити не должно быть слабым, но и не должно быть тугим. Перемещая рейшину, не нужно ее приподнимать, так как нить может соскочить с роликов.

Линейки применяются для проведения прямых линий и измерения линейных размеров. Они изготавливаются из дерева или пластмассы двух видов: плоские линейки для проведения линий (рис. 16, а), прямолинейность которых проверяется так же, как и рейшины, и измерительные линейки со скошенными краями (рис. 16, б).

Угольники изготавливаются из дерева или пластмассы.

Прежде чем использовать угольник в работе, его необходимо проверить. Для проверки прямого угла угольник ставят на рейшину (рис. 17) и через произвольно взятую точку проводят вертикальную линию. Затем угольник поворачивают на  $180^\circ$  вокруг вертикально расположенной стороны и через ту же точку снова проводят линию. Если проведенные ли-

нии совпадут, то угольник имеет прямой угол и пригоден для работы. Правильность других углов угольника можно проверить по транспортиру. Проверка прямолинейности рабочего катета угольника производится так же, как и прямолинейности рейшины или линейки.

Чертежные угольники бывают двух видов: с углами  $45^\circ$ ,  $45^\circ$  и  $90^\circ$  и с углами  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $90^\circ$  (рис. 17). При работе над чертежом удобнее применять угольники, у которых катеты с делениями имеют длину  $270\text{--}300$  мм. С помощью угольников и рейшины проводят параллельные вертикальные и наклонные линии под углом  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $75^\circ$ . На рис. 18 стрелкой показано направление движения карандаша вдоль стороны угольника. Загрязненные грифелем пластмассовые угольники и линейки протирают сначала влажной, а затем сухой тряпочкой, деревянные чистят резинкой или шлифовальной шкуркой.

Лекала представляют собой тонкие пластины с криволинейными кромками, служащие для обводки лекальных кривых (рис. 19). Изготавливают лекала из дерева или пластмассы. Края лекала должны быть ровными, без вмятин и щербин. Для работы необходимо иметь  $3\text{--}5$  лекал различной формы.

При вычерчивании лекальных кривых сначала находят точки, принадлежащие этой кривой. Затем точки соединяют плавной тонкой линией от руки. Полученную линию обводят по лекалу. Чтобы при обводке не нарушалась плавность линии, необходимо подбирать лекало так, чтобы захватывать не менее трех точек кривой (рис. 20). Обводить линии нужно так, чтобы обводка каждого участка заканчивалась на предпоследней точке этого участка (рис. 20, точки 1...6). Последняя точка (7) в обводке не участвует, так как в этой точке

Рис. 17

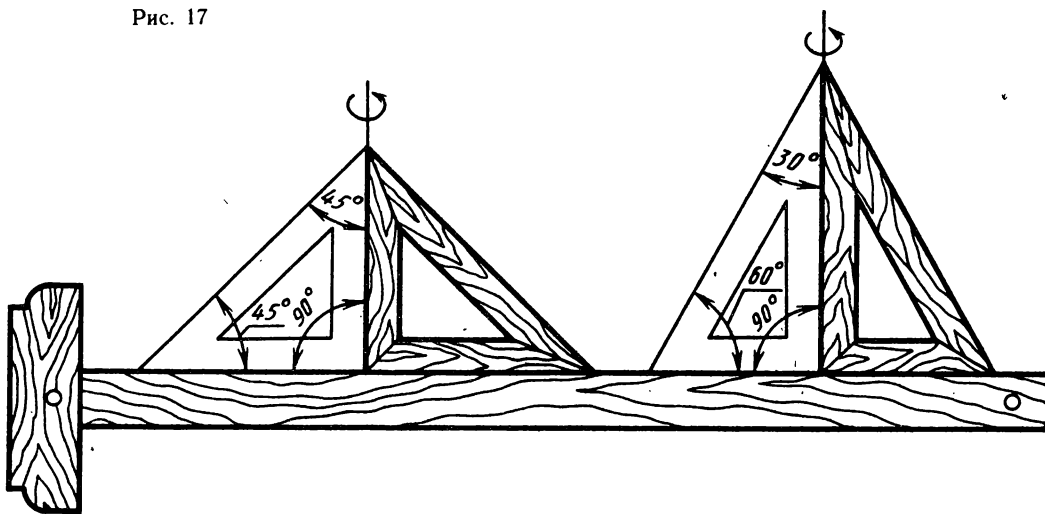


Рис. 18

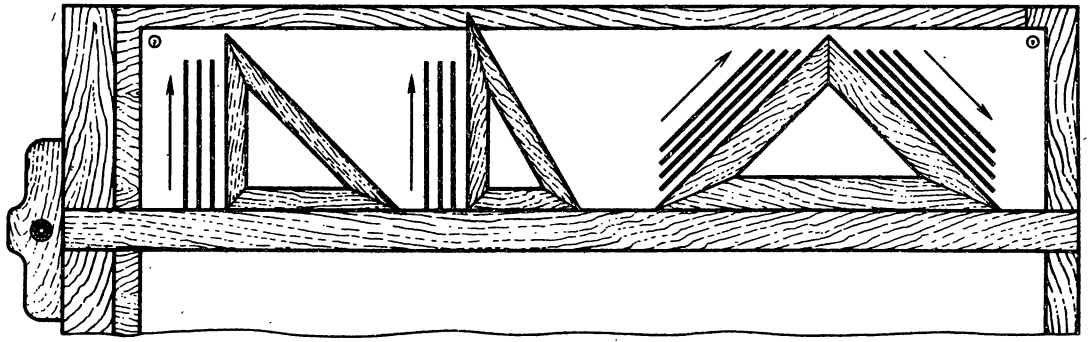
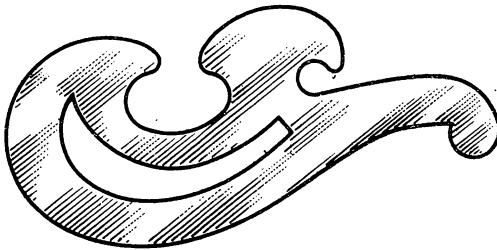


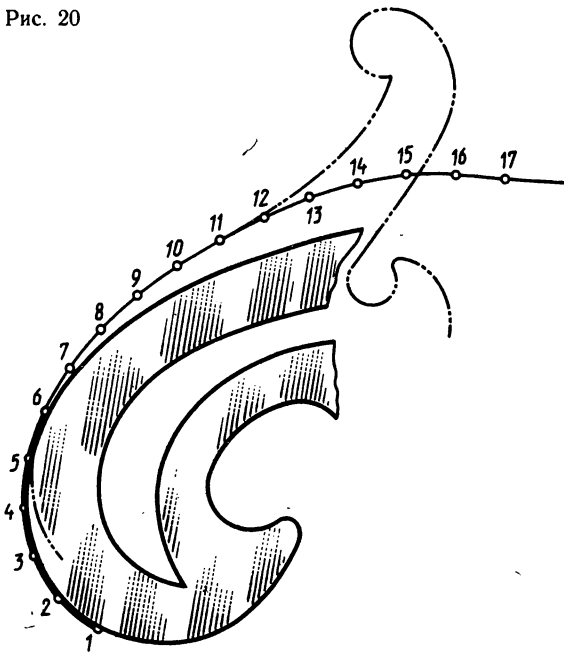
Рис. 19



кромка лекала начинает отходить от проведенной кривой. Затем лекало подбирают так, чтобы две последние точки (6 и 7) предыдущего участка входили в число точек вновь подобранного участка (6...12). Это обеспечивает плавность перехода от одной части кривой к другой.

Разметочный циркуль (измеритель) предназначен для измерения и откладывания линейных размеров (рис. 21). При

Рис. 20



смыкании ножек измерителя иглы должны соприкоснуться остриями без перекоса и иметь одинаковую длину, примерно 8...10 мм. Не рекомендуется ножки измерителя раздвигать больше, чем на  $60^\circ$ , так как из-за большого наклона игл получается неточный размер.

Разметочный кронциркуль предназначен для измерения и откладывания небольших линейных размеров (рис. 22). Расстояние между ножками кронциркуля регулируется раздвижным винтом. При откладывании большого количества одинаковых смежно расположенных отрезков необходимо предварительно проверить точность установки размера. Для этого на черновике на проведенном отрезке делается 5...6 уколов, затем складываются их величина, полученный отрезок измеряется и сравнивается с суммой всех отрезков заданного размера.

Циркуль чертежный предназначен для вычерчивания окружностей и дуг, радиус которых не менее 3 мм. Циркуль имеет две ножки (рис. 23). В одну ножку вставляется игла, другая ножка укороченная (рис. 24, а). Она заканчивается зажимом с шарнирным устройством.

Игла имеет два различных по форме конца (рис. 25). Один конец сделан в виде полного конуса. Его применяют в том случае, когда циркуль используют как измеритель или при работе с центриком, о котором речь пойдет ниже. Второй конец имеет форму усеченного конуса с небольшой иглой посередине среза. Площадка усеченной части конуса, так называемая упорная заточка, предохраняет иглу от глубокого прокола. Этот конец иглы используют при вычерчивании окружностей и дуг.

В укороченную ножку, при необходимости, можно закрепить ножку с грифелем (рис. 24, б), рейсфедер для обводки чертежа тушью (рис. 24, в) или ножку с иглой (рис. 24, г) при использовании циркуля в качестве измерителя, а также удлинитель (рис. 24, д) при вычерчивании окружностей и дуг большого радиуса

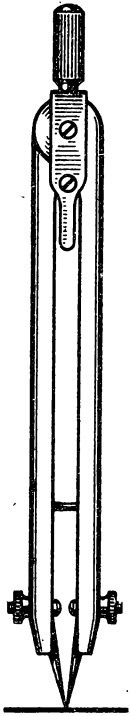


Рис. 21

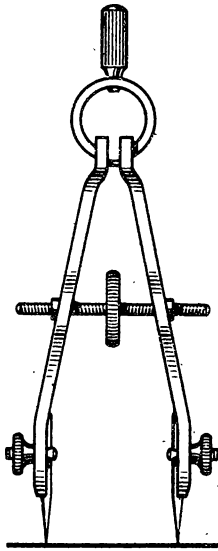


Рис. 22

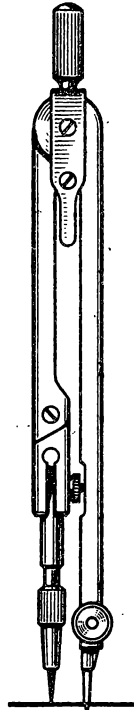


Рис. 23



Рис. 25

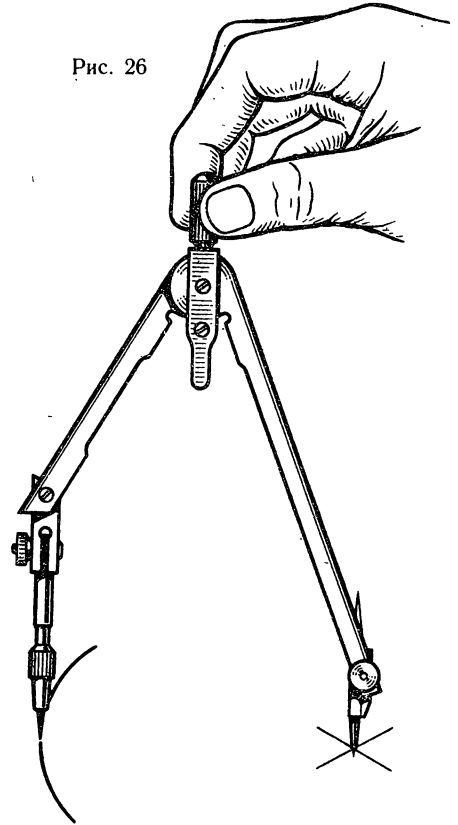


Рис. 26

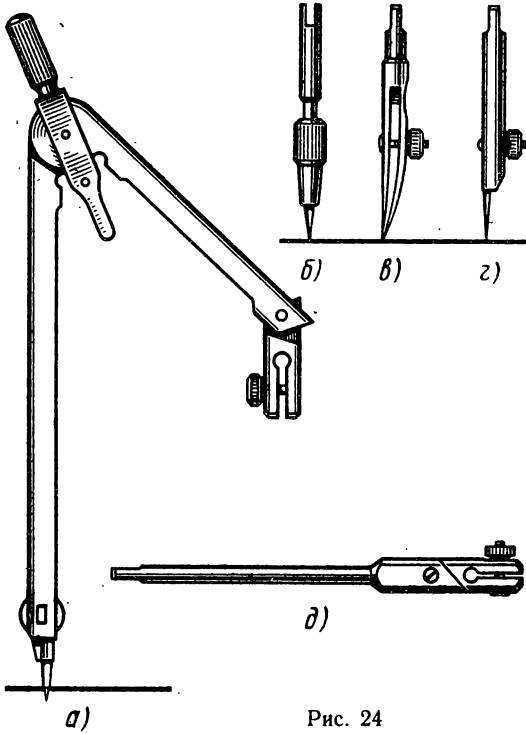
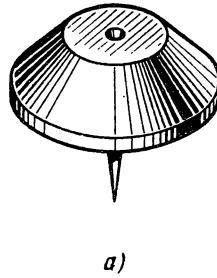
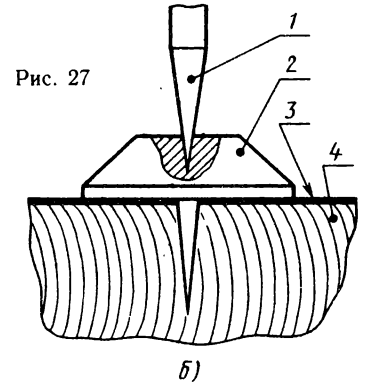


Рис. 24



а)



б)

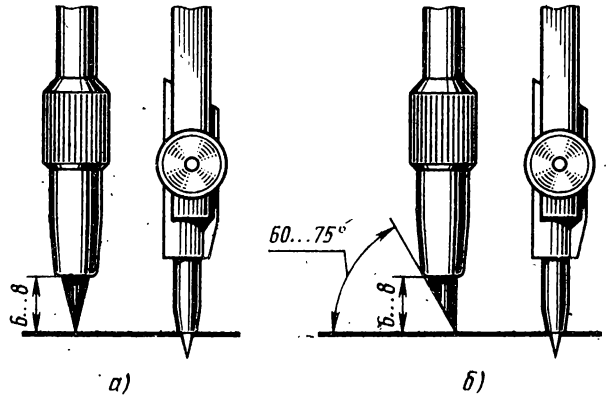


Рис. 28

(до 200 мм). Указанные элементы должны плотно вставляться в зажим короткой ножки циркуля без перекосов. Прежде чем приступить к вычерчиванию окружности, необходимо проверить высоту грифеля и иглы циркуля. Для этого ножки циркуля сдвигают, циркуль ставят вертикально на лист бумаги и протыкают ее иглой. Грифель при этом должен касаться бумаги (см. рис. 23). При проведении окружности необходимо следить, чтобы игла опорной ножки и ножка с грифелем располагались перпендикулярно плоскости чертежа. Для этого сгибают ножку с грифелем в шарнире, а иглу устанавливают так, как показано на рис. 26. Циркуль держат двумя пальцами (большим и указательным) за рифленую головку и слегка наклоняют по ходу движения, которое осуществляется по часовой стрелке. Вычерчивая окружность большого радиуса, в короткую ножку циркуля вставляют сначала удлинитель, а потом в него — ножку с грифелем. При работе с удлинителем нужно следить, чтобы игла опорной ножки и грифель располагались перпендикулярно поверхности чертежа. Работая циркулем с удлинителем, одной рукой держат циркуль за рифленую головку, а другой придерживают удлинитель за ножку с грифелем (ближе к грифелю), нажимая на нее и направляя ее по окружности.

При вычерчивании большого числа окружностей из одного центра от многократного вращения иглы отверстие на бумаге увеличивается, что приводит к смещению центра окружностей. Чтобы это предупредить, в центре окружностей устанавливают центрик — металлическая кнопка с маленьким коническим углублением в головке, которое расположено точно над иглой (рис. 27, а). В это углубление коническим концом ставят иглу ножки циркуля, как показано на рис. 27, б, где 1 — игла циркуля; 2 — центрик; 3 — бумага; 4 — чертежная доска.

Грифель ножки циркуля должен выступать на 6...8 мм. Форму заточки и твердость грифеля выбирают в зависимости от стадии выполнения чертежа. На этапе построения чертежа берут грифель твердостью Т-ТМ и затачивают на конус, остро (рис. 28, а). Для обводки

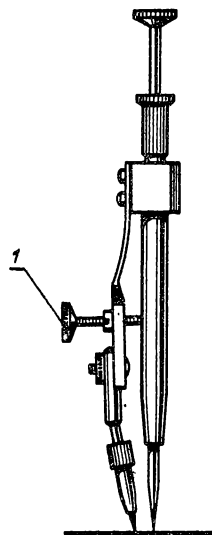


Рис. 29

грифель в циркуле должен быть на номер мягче, чем в карандаше, которым обводят прямые линии. Затачивают грифель под углом 60...75°, как показано на рис. 28, б. При обводке нужно своевременно подправлять грифель шлифовальной шкуркой, в противном случае линия обводки будет утолщаться и иметь рыхлые края.

Для вычерчивания окружностей радиусом от 2 до 12 мм применяют падающий кронциркуль (рис. 29). Раствор циркуля устанавливают с помощью регулировочного винта 1.

Ножки измерителя и циркуля не должны раздвигаться с трудом или слишком свободно. Чтобы это отрегулировать, надо ослабить или затянуть винт шарнирного устройства.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. С какого конца следует затачивать карандаш?
2. Какой должна быть длина заточки карандаша?
3. Какой твердости следует взять карандаш при выполнении построений на чертеже?
4. Для чего используются щетки?
5. Когда следует применять лекало — при построении или при обводке лекальной кривой?

## ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

### § 3. ФОРМАТЫ. РАМКА И ОСНОВНАЯ НАДПИСЬ

Формат чертежного листа бумаги выбирается в зависимости от сложности чертежа и количества изображений. Форматы листов чертежей устанавливает ГОСТ 2.301—68 (СТ СЭВ 1181—78). Они определяются размерами внешней рамки, которую выполняют на листе чертежной бумаги тонкой линией (рис. 30, а). Обычно листы имеют размеры сторон чуть больше размеров сторон форматов. При выполнении внешней рамки нужно строго выдерживать взаимную перпендикулярность сторон.

Основными форматами являются формат с размерами сторон  $1189 \times 841$  мм, площадь которого равна  $1 \text{ м}^2$ , и четыре формата, полученные последовательным делением предыдущего формата пополам так, что делительная линия проходит параллельно меньшей стороне делимого формата. Размеры сторон основных форматов и их обозначение приведены в табл. 1.

Кроме основных форматов допускается применять дополнительные форматы, образуемые увеличением коротких сторон основных форматов на величину, кратную их размерам (табл. 2). Обозначение дополнительных форматов состоит из обозначения основного формата и его кратности.

Установленные стандартом форматы используются не только для выполнения чертежей, но и других конструкторских документов.

После того как тонкой линией на листе чертежной бумаги проведена внешняя рамка, вы-

черчивается рамка, ограничивающая поле чертежа. Ее стороны идут параллельно сторонам формата на расстоянии 20 мм с левой стороны (поле для подшивки чертежа) и 5 мм с трех других сторон (рис. 30, б и в). Обводится эта рамка сплошной толстой линией. Располагать форматы можно как горизонтально (рис. 30, б), так и вертикально (рис. 30, в), кроме формата А4, который всегда располагается вертикально. Предпочтение следует отдавать горизонтально расположенному формату.

#### 1. Основные форматы

Обозначение формата	Размеры сторон формата, мм
A0	$841 \times 1189$
A1	$594 \times 841$
A2	$420 \times 594$
A3	$297 \times 420$
A4	$210 \times 297$

#### 2. Дополнительные форматы

Обозначение	Размеры сторон, мм	Обозначение	Размеры сторон, мм
A0×2	$1189 \times 1682$	A3×6	$420 \times 1783$
A0×3	$1189 \times 2523$	A3×7	$420 \times 2080$
A1×3	$841 \times 1783$	A4×3	$297 \times 630$
A1×4	$841 \times 2378$	A4×4	$297 \times 841$
A2×3	$591 \times 2181$	A4×5	$297 \times 1051$
A2×4	$591 \times 1682$	A4×6	$297 \times 1261$
A2×5	$591 \times 2102$	A4×7	$297 \times 1471$
A3×3	$420 \times 891$	A4×8	$297 \times 1682$
A3×4	$420 \times 1189$	A4×9	$297 \times 1892$
A3×5	$420 \times 1486$		

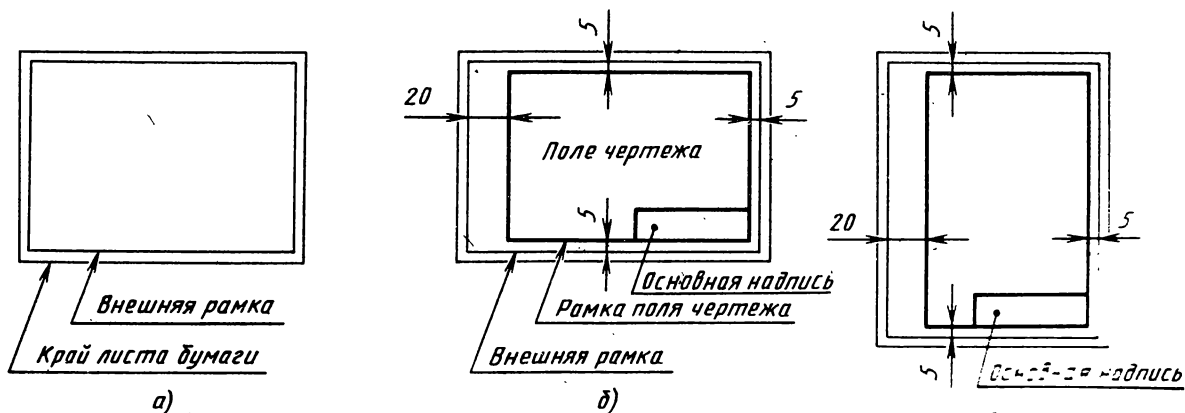


Рис. 30

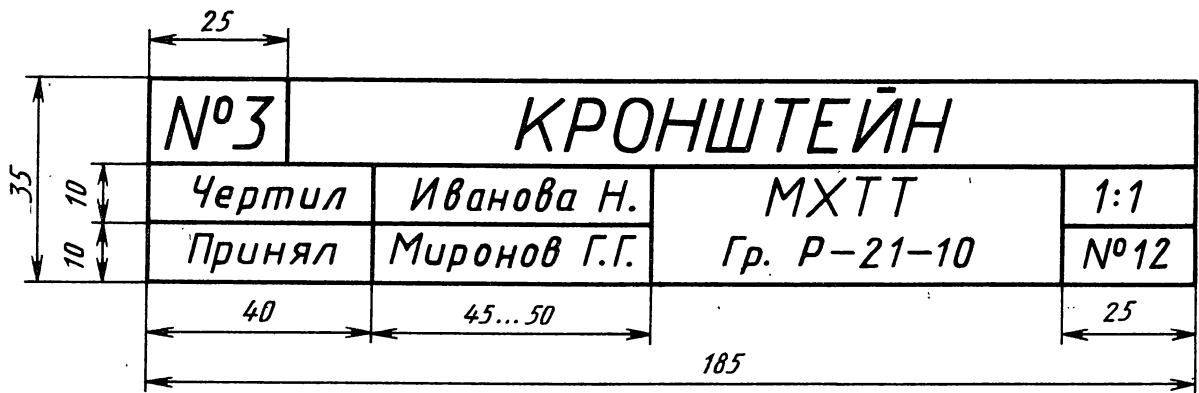


Рис. 31

Основная надпись выполняется в нижнем правом углу (рис. 30, б, в) по ГОСТ 2.104—68 (СТ СЭВ 140—74, СТ СЭВ 365—76). Допускается делать оттиск основной надписи резиновым штампом. При выполнении чертежей по геометрическому и проекционному черчению можно применять упрощенную основную надпись, показанную на рис. 31.

#### § 4. МАСШТАБЫ

Выполняя чертеж, не всегда можно изобразить предмет в его действительных размерах. Например, нельзя вычертить в натуральную величину здание или станок, их изображают в уменьшенном виде. А мелкие предметы, такие, как детали часового механизма наручных часов, необходимо увеличить, так как их не только невозможно начертить в натуральную величину и проставить размеры, но и нельзя прочитать такой чертеж. Поэтому при выполнении чертежей пользуются масштабами. Масштаб представляет собой отношение линейных размеров изображенного на чертеже предмета к их натуральной величине. Для изображения предмета в увеличенном виде применяется масштаб увеличения, а в уменьшенном виде — масштаб уменьшения. Для изображения предмета в натуральную величину используют его

действительные размеры. Масштабы согласно ГОСТ 2.302—68 (СТ СЭВ 1180—78) приведены в табл. 3. Предпочтение следует отдавать масштабу 1:1, так как по такому изображению легче судить о форме и действительных размерах предмета. В каком бы масштабе не выполнялось изображение, на чертеже проставляются действительные размеры детали. На чертеже обязательно должен указываться масштаб. Если он проставляется в специальной графе основной надписи, то пишется так: 1:1; 2:1; 1:2 (в зависимости от того, в каком масштабе выполнено изображение). Если масштаб указывается на поле чертежа, то перед числами ставится буква М, что обозначает масштаб, например, М1:1; М2:1 или М1:2.

#### § 5. ЛИНИИ ЧЕРТЕЖА

Все чертежи выполняются линиями по ГОСТ 2.303—68 (СТ СЭВ 1178—78), который устанавливает основные назначения линий и их начертания (табл. 4).




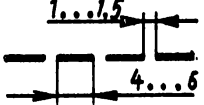

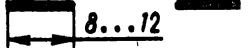
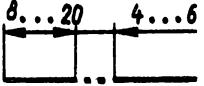
На одном чертеже толщина однотипных линий должна быть одинаковой. Толщина всех типов линий зависит от толщины сплошной толстой, основной линии, которая выбирается в пределах от 0,5 до 1,4 мм в зависимости от формата чертежа, величины и сложности изображения, а также от назначения чертежа. Наименование, начертание и толщина линий приведены в табл. 4.

На рис. 32, 39 приведены примеры использования линий на чертежах. Номера линий на рисунках соответствуют номерам пунктов в графе «Назначение» табл. 4. Обводку линий видимого контура на учебных чертежах следует выполнять толщиной от 0,6 до 0,8 мм. Проводя штриховую или штрихпунктирную линию, необходимо следить, чтобы все штрихи и промежутки между ними были равны между собой по длине.

3. Масштабы

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

#### 4. Типы линий

Наименование	Начертание	Толщина линии	Карандаш	Назначение
1. Сплошная толстая, основная		$s$ от 0,5 до 1,4 мм	М, ТМ	1. Линии видимого контура (рис. 34) 2. Линии перехода видимые (рис. 34) 3. Линии контура вынесенного сечения (рис. 34) 4. Линии рамки чертежа и основной надписи
2. Сплошная тонкая		От $\frac{s}{3}$ до $\frac{s}{2}$	2Т	5. Линии контура наложенного сечения (рис. 32) 6. Линии размерные (рис. 34) 7. Линии выносные (рис. 34) 8. Линии штриховки (рис. 34) 9. Линии-выноски (рис. 35) 10. Полки линий-выносок (рис. 35) 11. Линии ограничения выносных элементов (рис. 35) 12. Линии перехода воображаемые (рис. 33) 13. Следы плоскостей (рис. 36) 14. Оси проекций (рис. 36) 15. Линии построения проекционной связи (рис. 36)
3. Сплошная волнистая		От $\frac{s}{3}$ до $\frac{s}{2}$	ТМ	17. Линии обрыва (рис. 32) 18. Линии разграничения вида и разреза (рис. 34)
4. Штриховая		От $\frac{s}{2}$ до $\frac{s}{3}$	ТМ	19. Линии невидимого контура (рис. 34) 20. Линии перехода невидимые (рис. 33)
5. Штрихпунктирная		От $\frac{s}{3}$ до $\frac{s}{2}$	Т	21. Линии осевые (рис. 34) 22. Линии центровые (рис. 34) 23. Линии сечений, являющиеся осями симметрии для наложенных (рис. 32) и вынесенных сечений (рис. 35)
6. Разомкнутая		От $s$ до $1\frac{1}{2}s$	М, ТМ	24. Линии сечений (рис. 34)
7. Штрихпунктирная с двумя точками тонкая		От $\frac{s}{3}$ до $\frac{s}{2}$	Т	25. Линии сгиба на развертках (рис. 37) 26. Линии для изображения частей изделий в крайних или промежуточных положениях (рис. 38) 27. Линии для изображения развертки, совмещенной с видом (рис. 39)

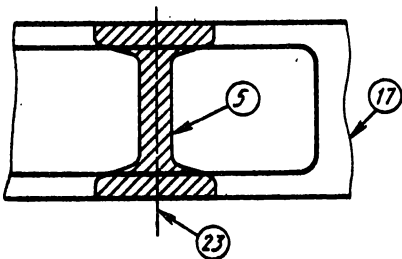


Рис. 32

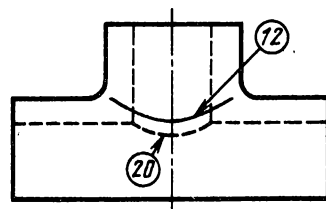


Рис. 33

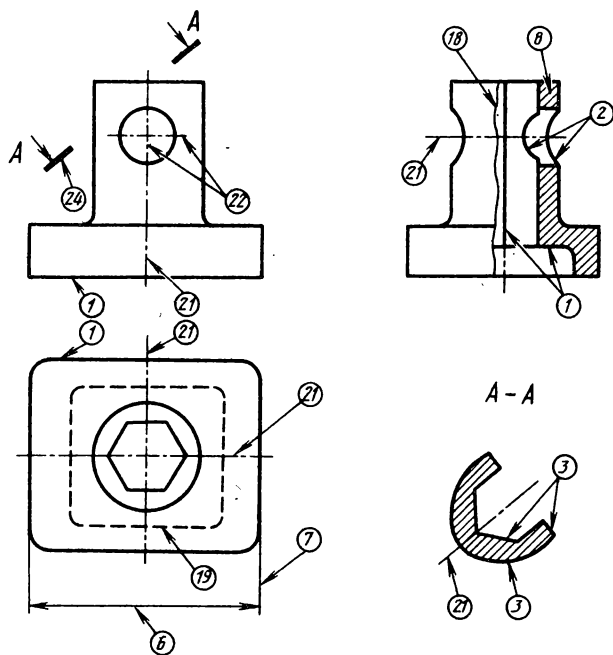


Рис. 34

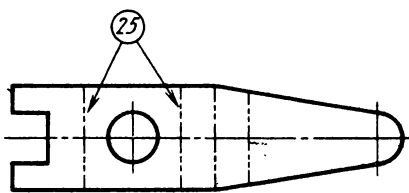


Рис. 37

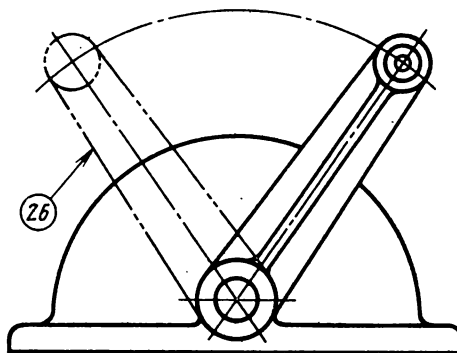


Рис. 38

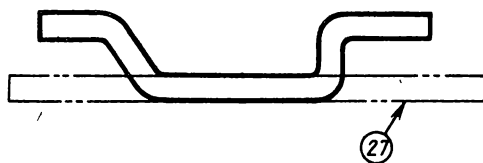


Рис. 39

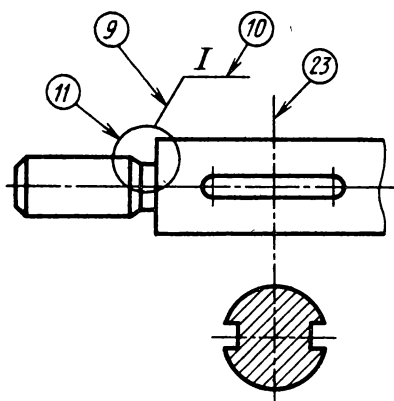


Рис. 35

## § 6. ШРИФТЫ ЧЕРТЕЖНЫЕ

Шрифтом называется однородное начертание всех букв алфавита и цифр, которое придает им общий характерный облик. Чертежный шрифт должен легко читаться и быть простым в написании. На чертежах и других конструкторских документах всех отраслей промышленности и строительства применяют чертежный шрифт, который устанавливает ГОСТ 2.304—81 (СТ СЭВ 851—78—СТ СЭВ 855—78). ГОСТ устанавливает следующие размеры шрифта: (1,8); 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40. Применение шрифта размером 1,8 не рекомендуется и допускается только для шрифта типа Б.

Размер шрифта определяется высотой прописных букв в миллиметрах. Высота букв  $h$  измеряется перпендикулярно к основанию строки.

ГОСТом установлены следующие типы шрифта: тип А с наклоном около  $75^\circ$ ; тип А без наклона; тип Б с наклоном около  $75^\circ$ ; тип Б без

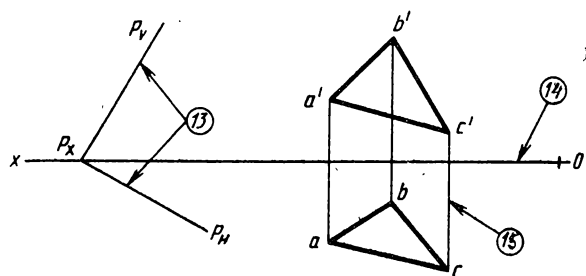


Рис. 36

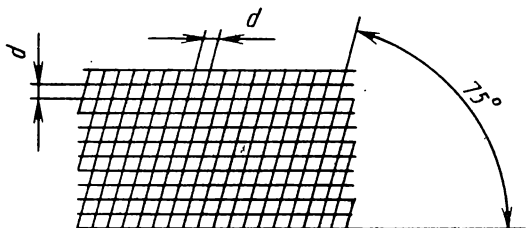


Рис. 40

наклона. В учебных заведениях обычно пользуются шрифтом типа Б с наклоном  $75^\circ$ .

Для изучения конструкции букв и цифр и приобретения навыков их написания следует выполнить несколько надписей с помощью вспомогательной сетки. Сетка состоит из тонких горизонтальных и наклонных линий, проведенных под углом  $75^\circ$  к горизонтальной линии, и выполняется карандашом 2Т. Расстояние между параллельными линиями сетки равно толщине линий шрифта  $d$ , выбранного для написания (рис. 40). Толщина линий шрифта  $d$  (рис. 41) определяется в зависимости от типа и высоты шрифта  $h$  (размера шрифта).

Размеры таких параметров, как расстояние между буквами в словах  $a$ , ширина букв и цифр  $g$ , минимальное расстояние между словами  $e$ , расстояние между основаниями строк  $b$  (рис. 41), для наиболее применяемых размеров шрифта типа Б следует брать из табл. 5.

Если в предложении есть знаки препинания, то расстояние между словами определяется расстоянием от знака препинания до первой буквы следующего слова (рис. 41).

Если надпись начинается с прописной буквы, а остальные буквы строчные, то высота строчных букв, кроме букв б, в, д, р, у, ф равна предыдущему размеру шрифта (рис. 41). На-

пример, если надпись выполняется шрифтом размером 10, то высота строчных букв равна 7 мм. Высота строчных букв б, в, д, р, у, ф равна высоте прописных букв размера шрифта, которым выполняется надпись.

Толщина обводки прописных и строчных букв в одном слове должна быть одинаковой согласно принятому размеру шрифта. Если надпись выполняется только прописными буквами, то первая буква по высоте не выделяется; все буквы имеют одинаковую высоту.

Конструкции цифр и букв русского алфавита для шрифта типа Б показаны на рис. 42. Для наглядности прямолинейные участки затушеваны, а скругления и наклонные элементы оставлены светлыми. Промежутки между двумя смежными буквами, имеющими непараллельные пограничные линии, зрительно кажутся увеличенными, поэтому в сочетаниях букв *ЛЛ*, *ГЛ*, *АД*, *АЛ*, *КА*, *ГД* промежутков между буквами уменьшают в два раза, а в сочетаниях *ГА* и *ТА* не делают совсем. Сравните два написания одного слова (рис. 43). Первое слово выполнено с одинаковыми промежутками между всеми буквами (рис. 43, а). Во втором слове (рис. 43, б) между буквами *К* и *А* промежутков уменьшен наполовину, а между буквами *Г* и *А* его нет совсем.

Все надписи на чертежах выполняются от руки. При изучении конструкции букв и цифр необходимо пользоваться вспомогательной сеткой, показанной на рис. 40, овладев навыками написания шрифта, следует применять упрощенную вспомогательную сетку (рис. 44), которая ограничивает высоту и ширину букв, промежутки между буквами и словами. Размеры элементов букв и цифр лучше откладывать по самодельной разметочной линейке, сделанной из бумаги, так как из-за толщины обычной линейки размеры переносятся неточно.

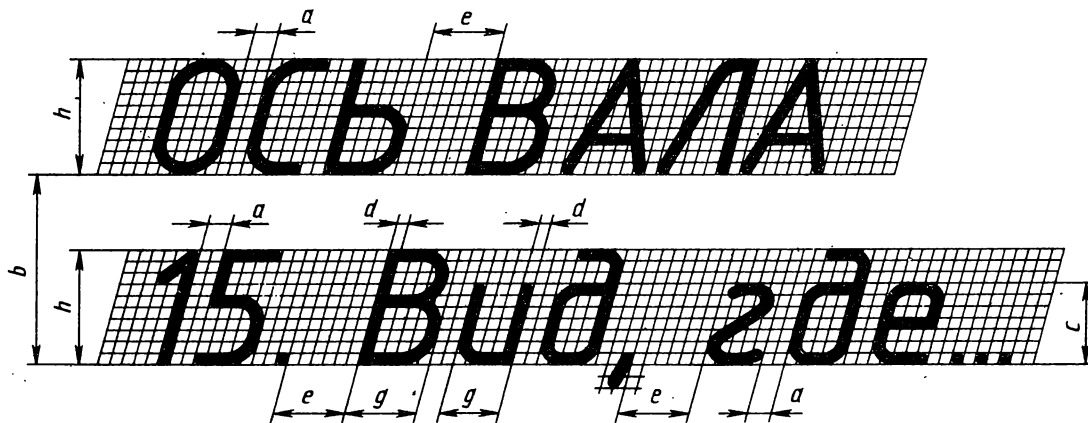


Рис. 41

Б В З О Р С Ч Ф

Ч Ъ Ы Ь Э Ю Я

Д Ж И К Л М А Х

2 3 3 5 6 8 9 0

Г Е Н П Т Ц Ш Щ

1 4 7

а о б з д е ш ѵ п р т

у ф ц ш щ

Рис. 42.

### 5. Размеры параметров шрифта

Параметры шрифта		Обозначение	Относительный размер		Размеры, мм				
Прописные буквы и цифры	Высота	$h$	$(^{10}/_{10})h$	$10d$	3,5	5,0	7,0	10,0	
	Ширина букв и цифр	А, Д, М, Х, Ы, Ю	$g$	$(^7/_{10})h$	$7d$	2,4	3,5	4,9	7,0
		Б, В, И, Й, Л, Н, О, П, Р, Т, У, Ц, Ч, Ъ, Э, Я, 4		$(^6/_{10})h$	$6d$	2,1	3,0	4,2	6,0
		Г, Е, З, С, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 0		$(^5/_{10})h$	$5d$	1,7	2,5	3,5	5,0
		Ж, Ф, Ш, Ъ		$(^8/_{10})h$	$8d$	2,8	4,0	5,6	8,0
l	$(^3/_{10})h$	$3d$	1,0	1,5	2,1	3,0			
Строчные буквы	Высота	а, г, е, ж, и, к, л, м, н, о, п, с, т, х, ц, ш, щ, ы, ь, ю, ь, я	$c$	$(^7/_{10})h$	$7d$	2,5	3,5	5,0	7,0
		б, в, д, р, у, ф		$(^{10}/_{10})h$	$10d$	3,5	5,0	7,0	10,0
	Ширина	а, б, в, г, д, е, и, к, л, н, о, п, р, у, х, ц, ч, ь, ь, я	$g$	$(^5/_{10})h$	$5d$	1,7	2,5	3,5	5,0
		з, с		$(^4/_{10})h$	$4d$	1,4	2,0	2,8	4,0
		м, ы, ю		$(^6/_{10})h$	$6d$	2,1	3,0	4,2	6,0
		т, ж, ф, ш, щ		$(^7/_{10})h$	$7d$	2,4	3,5	4,9	7,0
	Расстояние между буквами и цифрами		$a$	$(^2/_{10})h$	$2d$	0,7	1,0	1,4	2,0
Расстояние между основаниями строк		$b$	$(^{17}/_{10})h$	$17d$	6,0	8,5	12,0	17,0	
Наименование расстояния между словами		$e$	$(^6/_{10})h$	$6d$	2,1	3,0	4,2	6,0	
Толщина линий шрифта		$d$	$(^1/_{10})h$	$1d$	0,35	0,5	0,7	1,0	

Примечание. Ширина букв «ц» и «щ» дана в таблице без «хвостиков».

Эта линейка изготавливается следующим образом. Берется полоска бумаги и накладывается на линейку со стороны деления. Затем остро за-

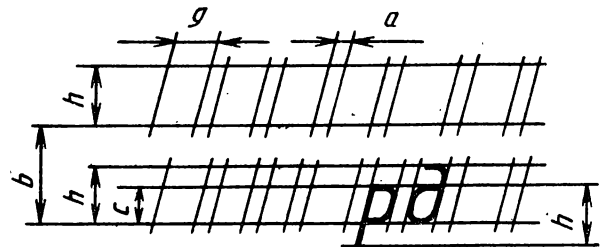


Рис. 44



а)



б)

Рис. 43

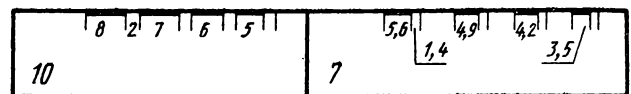


Рис. 45

точным карандашом на полоске отмечают штрихами ширину букв и промежутков между ними и ставят размер (рис. 45). Такие разме-

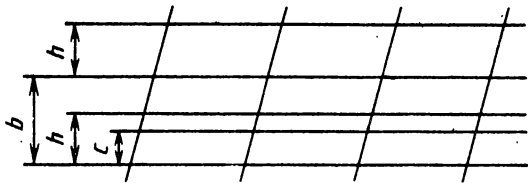


Рис. 46

точные линейки изготавливают для разных размеров шрифта и на каждой проставляют размер шрифта, чтобы не перепутать.

При достаточном навыке выполнения надписей используют более упрощенную разметочную сетку (рис. 46), на которой проводят горизонтальные линии для размеров  $h$ ;  $c$  и  $b$  и несколько наклонных линий под углом  $75^\circ$  для того, чтобы не сбиваться с заданного наклона букв и цифр.

Пример написания букв и цифр с помощью упрощенной вспомогательной сетки показан на рис. 47. На расстоянии размера шрифта проведены две тонкие линии, которые ограничивают высоту букв и цифр. Между ними, посередине, проводят третью вспомогательную линию. На рис. 47, а показаны буквы, средние элементы которых располагаются над линией, на рис. 47, б буквы, средние элементы которых находятся под средней линией. Горизонталь-

ные элементы буквы А и цифры 4 выполняются с помощью линии, которая проводится на расстоянии  $1/4h$  от основания строки (рис. 47, б и в). Написание некоторых цифр приведено на рис. 47, в. Цифра 3 имеет две конструкции написания.

Конструкции букв латинского алфавита показаны на рис. 48, а римских цифр — на рис. 49. ГОСТ допускает ограничивать римские цифры горизонтальными линиями (рис. 49, I и V).

На рис. 50 выполнены наиболее часто применяемые знаки. Их наименования приведены в табл. 6.

6. Знаки

Номер знака на рис. 50	Наименование	Номер знака на рис. 50	Наименование
1	Точка	12	Умножение
2	Двоеточие	13	От ... до
3	Запятая	14	Процент
4	Точка с запятой	15	Градус
5	Восклицательный знак	16	Минута
6	Вопросительный знак	17	Секунда
7	Кавычки	18	Уклон
8	Равенство	19	Конусность
9	Минус	20	Квадрат
10	Плюс	21	Диаметр
11	Плюс — минус	22	Номер

**Б В З Ъ Ы Ь Э Ю Ж Е Н**

а)

**Р Ч Я М К А**

б)

**3 5 6 8 9 4**

в)

Рис. 47

A B C D E F G H I J K L

M N O P Q R S T U V

W X Y Z

Рис. 48

a b c d e f g h i j k l m n

o p q r s t u v w x y z

I II III IV V VI VII

Рис. 49

VIII IX X XI XII

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13  
: ; ! ? " = - + ± × ...

Рис. 50

14 15 16 17 18 19 20 21 22  
% ° ' " > < □ ∅ №

## § 7. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА НАНЕСЕНИЯ РАЗМЕРОВ НА ЧЕРТЕЖАХ

Правила нанесения размеров на чертежах устанавливает ГОСТ 2.307—68 (СТ СЭВ 1976—76, СТ СЭВ 2180—80). Число размеров на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для изготовления изделия. Лишние размеры перегружают чертеж. Каждый размер на чертеже указывается один раз.

Размеры на чертежах указываются размерными числами и размерными линиями со стрелками на концах.

Размеры предпочтительно проставлять вне контура изображения. Для этого с помощью выносных линий размер выносят за пределы изображения. Выносная линия должна выходить за концы стрелок размерной линии на 1...5 мм, на учебных чертежах — на 2...3 мм (рис. 51). Размерная линия проводится параллельно прямолинейному отрезку, размер которого указывается. Выносные и размерные линии располагаются перпендикулярно друг к другу. Допускается проведение выносной линии не под прямым углом к размерной линии, при этом выносные линии, размерная линия и измеряемый отрезок образуют параллелограмм (рис. 52). Если требуется показать расстояние между вершинами скругляемых углов (рис. 53), то выносные линии проводятся от точек пересечения тонко проведенных сторон скругляемых углов. Размерные и выносные линии выполняют сплошными тонкими линиями. Стрелки размерных линий упираются в выносные линии или в соответствующие контурные, центровые или осевые линии (рис. 54). Форма стрелки и примерное соотношение ее элементов показаны на рис. 55, где  $s$  — толщина обводки линии видимого контура, от которой зависит величина элементов стрелки;  $h$  — расстояние между створками стрелки;  $l$  — длина стрелки. На учебных чертежах длину стрелки следует брать примерно  $(5,5 \dots 6) s$ , что обеспечивает форму стрелки по ГОСТ 2.307—68.

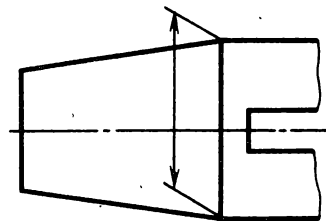


Рис. 52

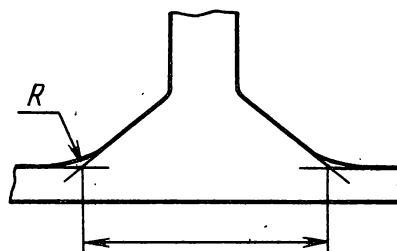


Рис. 53

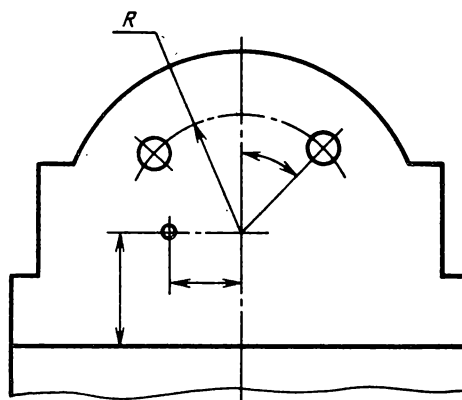


Рис. 54

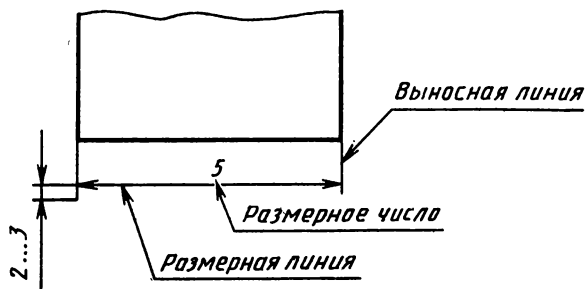


Рис. 51

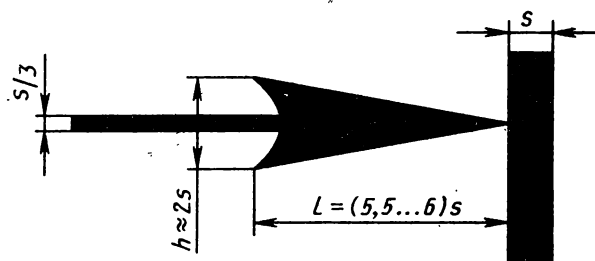


Рис. 55

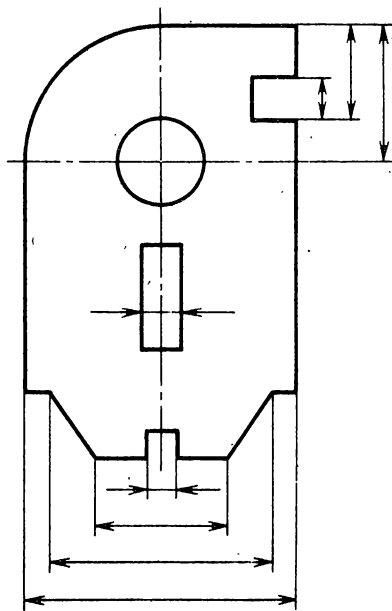


Рис. 56

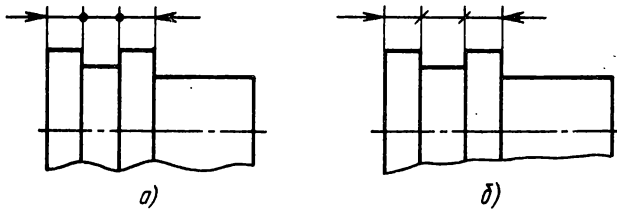


Рис. 57

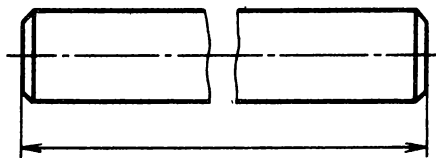


Рис. 58

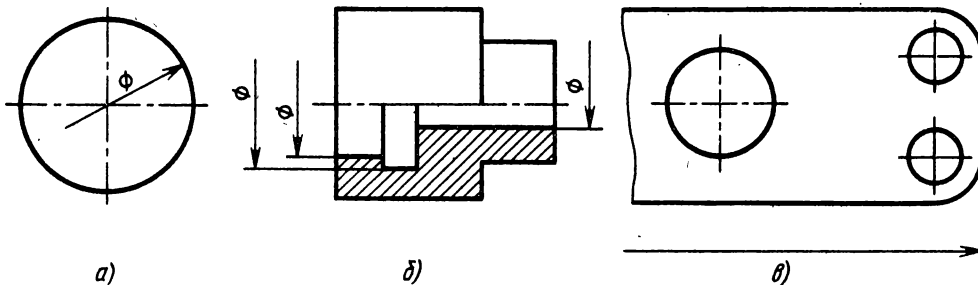


Рис. 59

При нанесении размеров нужно стремиться к тому, чтобы все стрелки были одинаковыми. Выполнять их следует остро заточенным карандашом ТМ или М.

Нельзя использовать в качестве размерных линий контурные, осевые и центровые линии.

Расстояние от первой размерной линии до линии контура изображения должно быть не менее 10 мм, а между параллельными размерными линиями не менее 7 мм (рис. 56).

При простановке большого числа размеров необходимо избегать пересечения размерных и выносных линий. Для этого следует соблюдать порядок простановки размеров: сначала размеры мелких элементов чертежа, затем крупных. Завершают простановку размеров габаритные размеры: длина, высота, ширина детали.

Нельзя проводить размерную линию так, чтобы концы стрелок упирались в точки пересечения линий контура, осевых или центровых линий. От этих точек нужно провести выносные линии.

Если длина размерной линии недостаточна для размещения на ней стрелок, то размерную линию продолжают за выносные или контурные линии и стрелки наносят снаружи от этих линий обращенными остриями друг к другу (рис. 56).

При недостатке места для стрелок на размерных линиях, расположенных цепочкой, их можно заменить точками (рис. 57, а) или засечками (рис. 57, б). Засечки проводятся под углом 45° к размерной линии, длиной 3 мм.

Если деталь изображается с разрывом, размерная линия не прерывается (рис. 58).

Допускается размерную линию проводить с обрывом при указании размера диаметра окружности, при этом размерная линия обрывается за центром окружности (рис. 59, а). Если на чертеже симметричного предмета элементы изображены только до оси симметрии или с обрывом, то размерные линии, относящиеся к

этим элементам, проводят с обрывом и обрыв размерной линии делают дальше оси или линии обрыва (рис. 59, б и в).

При недостатке места для стрелок из-за близко расположенных контурных линий контурные линии можно прерывать (рис. 60).

Размерные числа ставят над размерной линией на расстоянии 1...1,5 мм, параллельно ей, и по возможности ближе к середине под углом 75°. На учебных чертежах высота размерных чисел равна 3,5 мм. Размерные

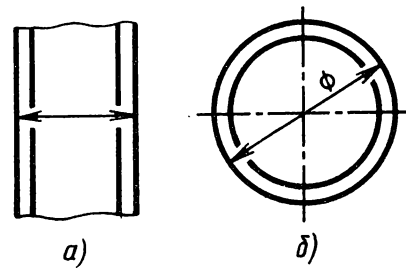


Рис. 60

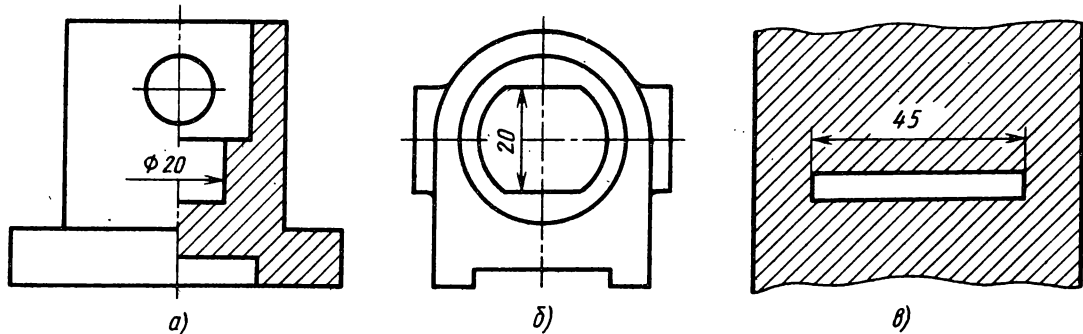


Рис. 61

числа не зависят от масштаба, в котором выполнен чертеж, они всегда соответствуют действительным размерам изображенного предмета.

Линейные размеры на чертеже указываются в миллиметрах без указания единицы измерения при размерном числе. Применять простые дроби для размерных чисел не допускается, за исключением размеров в дюймах.

Не допускается разрывать линию контура для нанесения размерных чисел и наносить их в местах пересечения размерных, осевых и центровых линий. Если размерные числа попадают на осевые линии (рис. 61, а), центровые (рис. 61, б) или линии штриховки (рис. 61, в), то эти линии прерывают.

При нанесении нескольких параллельных размерных линий размерные числа над ними располагают в шахматном порядке (рис. 62).

Если размерная линия вертикальная, то размерное число пишут слева от нее (рис. 63).

Размерные числа линейных размеров при различных наклонах размерных линий располагают, как показано на рис. 64. Если размерная линия от вертикального положения отклонилась влево, то размерное число наносят справа от нее, над размерной линией. Если

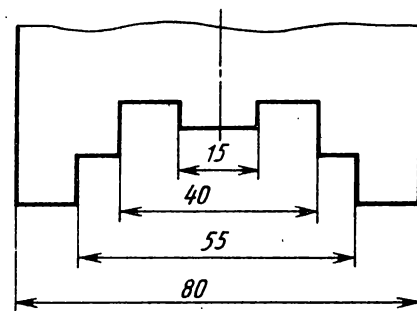


Рис. 62

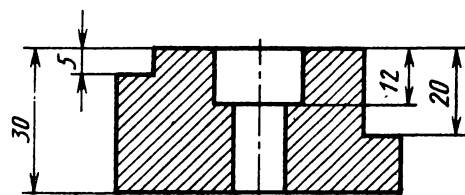


Рис. 63

размерная линия отклонилась вправо от вертикального положения, то размерное число наносят над размерной линией слева. Если угол отклонения размерной линии от вертикального положения меньше или равен  $30^\circ$  (заштрихованная зона на рис. 65, а), то размерное число следует располагать над полкой линии-выноски (рис. 65, б).

Если для размерного числа недостаточно места, то размер следует наносить, как показано на рис. 66.

Размеры, относящиеся к одному и тому же конструктивному элементу (пазу, углублению, выступу, отверстию и т. п.), следует группировать в одном месте, располагая их на том изображении, где более полно показан этот элемент (рис. 67).

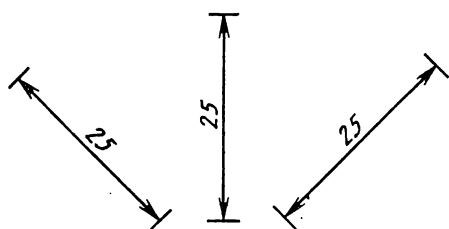


Рис. 64

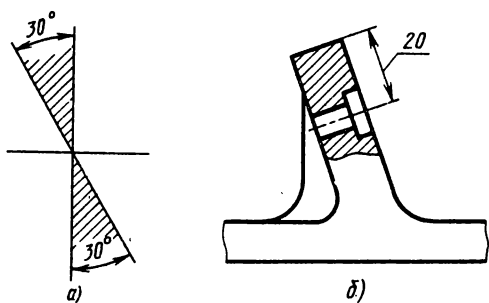


Рис. 65

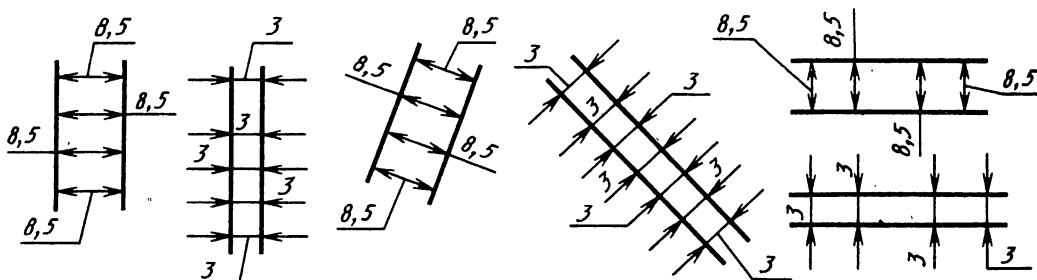


Рис. 66

Не допускается наносить на чертеже размеры в виде замкнутой цепи. На одном участке этой цепи размер не проставляют, так как он получится в процессе изготовления детали (рис. 68). Исключение составляют строительные чертежи или чертежи, на которых один из размеров дается как справочный. Справочным размером называется размер, не подлежащий выполнению по данному чертежу. Он указывается только для удобства пользования чертежом. Справочные размеры на чертеже отмечают знаком «\*» (рис. 69).

Следует избегать простановки размеров к невидимому контуру.

Нанесение размеров углов. Угловые размеры указывают в градусах, минутах и секундах с обозначением единицы измерения, например:  $45^\circ$ ;  $60^\circ 25' 30''$ , и наносят так, как показано на рис. 70. Размерная линия проводится в виде дуги с центром в вершине угла, а выносные линии — радиально. Размерное число наносят над размерной дугой со стороны ее вогнутости, если размерная линия расположена ниже горизонтальной осевой линии, и со стороны ее выпуклости, если она расположена выше горизонтальной осевой линии.

Размерное число наносят под углом  $75^\circ$  относительно прямой линии, которую мысленно проводят между концами стрелок размерной дуги. В заштрихованной на рис. 70 зоне размеры наносить не рекомендуется, но если этого избежать нельзя, то их следует располагать над горизонтально расположенной полкой линии-выноски. Для углов малых размеров при недостатке места размерное число также наносят над полкой линии-выноски (рис. 70, угол  $10^\circ$ ).

Размерные числа, расположенные над несколькими concentрическими размерными линиями, смещаются в шахматном порядке (рис. 71).

Нанесение размеров радиусов показано на рис. 72. Перед размерным числом ставится прописная буква R. Знак радиуса

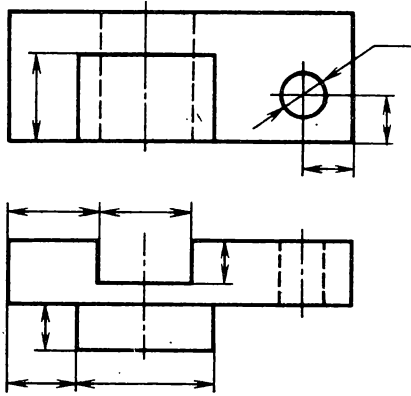


Рис. 67

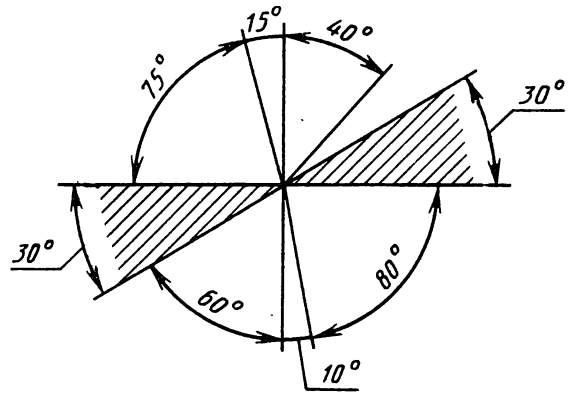


Рис. 70

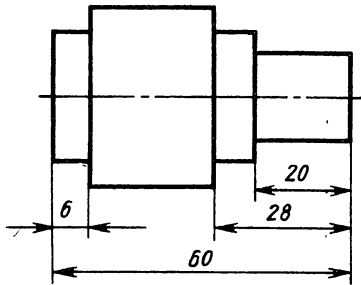


Рис. 68

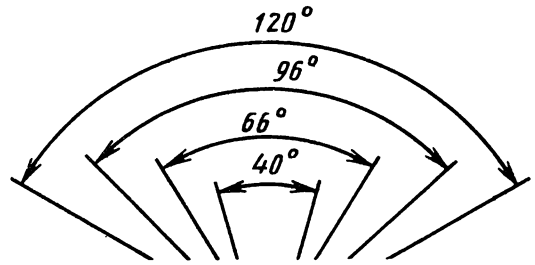


Рис. 71

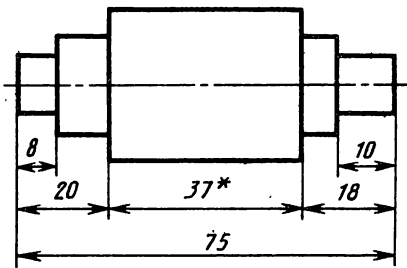


Рис. 69

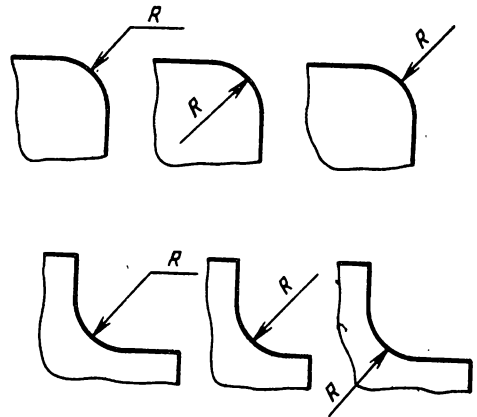


Рис. 72

и размерное число выполняются шрифтом одного размера. Размерная линия проводится через центр или в направлении центра дуги окружности. Стрелка на такой размерной линии выполняется только на конце, упирающемся в линию дуги. Если необходимо на чертеже указать размер, определяющий положение центра дуги окружности, то через этот центр проводят взаимно перпендикулярные центровые или выносные линии. Размерная линия при этом должна проходить через центр дуги окружности (рис. 73). Если же не требуется указывать размеры, определяющие положение центра дуги окружности, то размерную линию

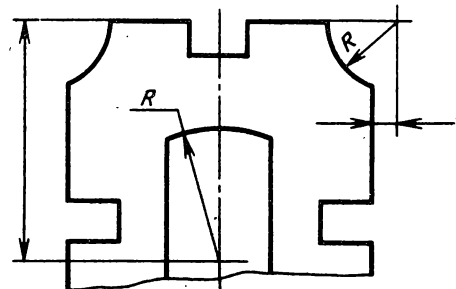


Рис. 73

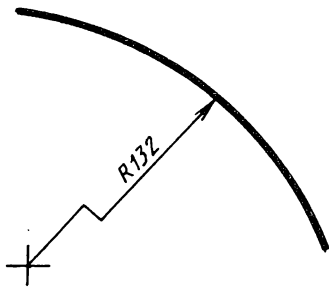


Рис. 74

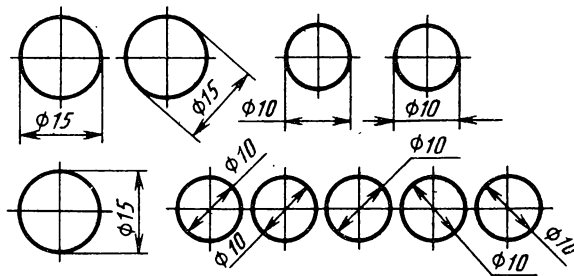


Рис. 78

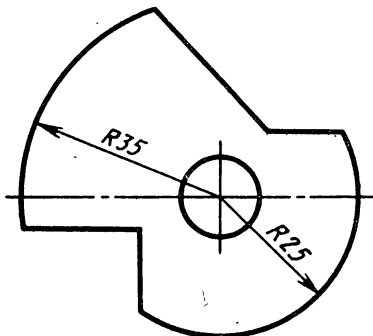


Рис. 75

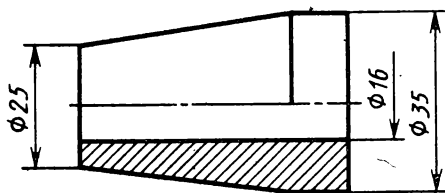


Рис. 76

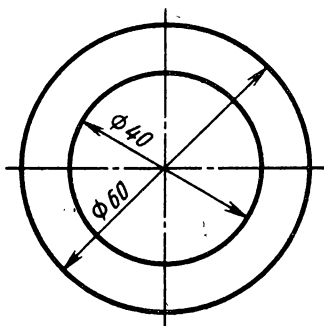


Рис. 77

радиуса допускается не доводить до центра и смещать ее относительно центра.

При большой величине радиуса, когда центр дуги окружности находится далеко от дуги, допускается приближать центр к дуге на произвольное расстояние, при этом размерную линию проводят с изломом под углом  $90^\circ$  (рис. 74).

Если из одного центра проводится несколько размерных линий радиусов дуг, то нужно следить за тем, чтобы две размерные линии не располагались на одной прямой (рис. 75).

Если на чертеже радиусы скруглений одинаковы или какой-либо радиус является преобладающим, то рекомендуется эти радиусы на изображении не проставлять, а на поле чертежа над основной надписью сделать запись типа: «Неуказанные радиусы 3 мм»; «Радиусы скруглений 6 мм» и т. п.

Нанесение размеров диаметров показано на рис. 76 и 77. Перед размерным числом ставится знак « $\phi$ ». Высота знака равна размеру шрифта размерного числа. Угол наклона штриха знака примерно  $60 \dots 70^\circ$ . Диаметр окружности знака берется несколько меньше высоты цифры размерного числа (см. рис. 50, п. 21). Предпочтительнее указывать размеры диаметров на той проекции, где окружность изображается отрезком, как показано на рис. 76. В случае нанесения размера диаметра внутри окружности размерную линию следует проводить под углом  $30 \dots 45^\circ$  к центровым линиям, как показано на рис. 77. Допускается проведение размерных линий с обрывом (см. рис. 59, а и рис. 76). Если для написания размерного числа внутри окружности недостаточно места, то размеры наносят, как показано на рис. 78. Если недостаточно места и для стрелок, то размеры окружностей следует наносить, как показано на рис. 79.

Если на чертеже имеется несколько одинаковых отверстий, то их размер указывается один раз, а их число пишется перед размерным числом (рис. 80, а) или под полкой линии-выноски (рис. 80, б). При нанесении раз-

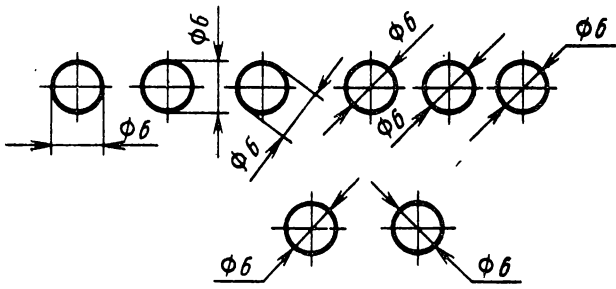


Рис. 79

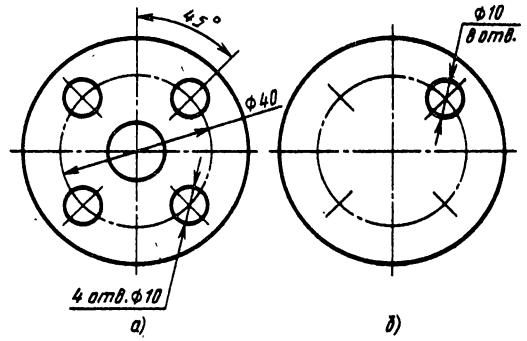


Рис. 80

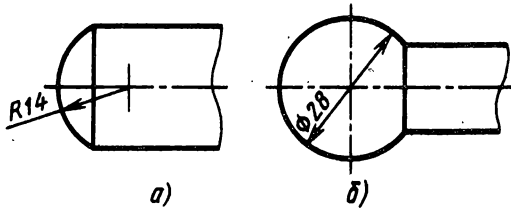


Рис. 81

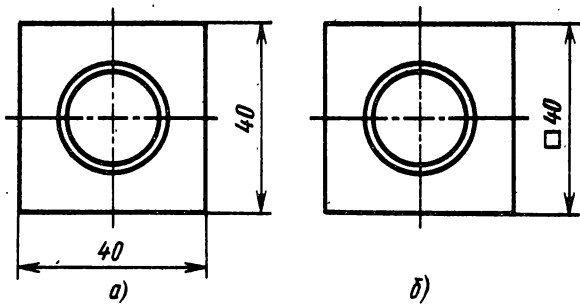
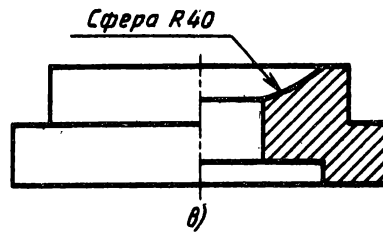


Рис. 82

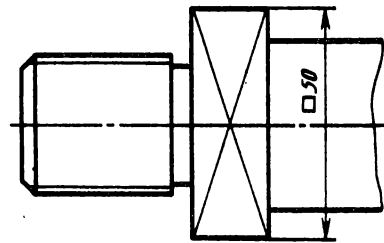


Рис. 83

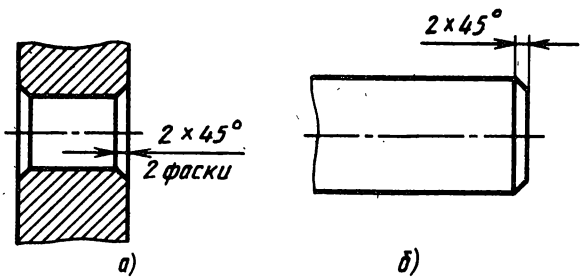


Рис. 84

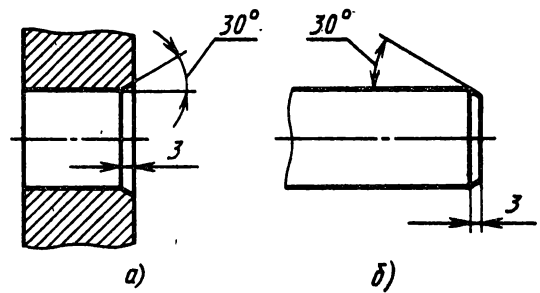


Рис. 85

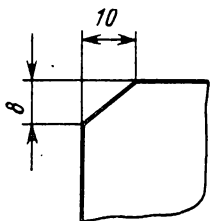


Рис. 86

меров элементов, равномерно расположенных по окружности, вместо угловых размеров, определяющих взаимное расположение элементов (например, отверстий), указывают только их количество (рис. 80, б).

При нанесении размера диаметра или радиуса сферы ставится знак « $\emptyset$ » или «R» без надписи «Сфера» (рис. 81, а, б). Если сферу трудно отличить от других поверхностей, то допускается перед знаком « $\emptyset$ » или «R» писать слово «Сфера» или знак «O», например, «O R6»; «Сфера  $\emptyset 20$ »; «Сфера R40» (рис. 81, в). Если на чертеже изображено меньше половины сферы, то ставят знак радиуса (R), если больше половины — знак диаметра ( $\emptyset$ ). Высота знака сферы равна высоте размерных чисел.

Нанесение размеров квадрата показано на рис. 82. Если размер ставят только с одной стороны (рис. 82, б), то перед размерным числом ставят знак «□». Если квадрат изображен на чертеже прямой линией, то размер квадрата также ставится со знаком «□» (рис. 83). Тонкие линии, проведенные по диагонали, обозначают плоскую поверхность, чтобы при чтении чертежа не принять этот элемент за цилиндрический.

Размеры фасок, выполненных под углом  $45^\circ$ , наносят, как показано на рис. 84, где первое число указывает высоту фаски, а второе — угол наклона образующих. Размеры фасок, имеющих угол, отличный от  $45^\circ$ , указывают линейным и угловым размерами (рис. 85) или двумя линейными размерами (рис. 86).

## § 8. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЧЕРТЕЖЕЙ

Прежде чем приступить к выполнению чертежа, необходимо подготовить рабочее место и привести в рабочее состояние чертежные инструменты и принадлежности (см. § 1 и 2).

Если чертежная доска кладется для работы на стол, то ее нужно установить с наклоном  $15...30^\circ$  к поверхности стола.

Проверьте размеры формата чертежного листа и прикрепите его к чертежной доске.

Это делается так: чертежный лист располагают под рейшиной на высоте, удобной для работы (это зависит от формата листа), затем верхний край листа выравнивают по верхней кромке рейшины и, стараясь не сдвинуть его, прикрепляют кнопками. Сначала — верхний левый угол формата, потом — нижний правый угол, затем — нижний левый угол и верхний правый. Следите при этом, чтобы лист плотно прилегал к чертежной доске. Кнопку не следует вращать пальцем, чтобы не сделать отверстие в бумаге. Иначе лист при работе будет смещаться, что может привести к неточности в построениях.

Чертежные инструменты и принадлежности располагают с левой стороны от чертежной доски. Оселок и шлифовальную шкурку не следует класть на чертежную доску, чтобы не испачкать чертеж графитной пылью. Дневной свет должен падать на рабочее место слева, а электрическое освещение должно быть рассеянным и не давать теней.

Чертежи выполняют в два этапа. Сначала чертеж строят твердым карандашом в тонких линиях, а затем проверенный чертеж обводят мягким карандашом. После обводки лишние линии построения стирают. Не следует проводить вспомогательные линии большей длины, чем этого требует построение.

Перед обводкой, если поверхность чертежа в процессе работы приобрела серый оттенок, чертеж можно протереть мелко раскрошенным черствым белым хлебом (без корок), осторожно растирая его ладонью. Затем крошки смахивают чистой тряпочкой или флейцем (плоской широкой кистью). Ими же смахивают и крошки от резинки.

Начинать обводку чертежа нужно сверху слева. Нижнюю часть чертежа накрывают чистой белой бумагой, чтобы чертеж не пачкался. На одном чертеже однотипные линии должны быть одинаковые по толщине и яркости. Если грифель заточен на конус, карандаш следует периодически поворачивать, чтобы конец стержня снашивался равномерно. Линию проводят без остановки в одном направлении.

Если на чертеже имеются дуги, окружности или лекальные кривые, то обводку нужно начинать с них. Далее обводят прямые линии видимого, затем невидимого контуров, осевые и центровые линии, линии штриховки, выносные и размерные линии. В последнюю очередь обводят рамку чертежа и основную надпись. Горизонтальные линии обводят слева направо, а вертикальные и наклонные — сверху вниз. Обводку нужно проводить так, чтобы обводящая тонкая линия построения проходила посередине линии обводки (рис. 87, а, б). Если

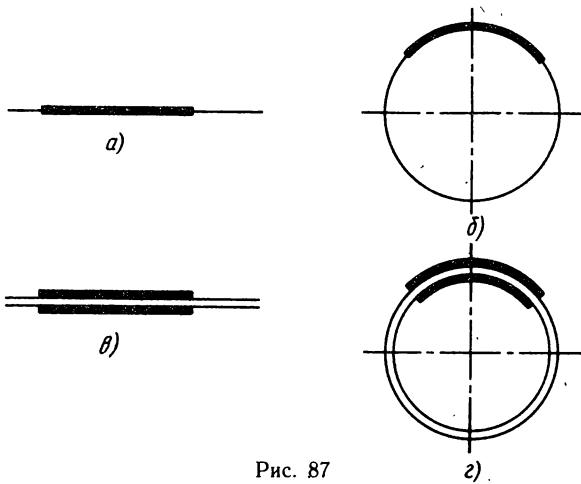


Рис. 87

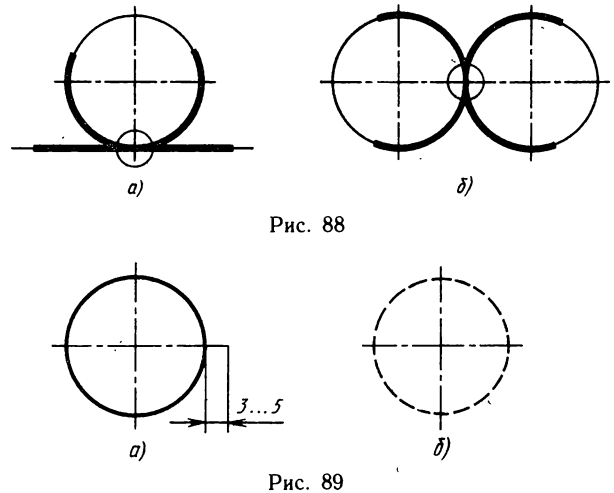


Рис. 88

Рис. 89

линии расположены очень близко друг к другу, допускается обводить их так, как показано на рис. 87, в, г, слегка смещая обводку, чтобы линии не сливались.

При обводке двух касающихся линий линия обводки в точке касания не должна утолщаться (рис. 88). Участки, о которых идет речь, обведены на чертеже кружками.

При плавном переходе криволинейного участка (лекальной кривой или дуги окружности) в прямую линию сначала обводится криволинейный участок до точки перехода, а потом прямая линия. При этом начинать обводку прямой линии следует от точки перехода, чтобы избежать неточной стыковки.

Центровые линии должны пересекаться в центре окружности штрихами (рис. 89) и выходить за окружность на 3...5 мм (рис. 89, а). Если окружность обводится штриховой линией, то центровые линии должны пересекаться со штрихами (рис. 89, б).

Если штриховой линией обводится угол, то в вершине угла два штриха должны сойтись (рис. 90, цифра 1). Осевая линия (штрихпунктирная) должна выходить за контур изображения на 3...5 мм и заканчиваться штрихом (рис. 90, цифра 2). Начинаться и заканчиваться штриховая линия должна штрихом (рис. 90, цифры 3 и 4). Штриховые и штрихпунктирные линии должны пересекаться штрихами (рис. 90, цифра 5).

Сечения и разрезы штрихуются сплошными тонкими линиями под углом 45° к линиям рамки чертежа (рис. 91) в одном направлении с одинаковыми расстояниями между штрихами сколько бы сечений и разрезов не было на чертеже. Расстояние между линиями одинаковое и выбирается от 1 до 10 мм в зависимости от площади штриховки. На учебных чертежах этот интервал берут в пределах 1,5...4 мм.

Если направление линий штриховки совпадает с линиями контура (рис. 92, а) или осевыми линиями (рис. 93, а), то штриховку следует

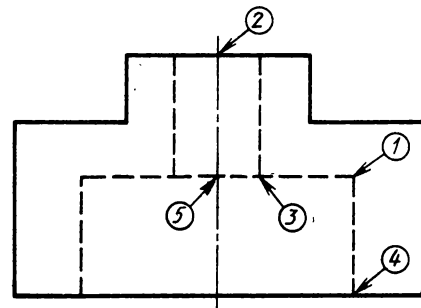


Рис. 90

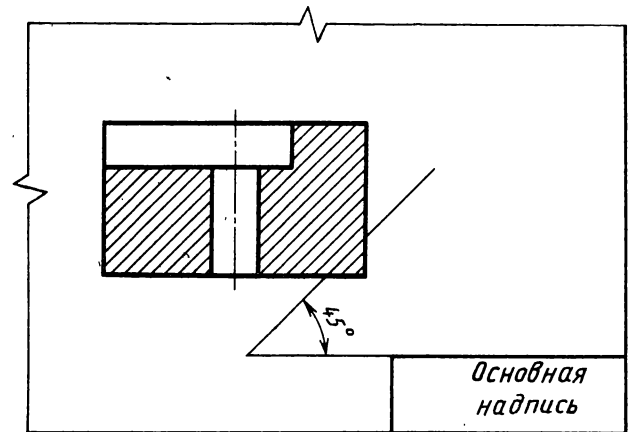


Рис. 91

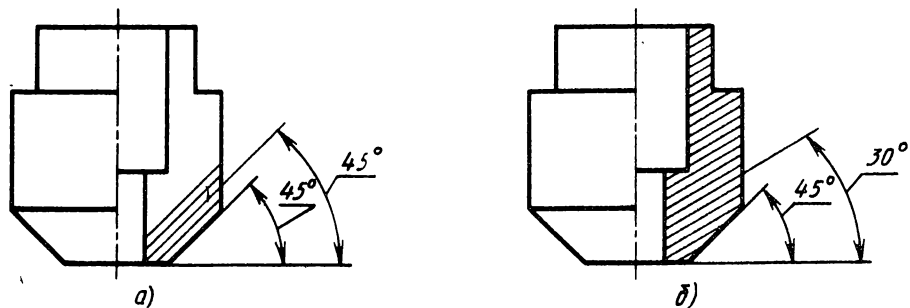


Рис. 92

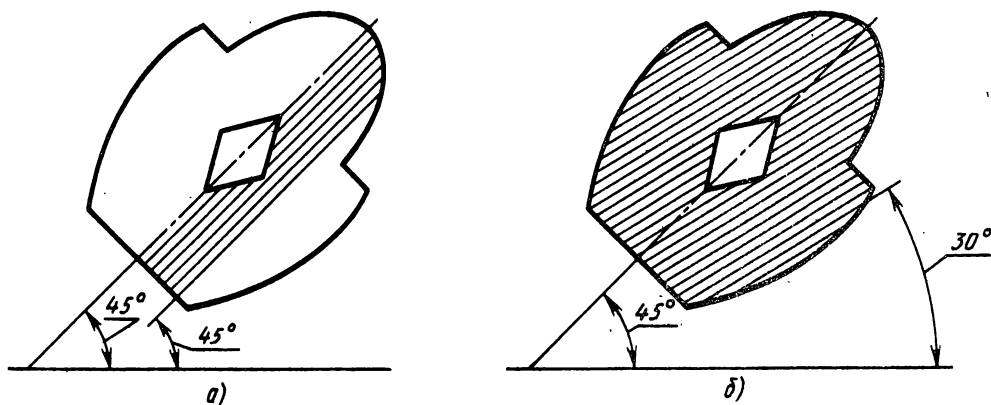


Рис. 93

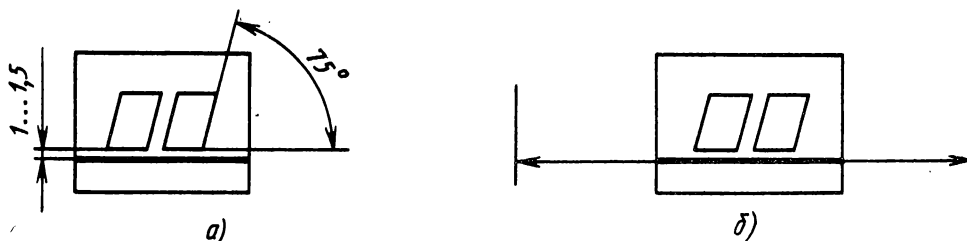


Рис. 94

выполнять под углом 30 или 60° (рис. 92, б и 93, б).

Чтобы цифры размерных чисел на поле чертежа имели одинаковую высоту, можно изготовить трафарет из чертежной бумаги (рис. 94) и, пользуясь им, наносить размеры. Размеры прорезей соответствуют шрифту 3,5. На трафарете проводят линию на расстоянии 1...1,5 мм от нижнего края прорези. Трафарет накладывается на чертеж так, чтобы линия на трафарете совпала с размерной линией (рис. 94, б).

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Нужно ли уменьшать проставляемые на чертеже размеры, если чертеж выполнен в масштабе 1:5?
2. Какова длина штрихов штрихпунктирной и штриховой линии?
3. На каком расстоянии от контура проводится размерная линия?
4. На какое расстояние за контур детали выходят осевые и центровые линии?
5. Какое расстояние должно быть между параллельными размерными линиями?
6. На какое расстояние должны выходить выносные линии за концы стрелок размерной линии?

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ

Геометрические построения широко применяются при решениях различных задач графическим способом с использованием чертежных инструментов. Точность чертежа зависит от правильности и аккуратности выполнения геометрических построений. Геометрические построения выполняются твердым карандашом (Т, 2Т), сплошными тонкими линиями.

§ 9. ПРОВЕДЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ И ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ ЛИНИЙ

Горизонтальные параллельные прямые проводят с помощью рейсшины (см. рис. 14, а), а также с помощью линейки и угольника любой формы (рис. 95, а) или двух угольников (рис. 95, б). За горизонтальное направление на чертеже принимается верхняя сторона рамки, к которой прикладывается угольник. Направляющую линейку или угольник прикладывают, как показано на рис. 95. Они фиксируются левой рукой. Правой рукой перемещают подвижный угольник на нужное расстояние и, прижав его левой рукой, проводят линии. Направление перемещения подвижного угольника на рисунке показано стрелкой.

Вертикальные параллельные прямые проводят с помощью рейсшины и угольника (см. рис. 18), а также с помощью линейки и угольника или двух угольников (рис. 96). За вертикальное направление на чертеже берется левая линия рамки.

Наклонные параллельные прямые проводят с помощью рейсшины (см. рис. 14, б) или рейсшины и угольника (см.

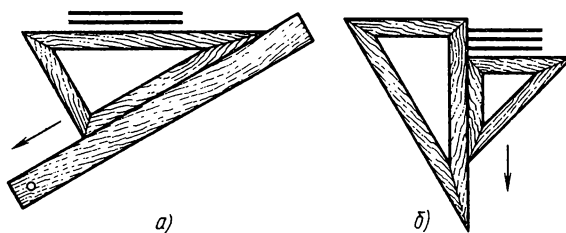


Рис. 95

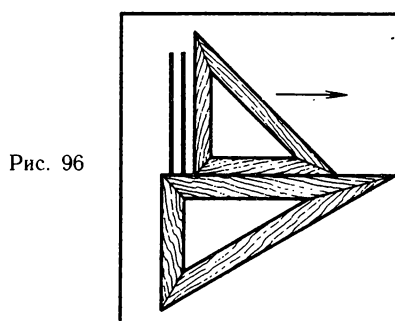


Рис. 96

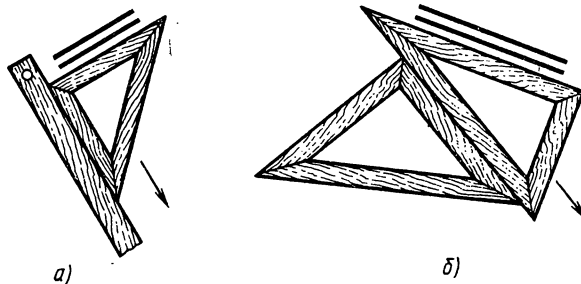


Рис. 97

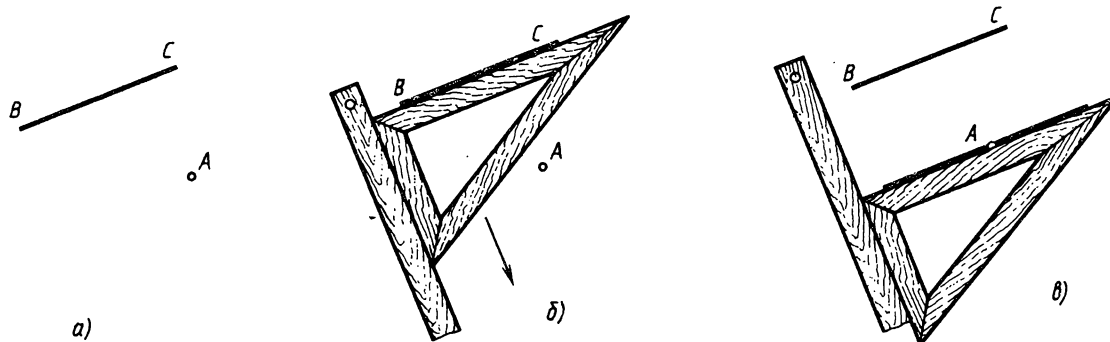


Рис. 98

рис. 18). Проведение наклонных параллельных прямых с помощью угольника и линейки и двух угольников показано на рис. 97.

Если требуется провести прямую через точку  $A$  параллельно заданной прямой  $BC$  (рис. 98,  $a$ ), угольник прикладывают к прямой  $BC$  и устанавливают, как показано на рис. 98,  $b$ , направляющую линейку. Угольник перемещают по направляющей линейке до точки  $A$  и проводят прямую (рис. 98,  $в$ ).

Перпендикулярные прямые проводят с помощью рейшины и угольника (рис. 99). Последовательность построения перпендикулярных прямых с помощью двух уголь-

Рис. 99

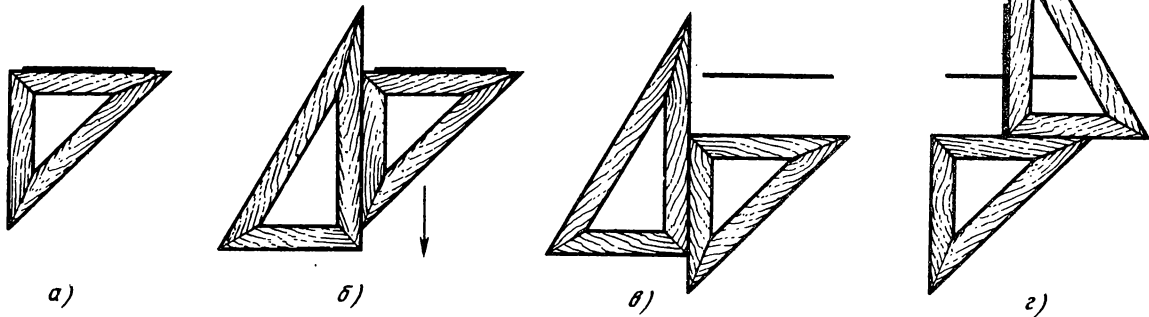
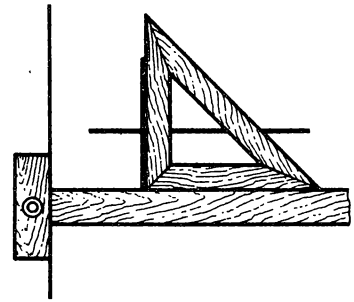


Рис. 100

ников показана на рис. 100. Первый угольник прикладывают к горизонтальной линии (рис. 100,  $a$ ). Второй угольник — направляющий, устанавливают, как показано на рис. 100,  $б$ . Затем первый угольник смещают по стрелке на необходимое расстояние (рис. 100,  $в$ ) и фиксируют левой рукой, а второй угольник устанавливают перпендикулярно горизонтальной линии и проводят прямую (рис. 100,  $г$ ).

Построение двух перпендикулярных прямых, расположенных под углом  $45^\circ$  к горизонталь-

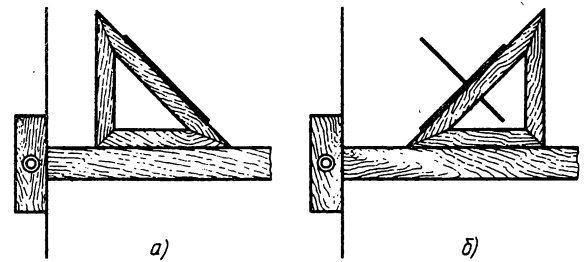


Рис. 101

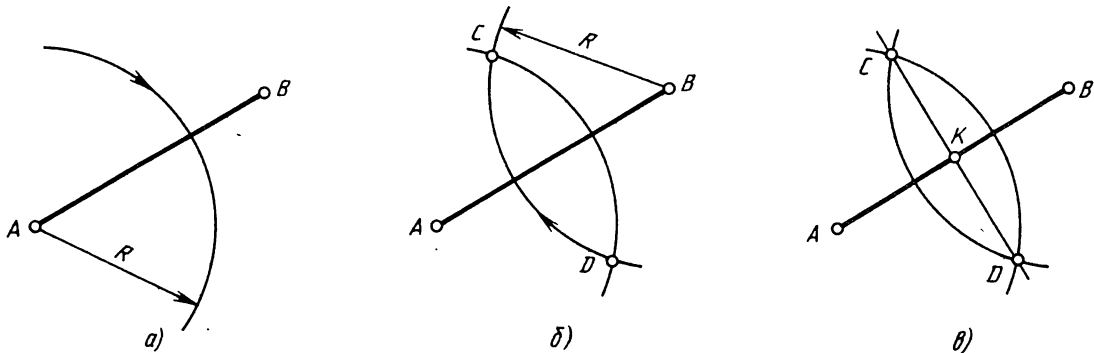


Рис. 102

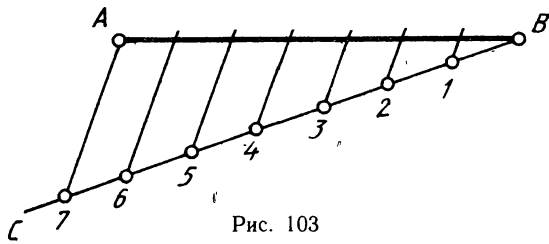


Рис. 103

ному направлению, выполняется с помощью рейсшины и угольника с углом  $45^\circ$  (рис. 101).

Если одна из взаимно перпендикулярных линий располагается к горизонтальному направлению под углом  $60^\circ$ , то вторая, перпендикулярная к ней, пойдет под углом  $30^\circ$  к горизонтальному направлению, и наоборот. Их строят с помощью угольника с углами  $30$ ,  $60$  и  $90^\circ$  и горизонтально расположенной рейсшины или линейки.

Если требуется провести перпендикуляр через середину отрезка, необходимо сначала разделить отрезок пополам. Чтобы разделить отрезок пополам, например отрезок  $AB$  (рис. 102), нужно из концов отрезка  $AB$  циркулем провести две дуги окружности радиусом  $R$ , несколько большем половины данного отрезка, до взаимного пересечения (рис. 102,  $a$  и  $b$ ). Полученные точки  $D$  и  $C$  соединяют прямой, которая делит отрезок  $AB$  пополам в точке  $K$  (рис. 102,  $в$ ). Прямая  $CD$  перпендикулярна отрезку  $AB$  и проходит через его середину.

## § 10. ДЕЛЕНИЕ ОТРЕЗКА ПРЯМОЙ НА РАВНЫЕ ЧАСТИ

Деление отрезка пополам рассматривалось в § 9 (см. рис. 102).

Если отрезок, например отрезок  $AB$  (рис. 103), необходимо разделить на несколько

равных частей, то из любого конца заданного отрезка под произвольным острым углом проводят вспомогательную прямую  $BC$ . От вершины образовавшегося угла (в данном случае от точки  $B$ ) на вспомогательной прямой откладывают столько одинаковых отрезков произвольной длины, на сколько частей требуется разделить отрезок  $AB$ . Конец последнего отрезка соединяют прямой линией с точкой  $A$  и параллельно этой линии через все деления проводят прямые до пересечения с прямой  $AB$ , деля ее тем самым на заданное число равных отрезков.

## § 11. ПОСТРОЕНИЕ И ДЕЛЕНИЕ УГЛОВ

С помощью рейсшины и угольника с углами  $45$ ,  $45$  и  $90^\circ$  строят углы:  $45$ ,  $90$  и  $135^\circ$  (рис. 104).

С помощью рейсшины и угольника с углами  $30$ ,  $60$  и  $90^\circ$  можно построить углы:  $30$ ,  $60$ ,  $90$ ,  $120$  и  $150^\circ$  (рис. 105).

Используя два угольника и рейсшину, можно построить углы:  $15^\circ$  от вертикальной прямой,  $75$  и  $105^\circ$  (рис. 106).

Построение угла, равного данному, выполняется с помощью циркуля (рис. 107). Из вершины  $A$  заданного угла  $BAC$  произвольным радиусом  $R$  проводят дугу до пересечения со сторонами угла в точках  $B$  и  $C$  (рис. 107,  $a$ ). В том месте чертежа, где нужно построить угол, равный данному, проводят прямую линию (в данном случае горизонтальную). На ней задают точку  $A_1$  (вершину угла). Из точки  $A_1$  радиусом  $R$ , равным  $AB$  или  $AC$ , проводят дугу до пересечения с прямой, получают точку  $C_1$  (рис. 107,  $b$ ). Из точки  $C_1$  радиусом  $R_1$ , равным отрезку  $BC$ , делают на дуге засечку, тем самым находят точку  $B_1$  (рис. 107,  $в$ ). Соединив точки  $A_1$  и  $B_1$ , получают угол  $B_1A_1C_1$ , равный данному (рис. 107,  $г$ ).

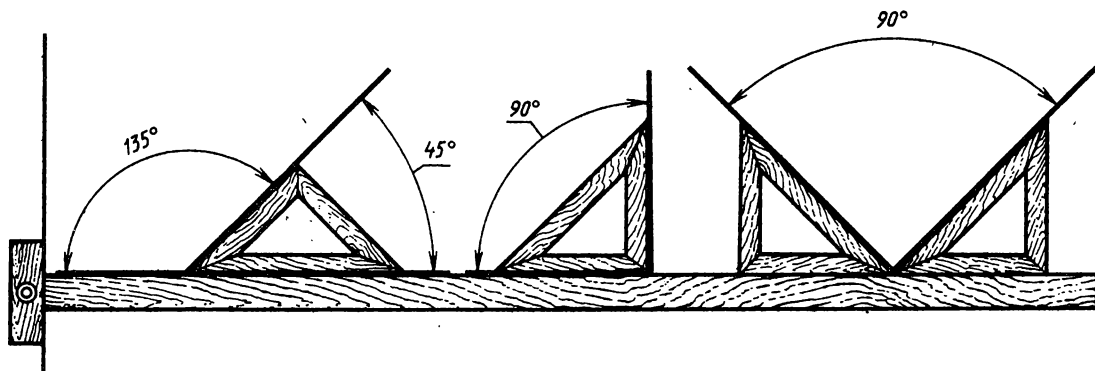


Рис. 104

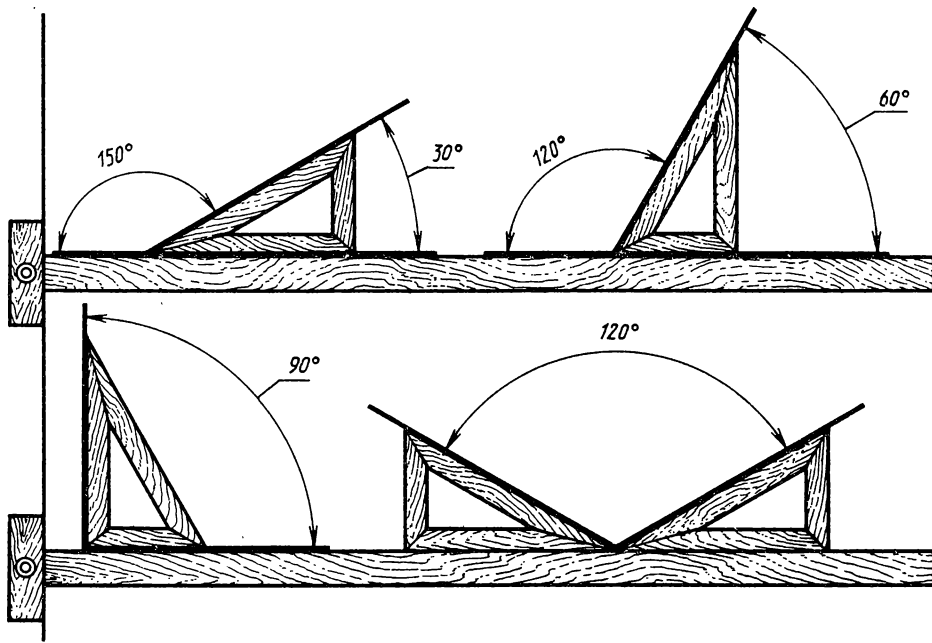


Рис. 105

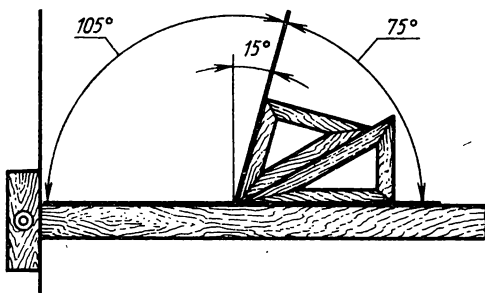


Рис. 106

Деление угла пополам выполняется циркулем. Из вершины угла произвольным радиусом проводят дугу до пересечения ее со сторонами угла, получают точки  $B$  и  $C$  (рис. 108, а). Затем из точек  $B$  и  $C$  проводят две дуги радиусом больше половины расстояния  $BC$  (рис. 108, б) до их пересечения в точке  $D$ . Соединив точки  $A$  и  $D$  прямой, получают биссектрису угла, которая делит угол пополам (рис. 108, в).

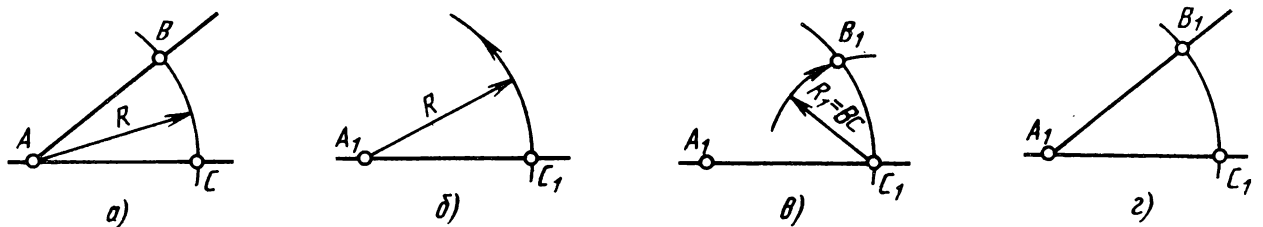


Рис. 107

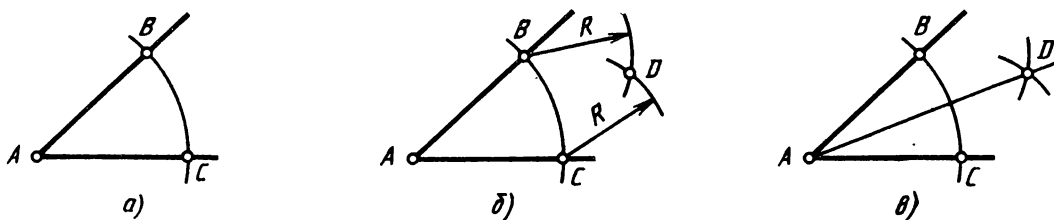


Рис. 108

## § 12. ПОСТРОЕНИЕ ПЛОСКИХ ФИГУР

Построение многоугольника, равного данному, можно выполнить так, что его стороны будут располагаться параллельно соответствующим сторонам заданного многоугольника, или построенный многоугольник будет повернут в плоскости относительно заданного. И в том, и в другом случае решение

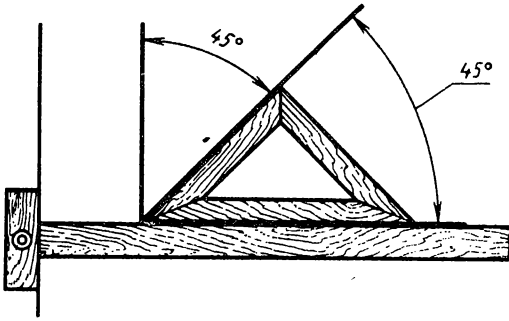


Рис. 109

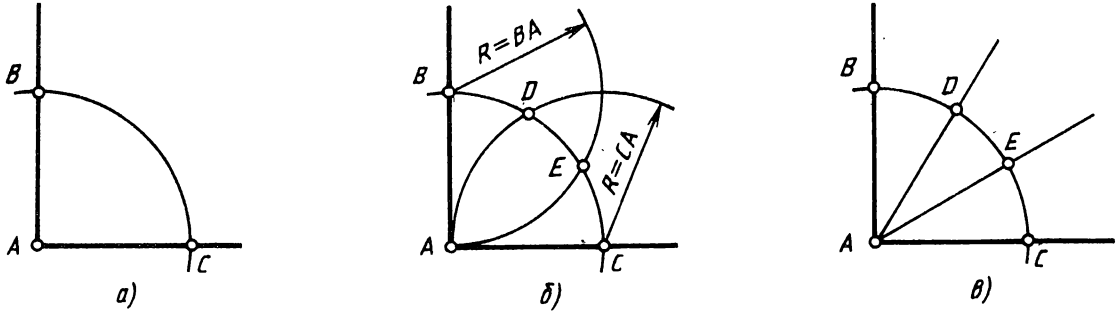


Рис. 110

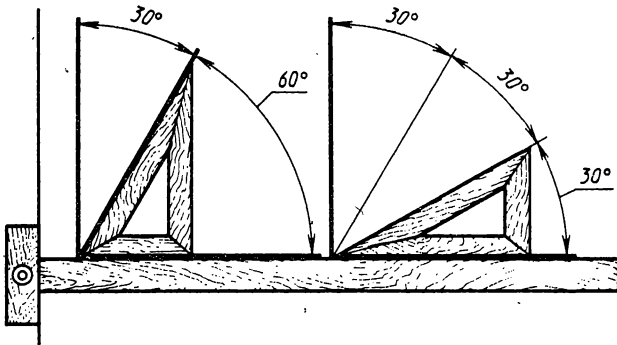


Рис. 111

Деление прямого угла пополам с помощью угольника с углами 45, 45 и 90° и рейшины показано на рис. 109.

Деление прямого угла на три равные части выполняется циркулем или с помощью угольника и рейшины. При делении угла циркулем из вершины  $A$  произвольным радиусом проводят дугу до пересечения со сторонами угла в точках  $B$  и  $C$  (рис. 110,  $a$ ). Затем тем же радиусом из точек  $B$  и  $C$  делают на дуге засечки, получают точки  $D$  и  $E$  (рис. 110,  $б$ ), которые соединяют с точкой  $A$ . Прямые  $AE$  и  $AD$  делят прямой угол на три равные части (рис. 110,  $в$ ).

Деление прямого угла на три равные части с помощью рейшины и угольника с углами 30, 60 и 90° показано на рис. 111.

задачи сводится к построению третьей точки относительно двух заданных.

Например, на плоскости заданы точки  $A$  и  $B$  (рис. 112,  $a$ ). Требуется построить точку  $C$ , расположенную выше заданных точек на расстоянии  $n$  от точки  $A$ , и  $m$  от точки  $B$ . Множество точек, которые находятся на расстоянии  $n$  от точки  $A$ , располагается на окружности с центром в точке  $A$  радиусом  $R=n$ . Множество точек, которые располагаются на расстоянии  $m$  от точки  $B$ , находится на окружности с центром в точке  $B$  радиусом  $R_1=m$  (рис. 112,  $б$ ). В пересечении этих окружностей получают точки  $C$  и  $C_1$ . Из двух полученных точек выбирают нужную. Проводить окружности полностью не обязательно, достаточно провести две короткие дуги (рис. 112,  $в$ ).

На рис. 113,  $a$  задан многоугольник  $ABCDE$ . Требуется построить равный ему многоугольник  $A_1B_1C_1D_1E_1$ . Построение многоугольника  $A_1B_1C_1D_1E_1$  можно начать с построения любой его стороны, например стороны  $A_1B_1$ . Для этого параллельно стороне  $AB$  проводят прямую и на ней циркулем откладывают отрезок  $A_1B_1$ , равный отрезку  $AB$ . Затем циркулем измеряют расстояние от точки  $A$  до точки  $C$  и этим

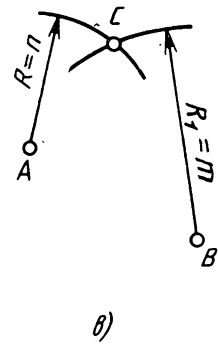
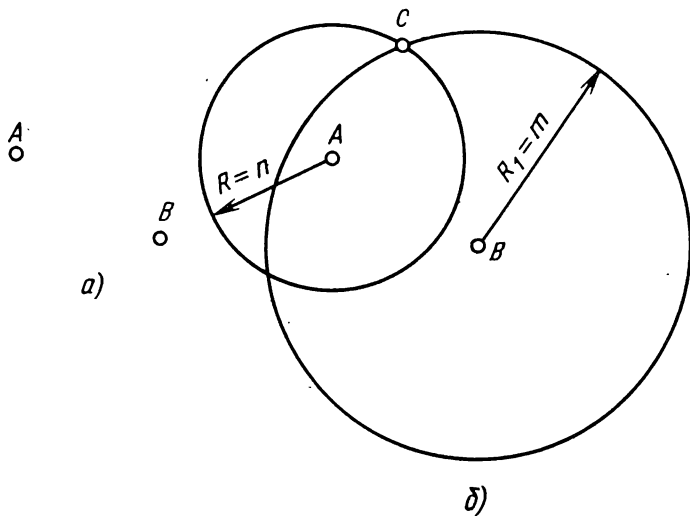


Рис. 112

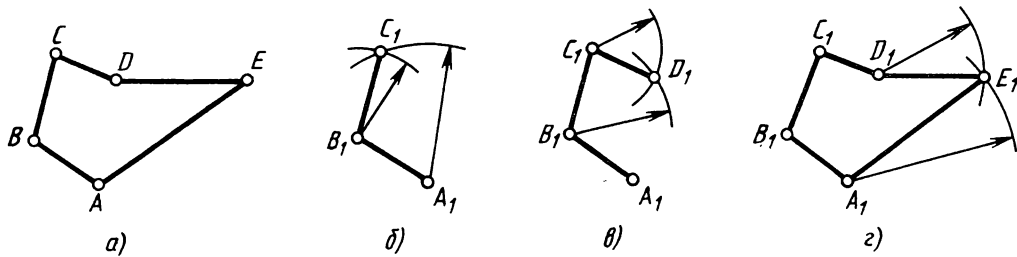


Рис. 113

радиусом из точки  $A_1$  проводят дугу в направлении строящейся точки  $C_1$ , также от точки  $B$  измеряют расстояние до точки  $C$  и этим радиусом из точки  $B_1$  проводят дугу до пересечения с первой дугой в точке  $C_1$ . Соединив точку  $C_1$  с точкой  $B_1$  прямой линией, получают вторую сторону многоугольника  $B_1C_1$  (рис. 113, б). Для построения точки  $D_1$  измеряют расстояние от точки  $D$  до двух других вершин многоугольника (например  $A$  и  $B$ , или  $B$  и  $C$ , или  $C$  и  $A$ ). На рис. 113, в взяты расстояния от точек  $B$  и  $C$ . Дугу из точки  $B_1$  проводят радиусом, равным отрезку  $BD$ , а из точки  $C_1$  — радиусом, равным отрезку  $CD$ . Пересечение этих дуг дает точку  $D_1$ . Соединив точку  $D_1$  с точкой  $C_1$ , получают сторону многоугольника  $C_1D_1$  (рис. 113, в). Аналогично строят точку  $E_1$  (рис. 113, г).

Для определения центра окружности или дуги проводят две непараллельные хорды (рис. 114, а) и делят их пополам (см. § 10). Перпендикуляры, построенные через середины хорд, проводят до пересечения друг с другом (рис. 114, б). Точка пересечения будет центром заданной окружности или дуги. Расстояние от найденного центра (точки  $O$ ) до любой точки на окружности будет радиусом данной окружности или дуги.

### § 13. НАХОЖДЕНИЕ ЦЕНТРА ОКРУЖНОСТИ ИЛИ ДУГИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИХ РАДИУСОВ

Если на чертеже имеется окружность или дуга, центры которых не отмечены или не представлены радиусы, а для работы над чертежом их необходимо знать, то их определяют следующим образом.

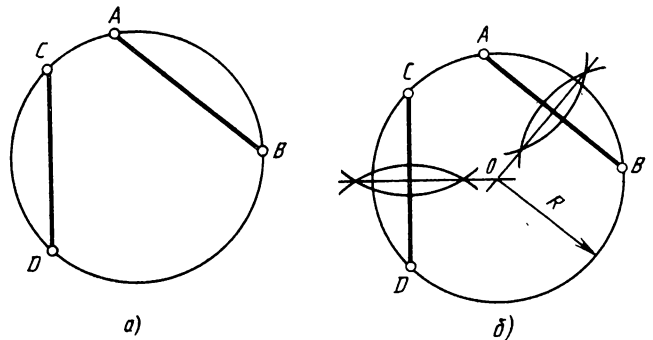


Рис. 114

## § 14. ДЕЛЕНИЕ ОКРУЖНОСТИ НА РАВНЫЕ ЧАСТИ И ПОСТРОЕНИЕ ПРАВИЛЬНЫХ ВПИСАННЫХ МНОГОУГОЛЬНИКОВ

Деление окружности на равные части и построение правильных вписанных многоугольников можно выполнить как циркулем, так и с помощью угольников и рейсшины.

Деление окружности на четыре равные части и построение правильного вписанного четырехугольника. Две взаимно перпендикулярные центровые линии делят окружность на четыре равные части (рис. 115, а). Соединив точки пересечения этих линий с окружностью прямыми, получают правильный вписанный четырехугольник.

Деление окружности на восемь равных частей и построение правильного вписанного восьмиугольника. Две взаимно перпендикулярные линии, проведенные под углом  $45^\circ$  к центровым линиям с помощью угольника с углами 45, 45 и  $90^\circ$  и рейсшины (рис. 115, б), вместе с центровыми линиями разделят окружность на восемь равных частей.

Деление окружности на восемь равных частей можно выполнить циркулем. Для этого из точек 1 и 3 (точки пересечения центровых линий с окружностью) произвольным радиусом делают засечки до взаимного пересечения, тем же радиусом делают две засечки из точек 2 и 3 (рис. 115, в). Через точки пересечения засечек и центр окружности проводят прямые

линии до пересечения с окружностью в точках 2, 4, 6, 8.

Если полученные восемь точек соединить последовательно прямыми линиями, то получится правильный вписанный восьмиугольник (рис. 115, в).

Деление окружности на три равные части и построение правильного вписанного треугольника выполняются с помощью циркуля или угольника с углами  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $90^\circ$  и рейсшины.

При делении окружности циркулем на три равные части из любой точки окружности, например из точки А пересечения центровых линий с окружностью (рис. 116, а и б), проводят дугу радиусом  $R$ , равным радиусу данной окружности, получают точки 1 и 2. Третья точка деления (точка 3) будет находиться на противоположном конце диаметра, проходящего через точку А. Последовательно соединив точки 1, 2 и 3, получают правильный вписанный треугольник. При построении правильного вписанного треугольника, если задана одна из его вершин, например точка 1, находят точку А. Для этого через заданную точку 1 проводят диаметр (рис. 116, в). Точка А будет находиться на противоположном конце этого диаметра. Затем проводят дугу радиусом  $R$ , равным радиусу данной окружности, получают точки 2 и 3.

При делении окружности на три равные части с помощью угольника и рейсшины через точку 1 под углом  $60^\circ$  проводят две прямые линии до пересечения с окружностью в точках 2 и 3 (рис. 117, а, б), точки 2 и 3 соединяют и получают правильный вписанный треугольник (рис. 117, в).

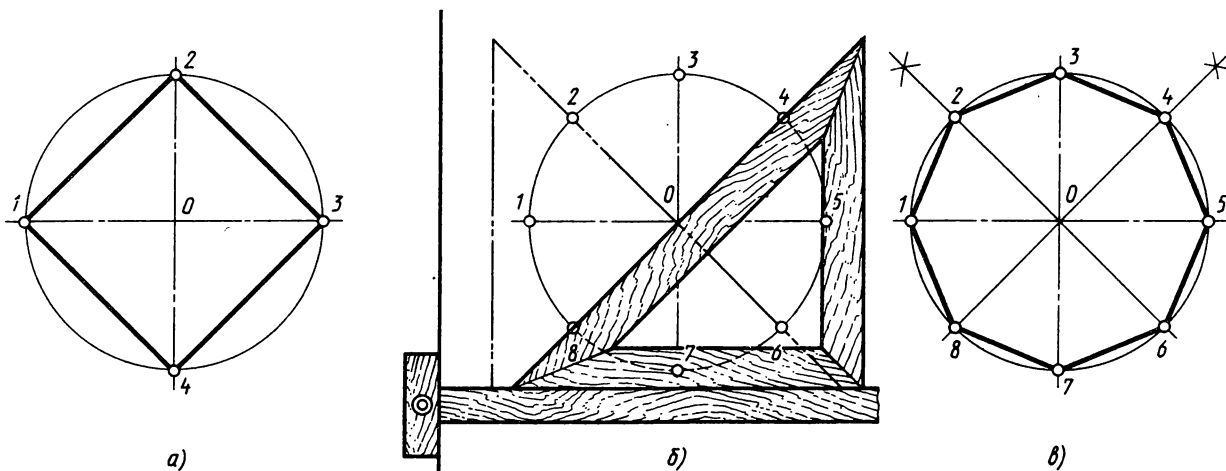


Рис. 115

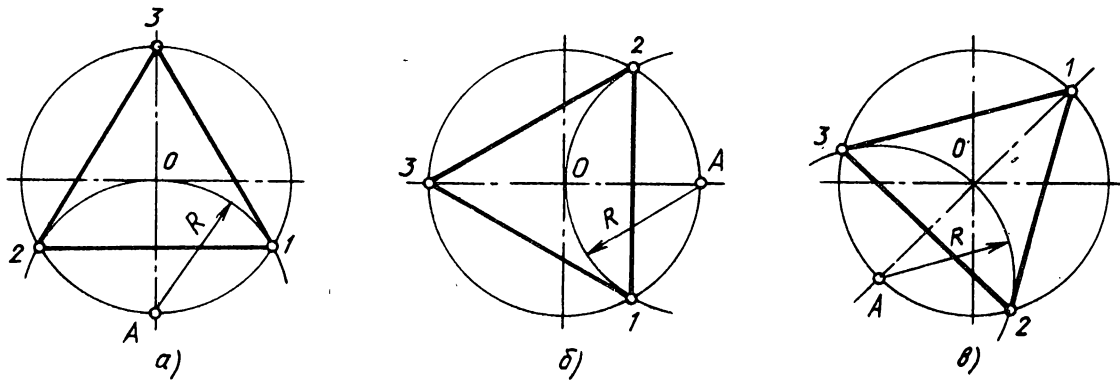


Рис. 116

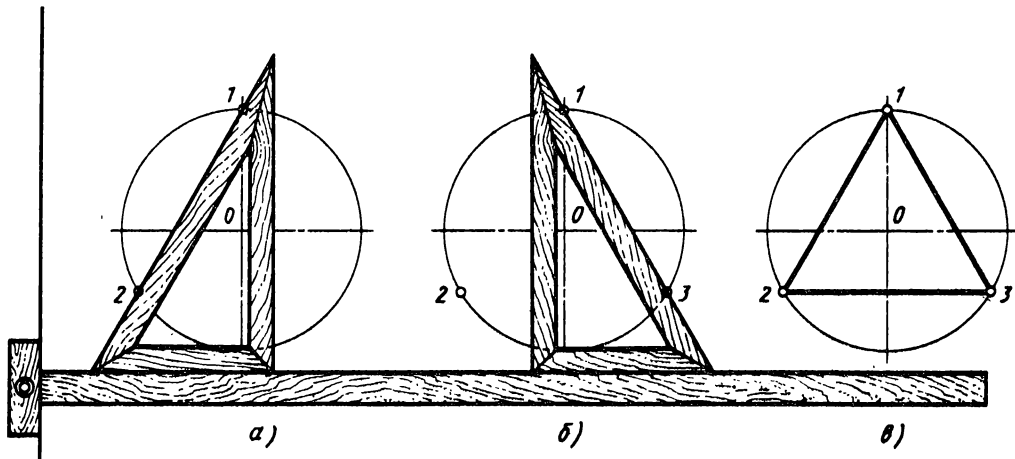


Рис. 117

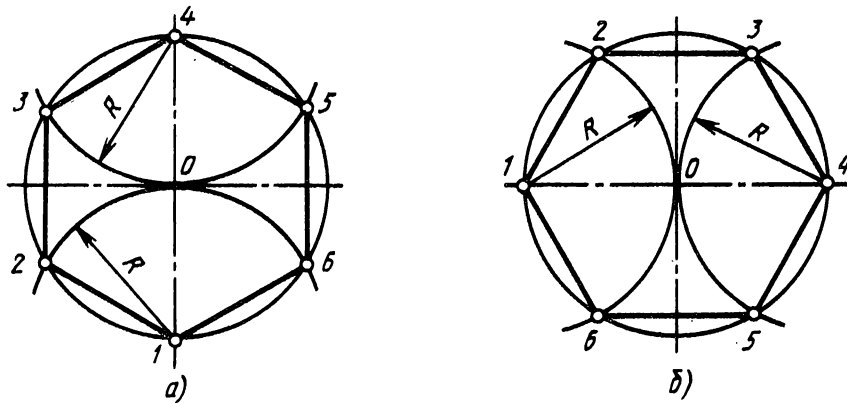


Рис. 118

Деление окружности на шесть равных частей и построение правильного вписанного шестиугольника выполняют с помощью угольника с углами 30, 60 и 90° и рейшины или циркуля.

При делении окружности на шесть равных частей циркулем из двух концов одного диаметра радиусом, равным радиусу данной окружности, проводят дуги до пересечения с окружностью в точках 2, 6 и 3, 5 (рис. 118). После-

довательно соединив полученные точки, получают правильный вписанный шестиугольник.

Деление окружности на шесть равных частей и построение правильного вписанного шестиугольника с помощью угольника и рейшины показано на рис. 119 и 120.

Деление окружности на двенадцать равных частей и построение правильного вписанного двенадцатиугольника выполняются с помощью угольника с углами 30, 60 и 90° и рейшины или циркуля.

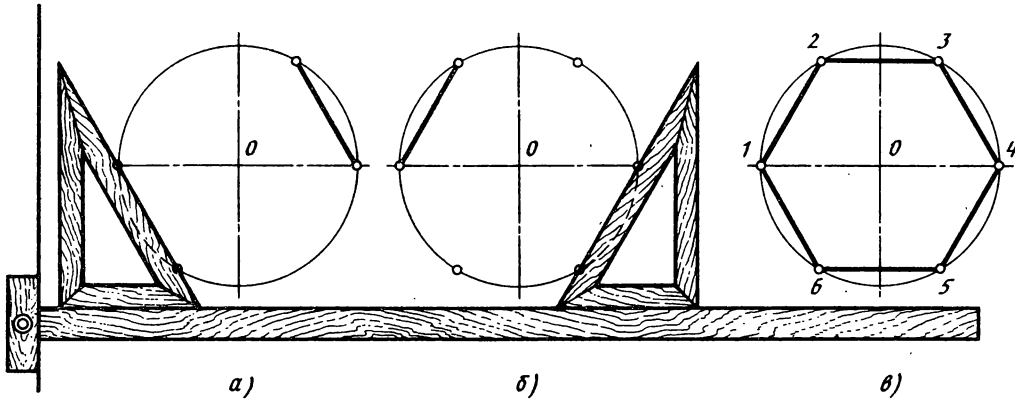


Рис. 119

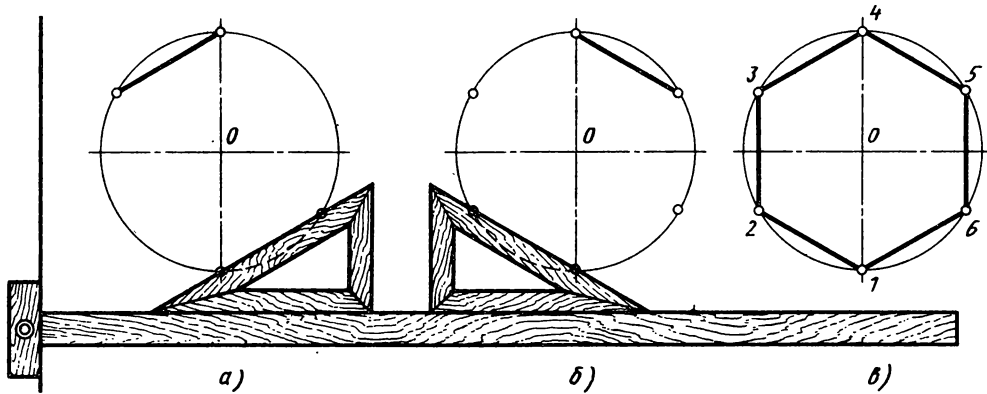


Рис. 120

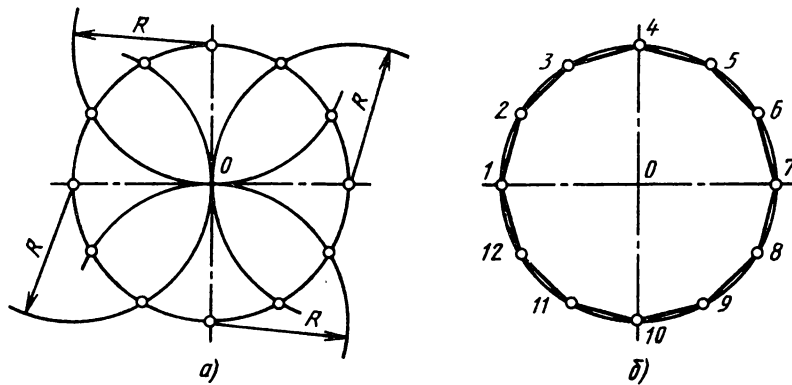


Рис. 121

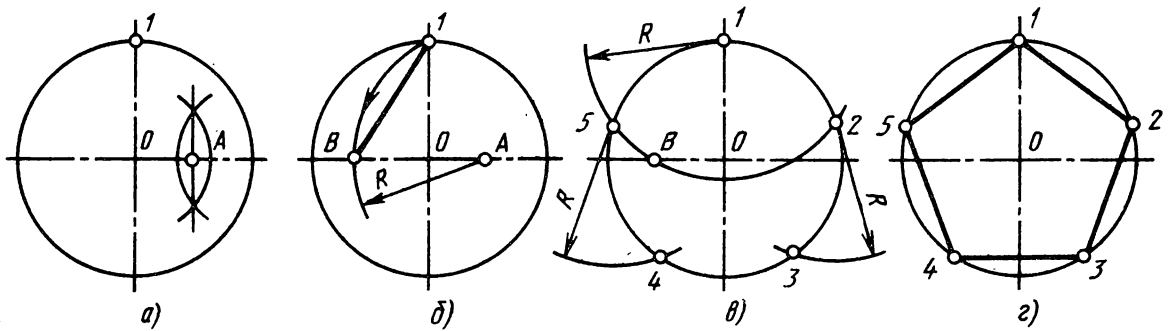


Рис. 122

При делении окружности циркулем из четырех концов двух взаимно перпендикулярных диаметров окружности проводят радиусом, равным радиусу данной окружности, дуги до пересечения с окружностью (рис. 121). Соединив полученные точки, получают двенадцатиугольник.

При построении двенадцатиугольника с помощью угольника и рейшины точки деления строят, как показано на рис. 119 и 120.

Деление окружности на пять и десять равных частей и построение правильного вписанного пятиугольника и десятиугольника показано на рис. 122.

Половину любого диаметра (радиус) делят пополам (рис. 122, а), получают точку А. Из точки А, как из центра, проводят дугу радиусом, равным расстоянию от точки А до точки 1, до пересечения со второй половиной этого диаметра, в точке В (рис. 122, б). Отрезок  $1В$  равен хорде, стягивающей дугу, длина которой равна  $\frac{1}{5}$  длины окружности. Делая засечки на окружности (рис. 122, в) радиусом  $R$ , равным отрезку  $1В$ , делят окружность на пять равных частей. Начальную точку

1 выбирают в зависимости от расположения пятиугольника. Из точки 1 строят точки 2 и 5 (рис. 122, в), затем из точки 2 строят точку 3, а из точки 5 строят точку 4. Расстояние от точки 3 до точки 4 проверяют циркулем; если расстояние между точками 3 и 4 равно отрезку  $1В$ , то построение было выполнено точно. Нельзя выполнять засечки последовательно, в одну сторону, так как происходит набегание ошибок и последняя сторона пятиугольника получается перекошенной. Последовательно соединив найденные точки, получают пятиугольник (рис. 122, г).

Деление окружности на десять равных частей выполняют аналогично делению окружности на пять равных частей (рис. 122), но сначала делят окружность на пять частей, начиная построение из точки 1, а затем из точки 6, находящейся на противоположном конце диаметра (рис. 123, а). Соединив последовательно все точки, получают правильный вписанный десятиугольник (рис. 123, б).

Деление окружности на семь и четырнадцать равных частей и построение правильного вписанного

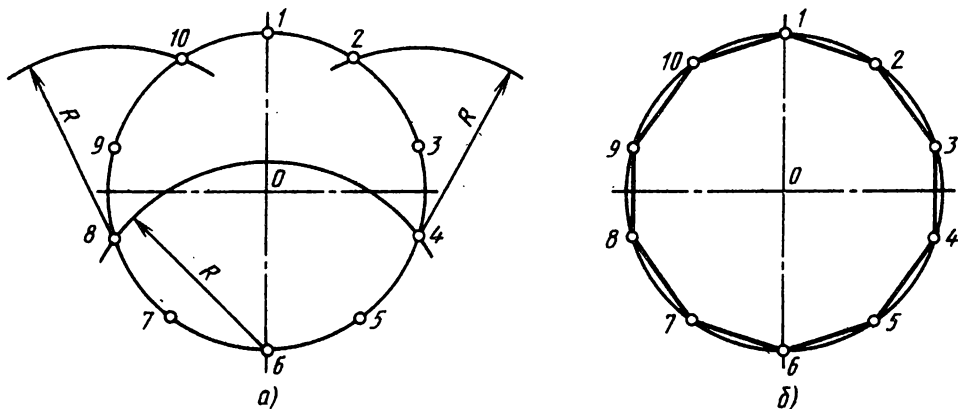


Рис. 123

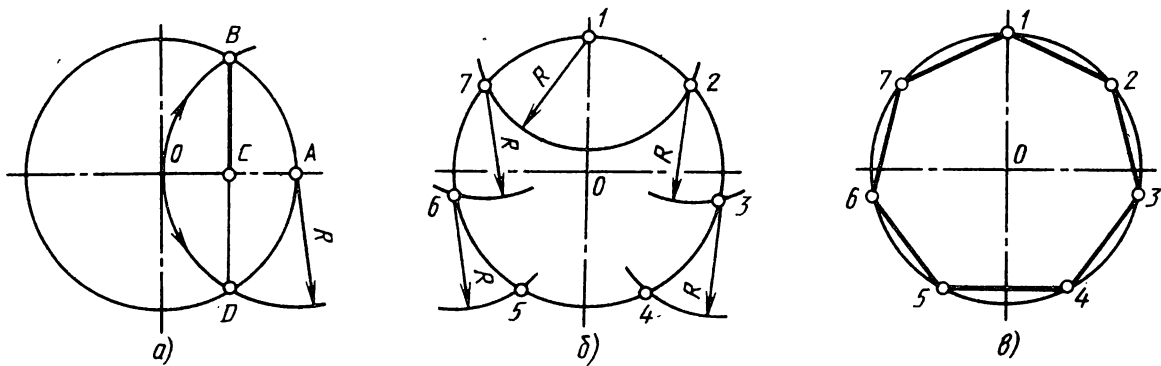


Рис. 124

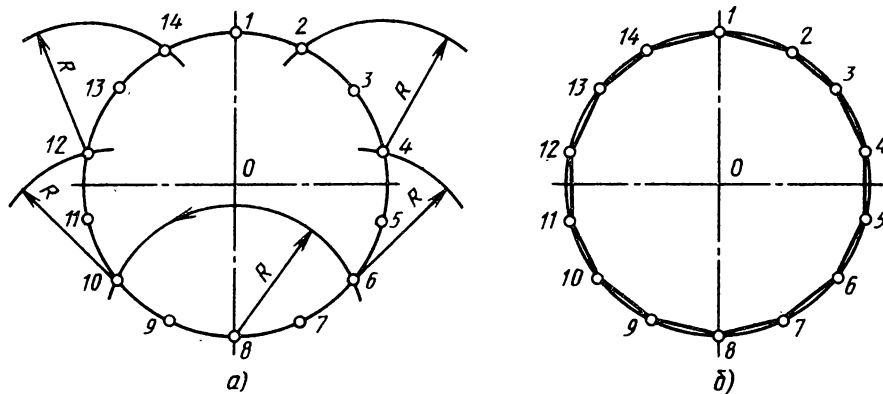


Рис. 125

семиугольника и четырнадцатиугольника показано на рис. 124 и 125.

Из любой точки окружности, например точки *A*, радиусом заданной окружности проводят дугу (рис. 124, *a*) до пересечения с окружностью в точках *B* и *D*. Соединим точки *B* и *D* прямой. Половина полученного отрезка (в данном случае отрезок *BC*) будет равна хорде, которая стягивает дугу, составляющую  $\frac{1}{7}$  длины окружности. Радиусом, равным отрезку *BC*, делают засечки на окружности в последовательности, показанной на рис. 124, *б*. Соединив последовательно все точки, получают правильный вписанный семиугольник (рис. 124, *в*).

Деление окружности на четырнадцать равных частей выполняется делением окружности на семь равных частей два раза от двух точек (рис. 125, *a*).

Сначала окружность делится на семь равных частей от точки *1*, затем то же построение выполняется от точки *8*. Построенные точки соединяют последовательно прямыми линиями и получают правильный вписанный четырнадцатиугольник (рис. 125, *б*).

## § 15. СОПРЯЖЕНИЯ

Рассматривая детали, видим, что в их конструкции часто одна поверхность переходит в другую. Обычно эти переходы делают плавными, что повышает прочность деталей и делает их более удобными в работе. На чертеже поверхности изображаются линиями, которые также плавно переходят одна в другую.

На рис. 126, *a* изображена деталь, в которой плавные переходы одних плоскостей в другие представляют собой цилиндрические поверхности. На чертеже (рис. 126, *б*) эти плоскости изображены прямыми линиями, а цилиндрические поверхности — дугами окружностей. Плавные переходы от одной прямой к другой в этих случаях выполняются дугой заданного радиуса.

Плавный переход одной цилиндрической поверхности в другую может являться цилиндрической поверхностью (рис. 127, *a*). На чертеже эти цилиндрические поверхности изображены дугами окружностей (рис. 127, *б*). В этом случае плавный переход одной дуги окружности в другую осуществляется дугой окружности заданного радиуса.

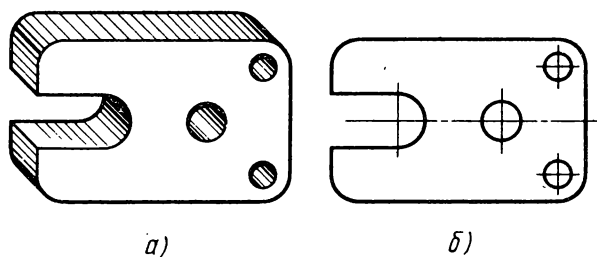


Рис. 126

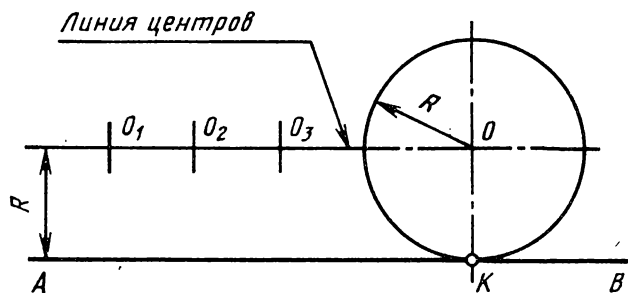


Рис. 128

На рис. 126, а и 127, а рассмотрены простейшие примеры плавных переходов поверхностей. В чертежах более сложных деталей плавные переходы между поверхностями изображаются различными сочетаниями прямых, окружностей и их дуг. Вариантов таких сочетаний может быть много, но их объединяет одно — плавность перехода. Такой плавный переход одной линии (поверхности) в другую линию (поверхность) называют сопряжением. При построении сопряжения необходимо определить границу, где кончается одна линия и начинается другая, т. е. найти на чертеже точку перехода, которая называется точкой сопряжения или точкой касания.

Задачи на сопряжения условно можно разделить на три группы.

**Первая группа задач** включает в себя задачи на построение сопряжений, где участвуют прямые линии. Это может быть непосредственное касание прямой и окружности, сопряжение двух прямых дуг заданного радиуса, а также проведение касательной прямой к двум окружностям.

Построение окружности, касательной к прямой, связано с нахождением точки касания и центра окружности.

Задана горизонтальная прямая  $AB$ , требуется построить окружность радиусом  $R$ , каса-

тельную к данной прямой (рис. 128). Точка касания выбирается произвольно. Так как точка касания не задана, то окружность радиуса  $R$  может коснуться данной прямой в любой точке. Таких окружностей можно провести множество. Центры этих окружностей ( $O_1, O_2$  и т. д.) будут находиться на одинаковом расстоянии от заданной прямой, т. е. на линии, расположенной параллельно заданной прямой  $AB$  на расстоянии, равном радиусу заданной окружности (рис. 128). Назовем эту линию линией центров. Проведем линию центров параллельно прямой  $AB$  на расстоянии  $R$ . Так как центр касательной окружности не задан, возьмем любую точку на линии центров, например точку  $O$ . Прежде чем проводить касательную окружность, следует определить точку касания. Точка касания будет лежать на перпендикуляре, опущенном из точки  $O$  на прямую  $AB$ . В пересечении перпендикуляра с прямой  $AB$  получим точку  $K$ , которая будет точкой касания. Из центра  $O$  радиусом  $R$  от точки  $K$  проведем окружность. Задача решена.

В детали, которая изображена на рис. 129, а, пластина плавно переходит в цилиндр. При выполнении чертежа этой детали необходимо построить плавный переход прямой в окружность. Задача аналогична предыдущей, но дополнена условием, что точка касания задана, так как задан размер  $A$  (рис. 129, б), который определяет величину прямолинейного участка.

Отложив размер  $A$ , находят точку касания (точку  $K$ ), затем из точки  $K$  восстанавливают перпендикуляр, на котором откладывают радиус  $R$  заданной окружности, и находят центр окружности (точку  $O$ ). При обводке сначала от точки касания проводится дуга заданного радиуса, а потом — прямая.

Из сказанного следует:

1) **центр окружности, касательной к прямой, лежит на прямой (линия центров), проведенной параллельно заданной прямой, на расстоянии, равном радиусу данной окружности;**

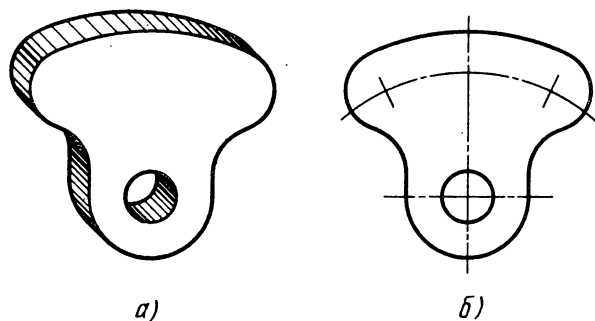
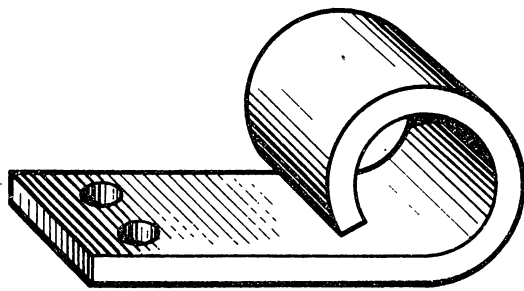


Рис. 127



а)

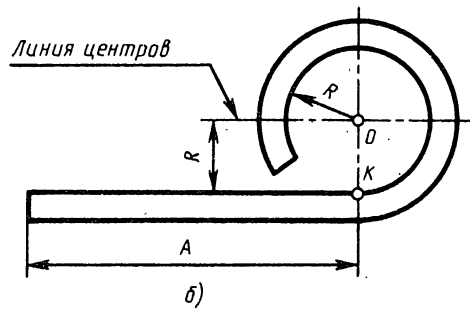
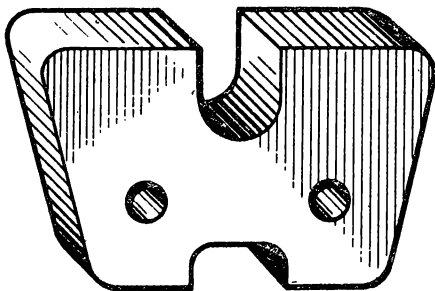
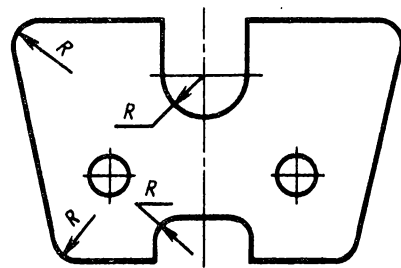


Рис. 129

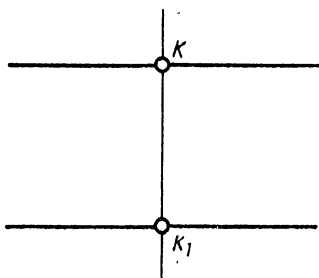


а)

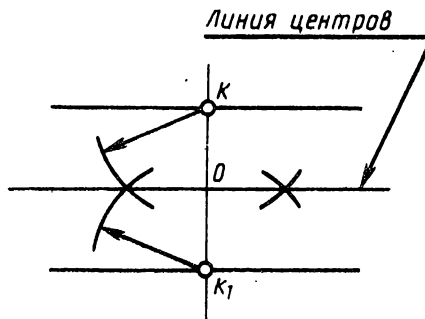


б)

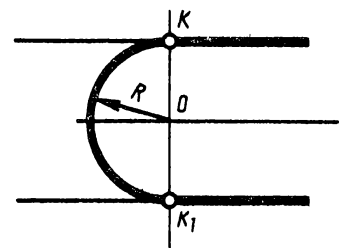
Рис. 130



а)



б)



в)

Рис. 131

2) точка касания лежит на перпендикуляре, проведенном из центра окружности к заданной прямой.

Сопряжение двух прямых. На плоскости две прямые могут располагаться параллельно или под углом друг к другу. На рис. 130 приведены примеры различных соприжений

двух прямых. Чтобы построить соприжение двух прямых, необходимо провести окружность, касательную к этим двум прямым.

Сопряжение двух параллельных прямых. Чтобы построить соприжение двух параллельных прямых, необходимо провести дугу окружности, касательной к этим прямым

(рис. 131). Радиус этой окружности будет равен половине расстояния между заданными прямыми. Так как точка касания не задана, подобных окружностей можно провести множество. Центры их будут находиться на прямой, проведенной параллельно заданным прямым на расстоянии, равном половине расстояния между ними. Эта прямая будет линией центров. Точки касания ( $K$  и  $K_1$ ) лежат на перпендикуляре, опущенном из центра касательной окружности на заданные прямые (рис. 131, а). Так как центр касательной окружности не задан, перпендикуляр проводится произвольно. Отрезок  $KK_1$  делят пополам (рис. 131, б), проводят через точки пересечения засечек прямую линию параллельно заданным прямым, на которой будут располагаться центры окружностей, касательных к заданным параллельным прямым, т. е. эта линия будет линией центров. Поставив ножку циркуля в точку  $O$ , проводят дугу сопряжения (рис. 131, в) от точки  $K$  до точки  $K_1$ .

Сопряжение двух непараллельных прямых. Две непараллельные прямые располагаются друг к другу под углом, который может быть прямым, тупым или острым. При выполнении чертежей деталей часто такие углы необходимо скруглить дугой заданного радиуса (см. рис. 130). Скругление углов на чертеже есть не что иное, как сопряжение двух непараллельных прямых дугой окружности заданного радиуса. Для выполнения сопряжения необходимо найти центр дуги сопряжения и точки сопряжения. Известно, что если в сопряжении участвует прямая линия, то центр дуги сопряжения находится на линии центров, которая проводится параллельно заданной прямой на расстоянии, равном радиусу  $R$  дуги сопряжения. Поскольку угол образован двумя прямыми, то проводят две линии центров параллельно каждой прямой на расстоянии,

равном радиусу  $R$  дуги сопряжения (рис. 132). Точка их пересечения будет центром дуги сопряжения.

Для нахождения точек сопряжения из точки  $O$  опускают перпендикуляры на заданные прямые и получают точки сопряжения  $K$  и  $K_1$  (рис. 132). Зная точки и центр сопряжения, из точки  $O$  радиусом  $R$  проводят дугу сопряжения. При обводке чертежа следует сначала провести дугу, а затем касательные прямые.

При построении сопряжения прямого угла упрощается проведение линии центров, так как стороны угла взаимно перпендикулярны. От вершины угла откладывают отрезки, равные радиусу  $R$  дуги сопряжения, и через полученные точки  $K$  и  $K_1$ , которые будут точками касания, проводят две линии центров, параллельные сторонам угла. Они будут являться одновременно и линиями центров, и перпендикулярами, определяющими точки сопряжения  $K$  и  $K_1$  (рис. 132, в).

Построение прямых, касательных к окружностям, зависит от условия задачи. Может быть задана окружность с точкой касания, или окружность и точка, из которой следует провести касательную прямую, или две окружности, к которым нужно провести касательную прямую. Подход к решению этих задач будет различным, но во всех случаях существует одно правило: **точка касания должна лежать на перпендикуляре, проведенном из центра окружности к прямой.**

Проведение прямой, касательной к окружности через точку, лежащую на окружности, показано на рис. 133. Так как точка касания лежит на перпендикуляре, проведенном из центра окружности к прямой, то касательную прямую следует проводить через заданную точку  $A$  перпендикулярно радиусу, соединяющему точку  $A$  с центром окружности  $O$  (рис. 133). Это

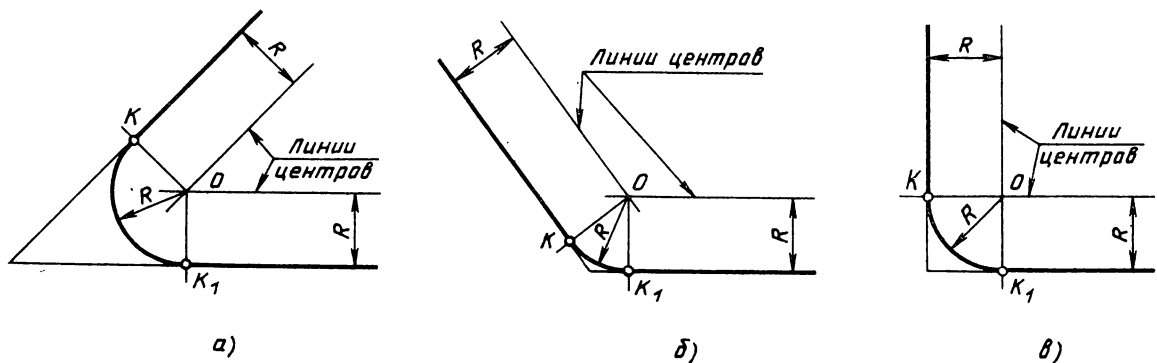
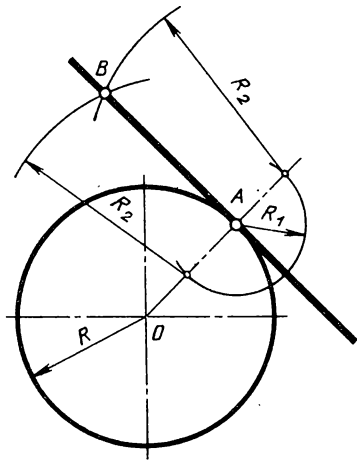


Рис. 132

Рис. 133



построение аналогично построению перпендикуляра к прямой через заданную точку, которое можно выполнить с помощью двух угольников (рис. 134). Сначала угольник 1 (рис. 134, а) кладется так, чтобы одна его сторона совпала с точками  $O$  и  $A$ , затем к угольнику 1 прикладывается угольник 2, который будет направляющим, по которому сдвигается угольник 1 (рис. 134, б). В новом положении угольник 1 становится направляющим, а угольник 2 устанавливается на угольник 1 так, чтобы одна сторона его прямого угла прошла через точку  $A$  (рис. 134, в). Через точку  $A$  по угольнику 2 проводят прямую, касательную к окружности.

Проведение прямой, касательной к окружности через точку, не лежащую на этой окружности. Даны окружность радиусом  $R$  и точка  $A$ , не лежащая на окружности (рис. 135, а), требуется провести из точки  $A$  прямую, касательную к данной окружности в верхней ее части. Для этого необходимо найти точку касания. Точка касания лежит на перпендикуляре, проведенном из центра окружности к касательной прямой. Следовательно, касательная и перпендикуляр образуют прямой угол. Зная, что всякий угол, вписанный в окружность и опирающийся на ее диаметр, является прямым, соединив точки  $A$  и  $O$ , принимают отрезок  $AO$  за диаметр описанной окружности. В пересечении описанной окружности и окружности радиуса  $R$  будет находиться вершина прямого угла (точка  $K$ ). Отрезок  $AO$  делят пополам, получают точку  $O_1$  (рис. 135, б). Из центра  $O_1$  радиусом, равным отрезку  $AO_1$ , проводят окружность, получают точки  $K$  и  $K_1$  в пересечении с окружностью радиуса  $R$  (рис. 135, в). Так как нужно провести только одну касательную к верхней части окружности, выбирают нужную точку касания. Этой точкой будет точка  $K$ . Точку  $K$  соединяют с точками  $A$  и  $O$ , получают прямой угол, который опирается на диаметр  $AO$  описанной окружности радиусом  $R_1$ . Точка  $K$  — вершина этого угла (рис. 135, г), отрезки  $OK$  и  $AK$  — стороны прямого угла, следовательно, точка  $K$  будет искомой точкой касания, а прямая  $AK$  — искомой касательной.

Проведение прямой, касательной к двум окружностям. Даны две окруж-

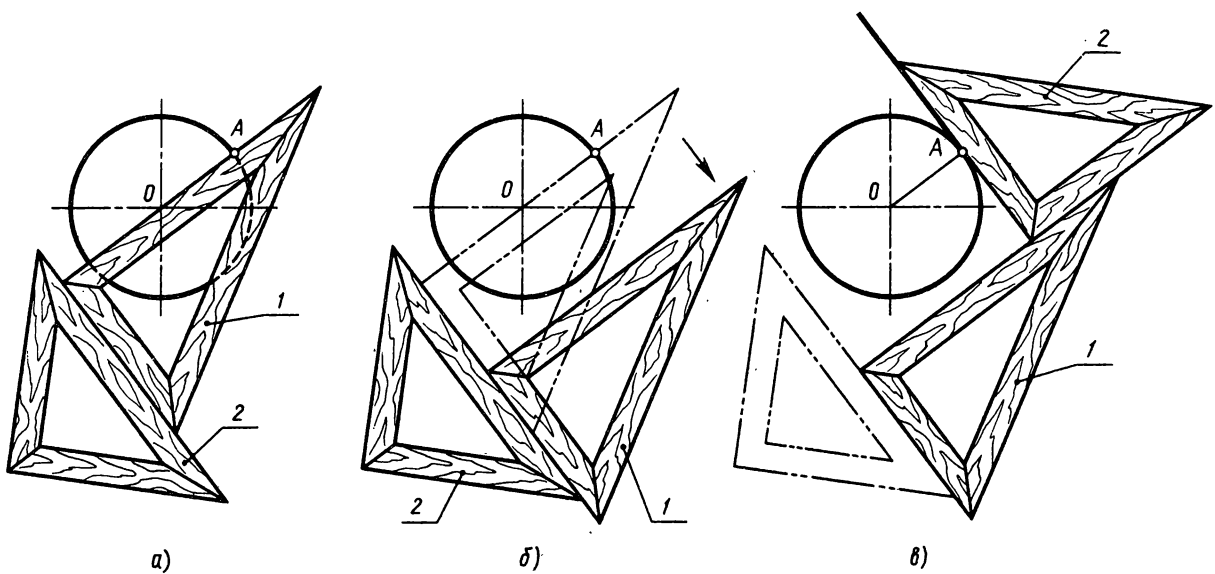


Рис. 134

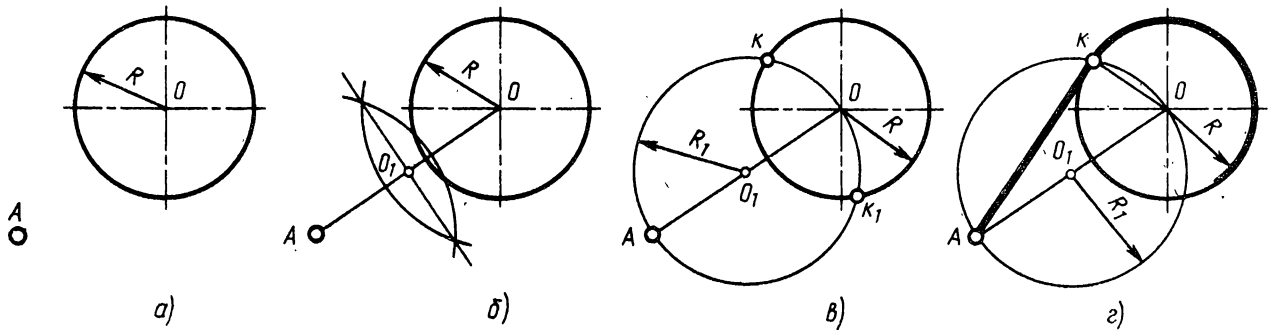


Рис. 135

ности радиусами  $R$  и  $R_1$ , требуется построить касательную к ним. Возможны два случая касания: внешнее и внутреннее.

При внешнем касании касательная прямая находится с одной стороны от окружностей и не пересекает отрезок, соединяющий центры данных окружностей (рис. 136, а). При внутреннем касании касательная прямая находится с разных сторон от окружностей и пересекает отрезок, соединяющий центры окружностей (рис. 136, б).

**Внешнее касание.** Прежде всего необходимо найти точки касания. Известно, что они должны лежать на перпендикулярах, проведенных из центров окружностей ( $O$  и  $O_1$ ) к касательной. Рассмотрим рис. 137, г, где задача уже решена. Найденные точки касания  $K_1$  и  $K_2$  лежат на перпендикулярах  $O_1K_1$  и  $OK_2$ . Если перемещать касательную  $K_1K_2$  параллельно самой себе в направлении центров заданных окружностей, то точки  $K_1$  и  $K_2$  будут скользить по перпендикулярам  $O_1K_1$  и  $OK_2$ . В конце концов точка  $K_2$  совпадет с центром  $O$  (окружности меньшего радиуса, а точка  $K_1$  — с точкой  $K$ ). Так как касательная  $K_1K_2$  перемещалась параллельно самой себе, то отрезки  $K_2O$  и  $K_1K$  равны, и отрезок  $K_2O$  равен радиусу  $R$ . Через точку  $K$  из центра  $O_1$  проводим вспомогательную окружность радиусом  $R_2 = R_1 - R$ . Далее построение будет как в предыдущей задаче — проведение прямой, касательной к окружности, из заданной точки, не лежащей на этой окружности.

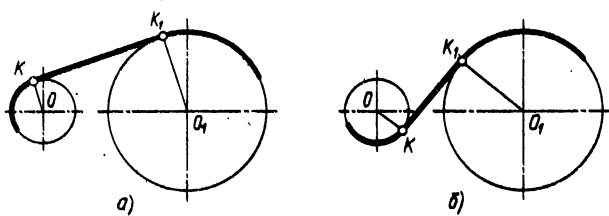


Рис. 136

На рис. 137 показано поэтапное построение касательной к двум окружностям. Сначала строят касательную  $OK$  из центра  $O$  к окружности радиуса  $R_2$  (рис. 137, а, б, в). Касательную  $OK$  перемещают параллельно самой себе. Точки касательной при этом будут перемещаться по перпендикулярам к ней. Перпендикуляр  $O_1K$ , по которому перемещается точка  $K$ , продолжают до пересечения с заданной окружностью радиуса  $R_1$ , получают точку  $K_1$ . Из точки  $O$  перпендикулярно  $OK$  или параллельно  $O_1K_1$  проводят прямую. Она будет тем перпендикуляром, по которому перемещается второй конец касательной  $OK$ . В пересечении этого перпендикуляра с окружностью радиуса  $R$  получают вторую точку касания —  $K_2$ . Соединив точки  $K_1$  и  $K_2$ , получают внешнюю касательную к двум заданным окружностям (рис. 137, г).

**Внутреннее касание.** Построение внутренней касательной к двум заданным окружностям выполняют аналогично построению внешней касательной, только вспомогательную окружность радиуса  $R_2$  проводят из центра  $O_1$  суммой радиусов  $R_2 = R_1 + R$  (рис. 138). Центры  $O$  и  $O_1$  соединяют прямой и отрезок  $OO_1$  делят пополам в точке  $O_2$ , из точки  $O_2$  проводят окружность радиуса  $R_3$ , получают точку  $K$ . Точку  $K$  соединяют с центрами  $O$  и  $O_1$ . Отрезок  $O_1K$  пересекает окружность радиуса  $R_1$  в точке  $K_1$ . Из центра  $O$  параллельно  $KO_1$  проводят прямую до пересечения ее с окружностью радиуса  $R$  в точке  $K_2$ . Точки  $K_1$  и  $K_2$  будут точками касания, соединив которые получают внутреннюю касательную к двум заданным окружностям (рис. 138, б).

**Вторая группа задач на сопряжения** включает в себя задачи, в которых участвуют только окружности и дуги. Плавный переход одной окружности в другую может происходить или непосредственным касанием, или через третий элемент — дугу окружности.

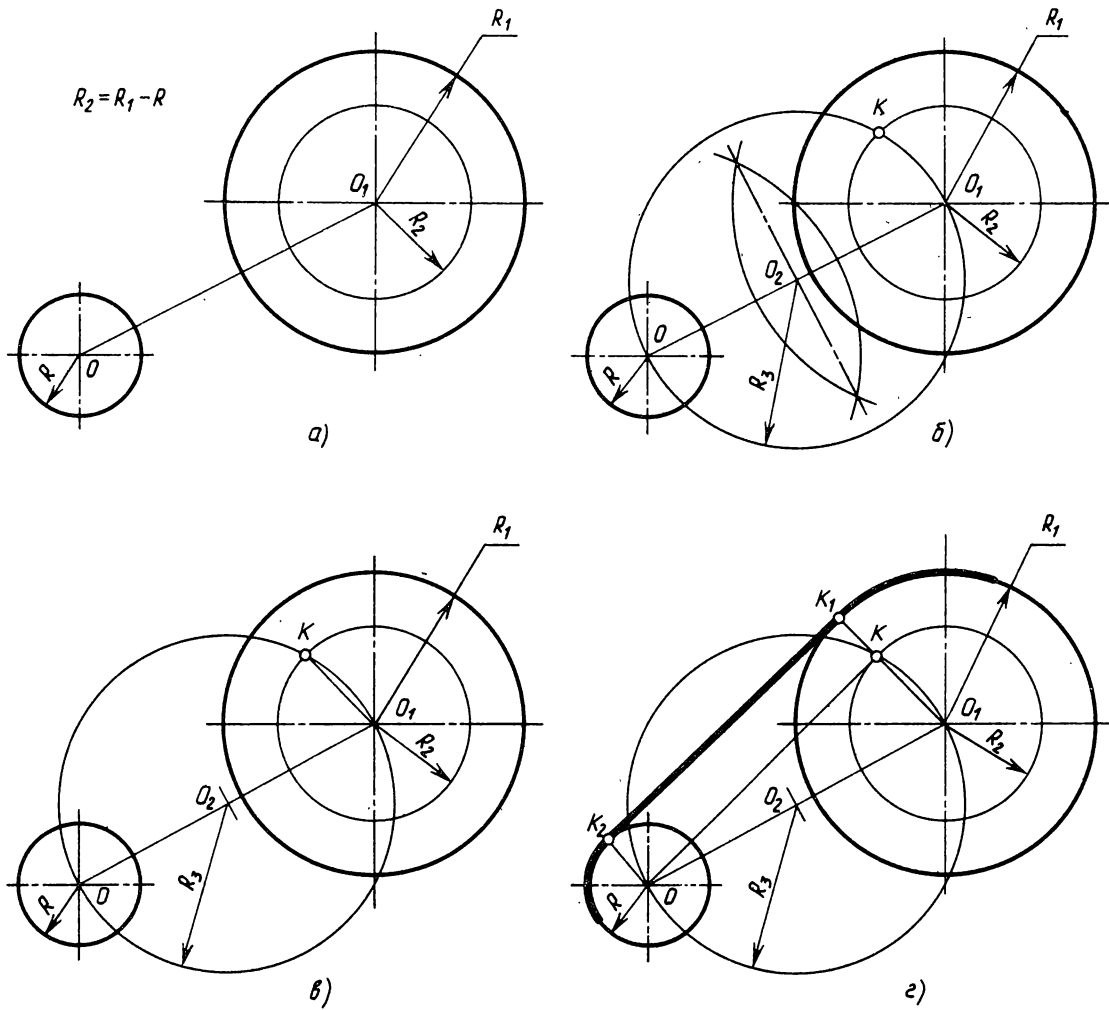


Рис. 137

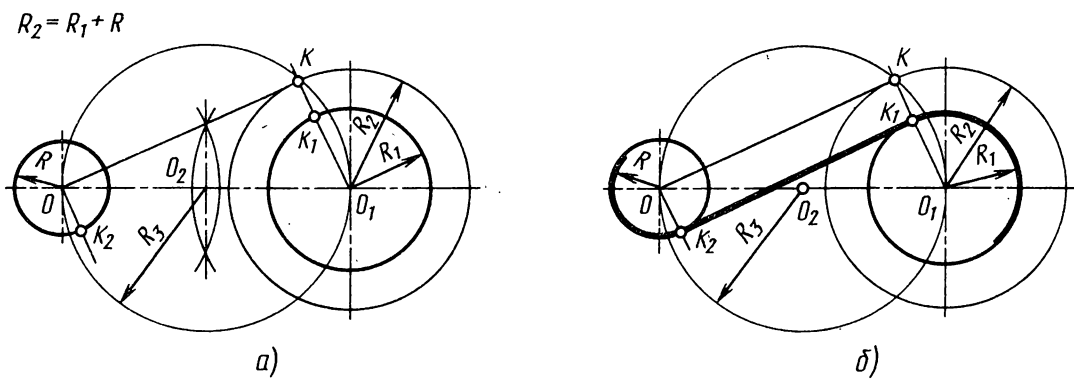


Рис. 138

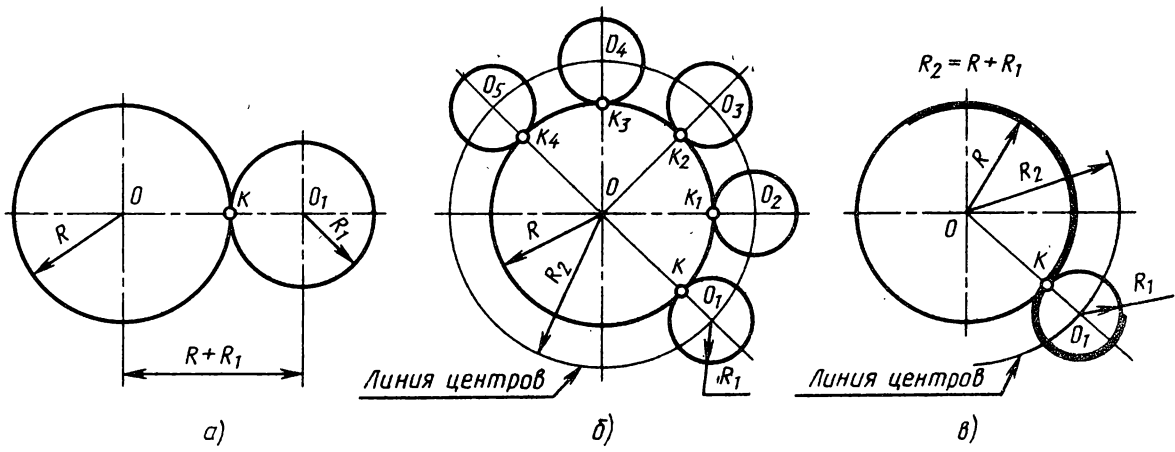


Рис. 139

Касание двух окружностей может быть внешним (рис. 139, а) или внутренним (рис. 140, а).

**Внешнее касание.** При внешнем касании двух окружностей расстояние между центрами этих окружностей будет равно сумме их радиусов (рис. 139).

Например, требуется построить плавный переход от окружности радиуса  $R$  к окружности радиуса  $R_1$  с внешней стороны, точка касания не задана. К окружности радиуса  $R$  можно построить множество касательных окружностей радиуса  $R_1$  с внешним касанием (рис. 139, б). Их центры ( $O_1, O_2$  и т. д.) будут находиться от центра  $O$  на одинаковом расстоянии, т. е. на окружности радиуса  $R_2 = R + R_1$ , проведенной из центра  $O$  заданной окружности. Точки касания  $K, K_1$  и т. д. лежат на прямых, соединяющих центры сопрягающихся окружностей (рис. 139, б).

На рис. 139, в показано построение внешнего касания двух окружностей с произвольной выбранной точкой касания  $K$ .

**Внутреннее касание.** При внутреннем касании двух окружностей одна из касательных окружностей находится внутри другой окружности, и расстояние между центрами этих окружностей будет равно разности их радиусов (рис. 140).

Например, требуется построить плавный переход от окружности радиуса  $R$  к окружности радиуса  $R_1$  с внутренней стороны, точка касания не задана. К окружности радиуса  $R$  можно построить множество касательных окружностей радиуса  $R_1$  с внутренней стороны (рис. 140, б). Их центры ( $O_1, O_2$  и т. д.) будут находиться на одинаковом расстоянии от центра  $O$ , т. е. на окружности радиуса  $R_2 = R - R_1$ , проведенной из центра  $O$  (рис. 140, б). Точки касания  $K, K_1, K_2$  и т. д. лежат на прямых,

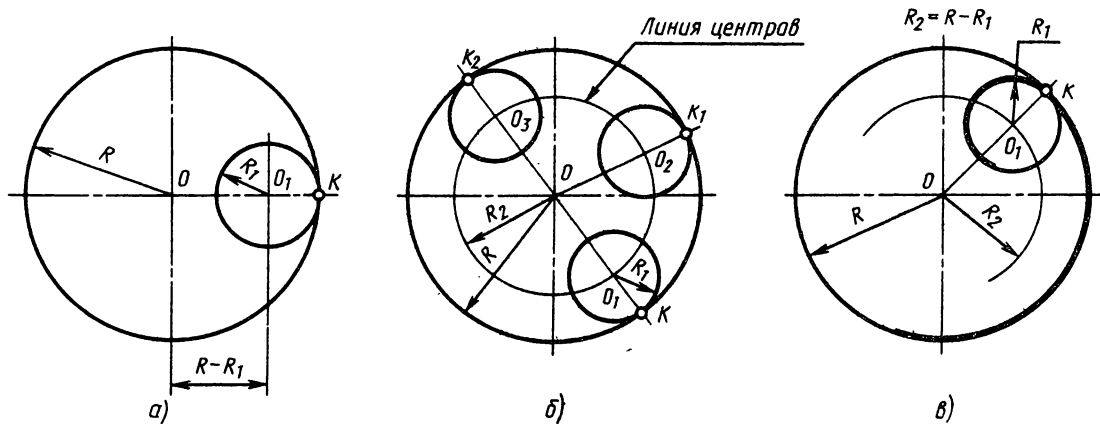


Рис. 140

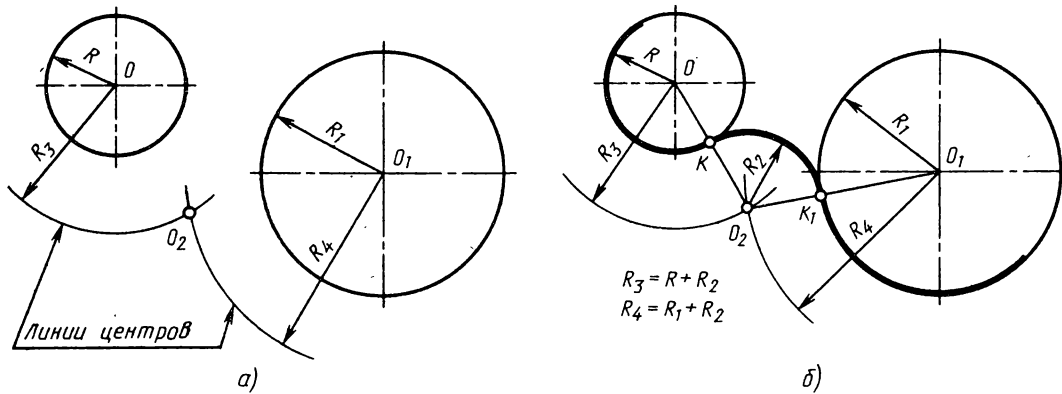


Рис. 141

проходящих через центры сопрягающихся окружностей (рис. 140, б). Так как точка касания не задана, на рис. 140, в показано построение внутреннего сопряжения двух окружностей с произвольно выбранной точкой касания.

Из рассмотренного выше следует, что если в сопряжении участвуют только окружности, то центр дуги сопряжения лежит на окружности, проведенной из центра заданной окружности радиусом, равным сумме или разности радиусов заданных окружностей, в зависимости от внешнего или внутреннего касания, точка касания лежит на прямой, соединяющей центры сопрягающихся окружностей. Для нахождения точки касания достаточно при внешнем касании только соединить центры (рис. 140, в), а при внутреннем касании — соединить и продлить эту прямую.

Сопряжение двух окружностей дугой заданного радиуса может быть внешним, внутренним и смешанным.

*Внешнее сопряжение двух заданных окружностей дугой заданного радиуса.* Если обе сопрягаемые окружности располагаются снаружи сопрягающей дуги, то центр этой дуги будет находиться от заданных окружностей на расстоянии, равном сумме радиусов (дуги и соответствующей окружности). Даны две окружности радиусов  $R$  и  $R_1$  (рис. 141, а), требуется построить внешнее сопряжение дугой радиуса  $R_2$ . Известно, что для окружности радиуса  $R$  центр дуги сопряжения находится на линии центров, проведенной суммой радиусов  $R + R_2$  из центра  $O$ . Для окружности радиуса  $R_1$  центр дуги сопряжения лежит на линии центров, проведенной суммой радиусов  $R_1 + R_2$  из центра  $O_1$ . Эти окружности (линии центров) проводят не полностью, а только до взаимного пересечения в точке  $O_2$  (рис. 141, а). Точка  $O_2$  будет центром дуги сопряжения, так как она одновременно принадлежит двум линиям центров. Точка сопря-

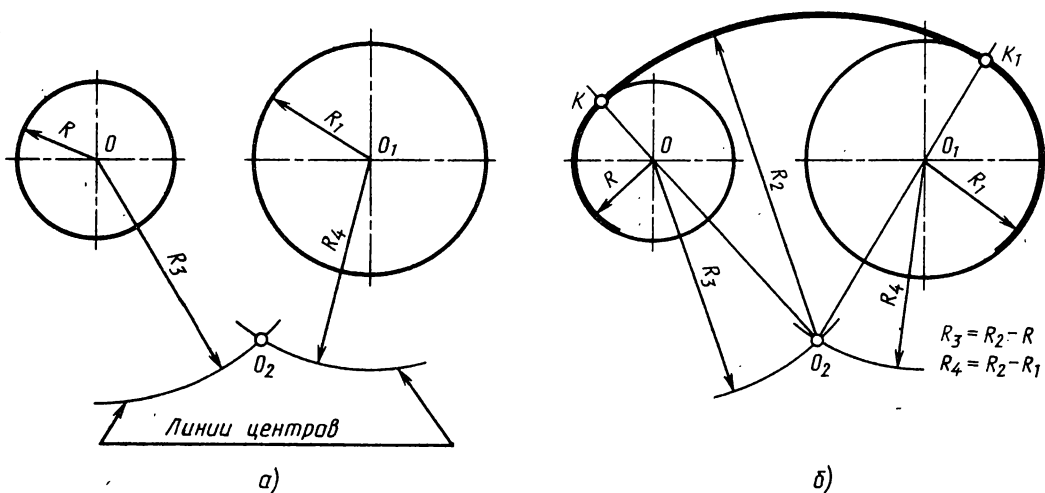


Рис. 142

жения лежит на прямой, соединяющей центр дуги сопряжения с центром заданной окружности, поэтому, соединяя точку  $O_2$  с точками  $O$  и  $O_1$  (рис. 141, б), в пересечении с заданными окружностями получают точки сопряжения  $K$  и  $K_1$ . Из точки  $O_2$  радиусом  $R_2$  от точки  $K$  до точки  $K_1$  проводится дуга сопряжения. Затем от точек  $K$  и  $K_1$  обводят дуги радиусами  $R$  и  $R_1$  из центров  $O$  и  $O_1$  (рис. 141, б).

*Внутреннее сопряжение двух окружностей дугой заданного радиуса.* Сопрягаемые окружности располагаются внутри сопрягающей дуги, и центр сопрягающей дуги будет находиться от центров заданных окружностей на расстоянии, равном разности радиусов (дуги и соответствующей окружности).

Даны две окружности с радиусами  $R$  и  $R_1$  (рис. 142, а), требуется построить внутреннее сопряжение дугой радиуса  $R_2$  в верхней части. Известно, что для окружности радиуса  $R$  центр дуги сопряжения находится на линии центров, проведенной радиусом  $R_3 = R_2 - R$  из центра  $O$  заданной окружности. Для окружности радиуса  $R_1$  центр дуги сопряжения находится на линии центров, проведенной радиусом  $R_4 = R_2 - R_1$  из центра  $O_1$  заданной окружности. В нижней части чертежа из центров  $O$  и  $O_1$  радиусами  $R_3$  и  $R_4$  проводят дуги до взаимного пересечения в точке  $O_2$ , которая будет центром дуги сопряжения, так как является общей точкой для двух линий центров (рис. 142, а). Находят точки сопряжения. Для этого точку  $O_2$  (центр дуги сопряжения) соединяют с точками  $O$  и  $O_1$  прямыми линиями, которые продлевают до пересечения с заданными окружностями в точках  $K$  и  $K_1$ , которые будут точками сопряжения (рис. 142, б).

*Смешанное сопряжение двух окружностей дугой заданного радиуса.* В этом случае дуга сопряжения с одной окружностью имеет внешнее касание, а с другой — внутреннее.

Даны две окружности с радиусами  $R$  и  $R_1$  (рис. 143), требуется построить сопряжение дугой радиуса  $R_2$  так, чтобы с окружностью радиуса  $R$  было внешнее касание, а с окружностью радиуса  $R_1$  — внутреннее. При внешнем касании линия центров — это окружность с радиусом, равным сумме радиусов заданной окружности и дуги сопряжения ( $R + R_2$ ), а при внутреннем — с радиусом, равным разности этих радиусов ( $R_2 - R_1$ ). Поэтому из центра  $O$  проводят дугу (линию центров) радиусом  $R_3$ , равным  $R + R_2$  (рис. 143), а из центра  $O_1$  — линию центров радиусом  $R_4$ , равным  $R_2 - R_1$  (рис. 143). В пересечении линий центров получают точку  $O_2$  (центр дуги сопряжения). Для нахождения точек сопряжения центр дуги сопряжения  $O_2$  соединяют с центрами  $O$  и  $O_1$

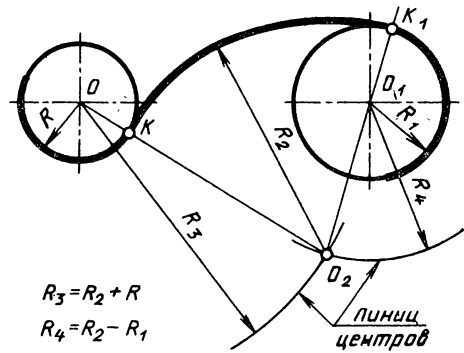


Рис. 143

прямыми. Прямую  $O_2O_1$  продолжают. В пересечении этих прямых с заданными окружностями получают точки сопряжения  $K$  и  $K_1$ . Из точки  $O_2$  дугой радиуса  $R_2$  от точки  $K$  до точки  $K_1$  проводят дугу сопряжения (рис. 143).

Если две сопрягающиеся окружности имеют близко расположенные центры, то одна окружность может находиться внутри другой или они будут пересекаться друг с другом (рис. 144). Чтобы построить сопряжение, необходимо найти центр и точки сопряжения. Для этого радиусом  $R_3 = R + R_2$  проводят дугу из центра  $O$ , а радиусом  $R_4 = R_1 - R_2$  — дугу линии центров из центра  $O_1$ . В пересечении получают точку  $O_2$  — центр дуги сопряжения. Соединив точку  $O_2$  с точками  $O$  и  $O_1$  прямыми, получают точки сопряжения  $K$  и  $K_1$ . Из центра  $O_2$  радиусом  $R_2$  проводят дугу сопряжения (рис. 144) от точки  $K$  до точки  $K_1$ .

**Третья группа задач** включает в себя задачи на сопряжения прямой и дуги окружности дугой заданного радиуса.

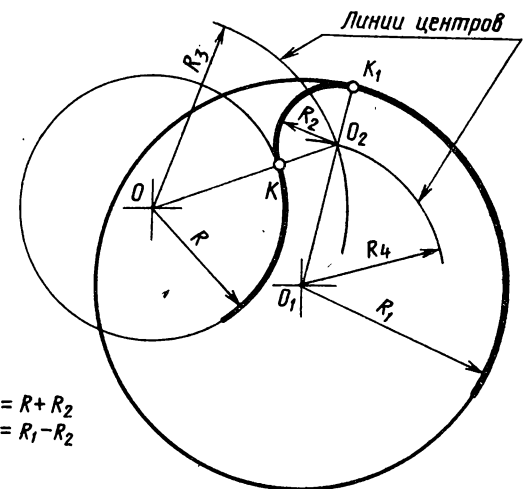


Рис. 144

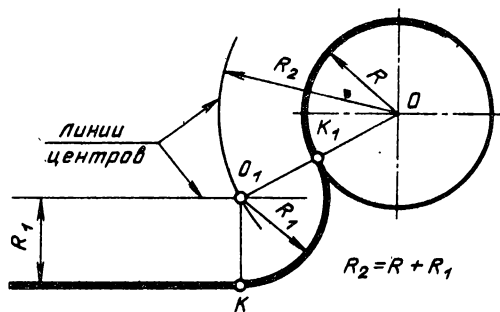


Рис. 145

Сопряжение прямой и дуги окружности дугой заданного радиуса. Выполняя такое построение, решают как бы две задачи: проведение касательной дуги к прямой и касательной дуги к окружности. Касание в этом случае может быть как внешним, так и внутренним.

**Внешнее касание.** Заданы прямая и дуга окружности радиуса  $R$ , требуется построить сопряжение дугой радиуса  $R_1$ . Так как сопрягается прямая линия, то центр дуги сопряжения находится на прямой, проведенной параллельно заданной прямой на расстоянии, равном радиусу сопряжения  $R_1$  (рис. 145). А центр дуги сопряжения при внешнем касании двух окружностей находится на окружности радиуса  $R_2$ , равного сумме радиусов  $R$  и  $R_1$ . В пересечении прямой и окружности (линий центров) получают точку  $O_1$ , которая является центром дуги сопряжения. Затем находят точки сопряжения. Одна точка сопряжения — это точка пересечения заданной прямой с перпендикуляром, опущенным из центра дуги сопряжения  $O_1$  на эту прямую (точка  $K$ ). Вторая точка сопряжения находится на пересечении заданной окружности и прямой, соединяю-

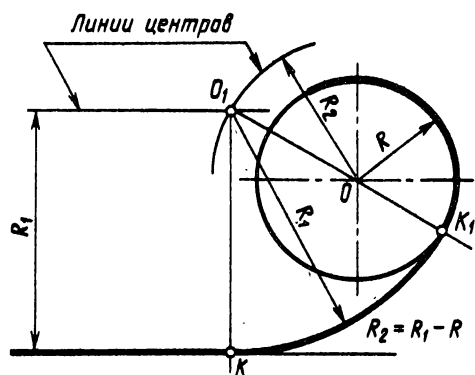


Рис. 146

щей центр дуги сопряжения с центром этой окружности (точка  $K_1$ ). Из точки  $O_1$  радиусом  $R_1$  проводят дугу сопряжения от точки  $K$  до точки  $K_1$ .

**Внутреннее касание** строится аналогично внешнему, только радиус  $R_2$  равен разности  $R_1 - R$  (рис. 146).

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ СОПРЯЖЕНИЙ НА ЧЕРТЕЖАХ

Приступая к выполнению чертежа, проводят анализ графического изображения детали, т. е. определяют виды используемых сопряжений и способы их построения. При выполнении чертежа очень важна последовательность построений. Поэтому перед началом работы изображение мысленно разбивают на элементы и определяют последовательность их выполнения. Сначала вычерчивают элементы, которые будут сопрягаться, а затем строят сопряжения. При вычерчивании сопряжений необходимо точное построение точек сопряжения и центров дуг сопряжения.

Рассмотрим изложенное выше на примере чертежа подвески, изображенного на рис. 147. По цифрам в кружках можно проследить последовательность выполнения элементов чертежа.

Начинают построение изображения с проведения оси симметрии (1), затем откладывают расстояние между центрами отверстий (2 и 3) и проводят центровые линии. Дальнейшую

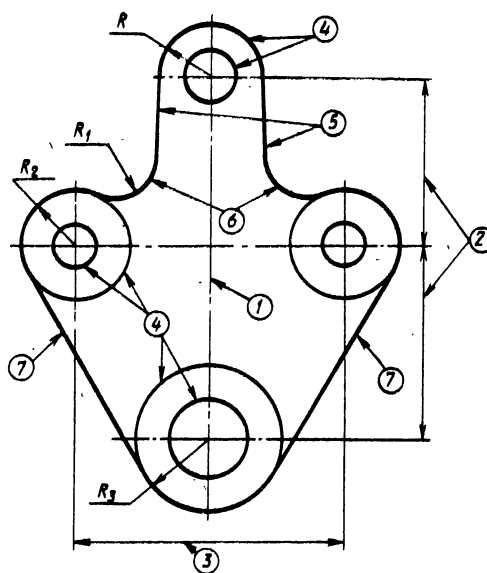


Рис. 147

последовательность построений проследите по цифрам. Обводку чертежа начинают с проведения окружностей и дуг от точек сопряжения (касания).

## § 16. УКЛОН И КОНУСНОСТЬ

Поверхности деталей часто представляют собой плоскости, расположенные наклонно друг к другу. Например, в литых и штампованных деталях, в изделиях проката (рельсы, балки, швеллеры). На чертежах подобные плоскости изображаются прямыми линиями.

Уклон — это величина, которая характеризует наклон одной прямой относительно другой. На чертеже уклон выражается отношением двух чисел или в процентах. Обозначается уклон знаком  $\nabla$ , размеры которого показаны на рис. 50, п. 18, согласно ГОСТ 2.304—81. Знак ставится перед числовым значением уклона над полкой линии выноски (рис. 148). Линия выноски заканчивается стрелкой, упирающейся в линию уклона. Острый угол знака должен быть направлен в ту же сторону, что и острый угол уклона.

Рассмотрим построение уклона, заданного отношением 1:3, относительно вертикального и горизонтального направлений (рис. 148, а и б). Сначала строят прямой угол  $AOB$ . При горизонтальном направлении уклона (рис. 148, а) откладывают отрезок произвольной величины по вертикальной стороне угла, получают точку  $A$ , а при вертикальном направлении уклона (рис. 148, б) — по горизонтальной стороне угла. По второй стороне угла откладывают три таких отрезка, получают точку  $B$ . Соединив точки  $A$  и  $B$  прямыми, получают прямоугольный треугольник, гипотенуза которого будет располагаться под заданным уклоном.

На рис. 149 уклон задан в процентах (15%). В этом случае строят прямой угол с вер-

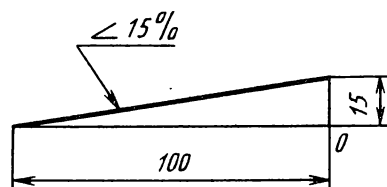


Рис. 149

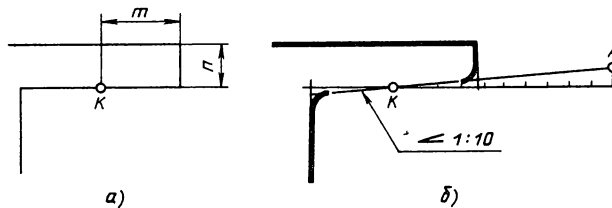


Рис. 150

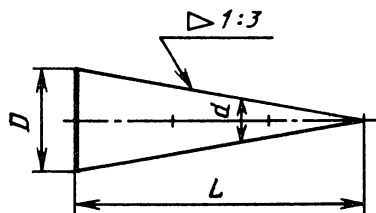


Рис. 151

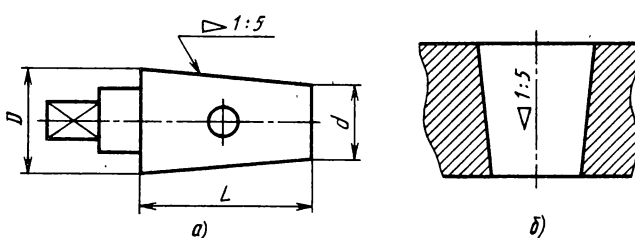


Рис. 152

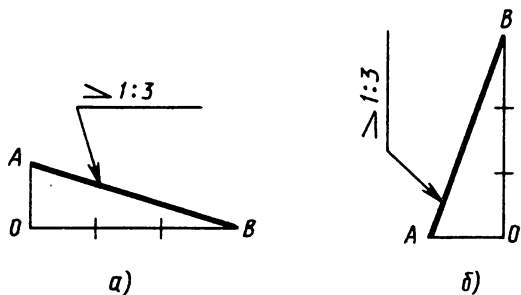


Рис. 148

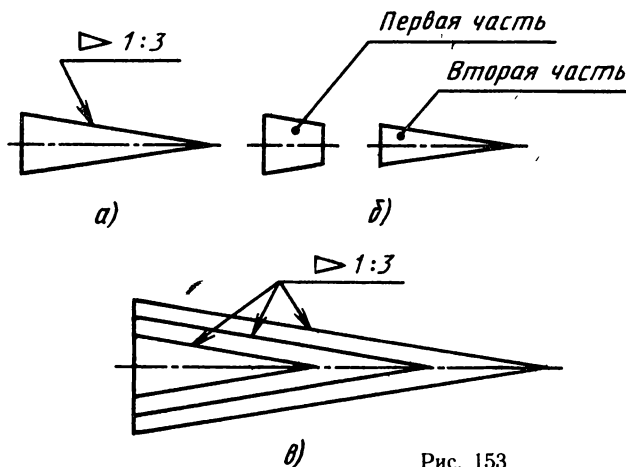
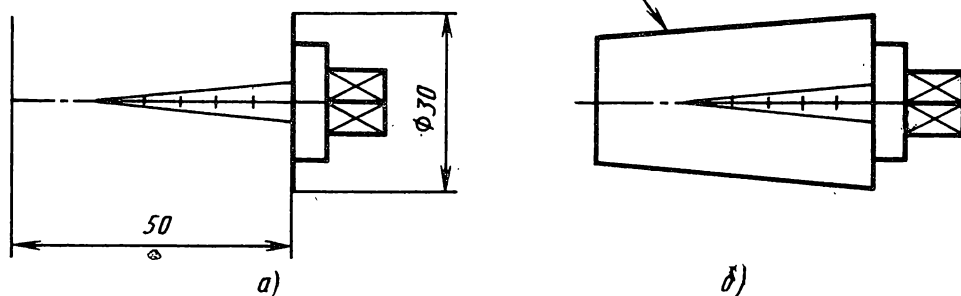


Рис. 153

Рис. 154



шиной  $O$ . На одной стороне угла (в данном случае горизонтальной) от точки  $O$  откладывают величину, принятую за 100%, например 100 мм, а на второй — от той же точки  $O$  откладывают величину, равную процентам заданного уклона, в данном случае 15 мм. Полученные точки соединяют прямой, которая будет располагаться с заданным уклоном.

Если на чертеже требуется построить уклон 1:10 через заданную точку  $K$ , построение начинают от заданной точки, положение которой на чертеже определяют размеры  $m$  и  $n$  (рис. 150, а). Для построения уклона от точки  $K$  вправо продлевают прямую линию, на которой от точки  $K$  откладывают десять одинаковых отрезков произвольной величины (рис. 150, б). Из конца последнего отрезка проводят перпендикуляр, на котором откладывают величину одного такого отрезка, получают точку  $A$ . Через точки  $A$  и  $K$  проводят прямую с заданным уклоном.

Провести прямую с заданным уклоном через заданную точку можно, построив на свободном месте чертежа заданный уклон, потом с помощью двух угольников, параллельно построенному уклону, провести через заданную точку прямую.

Конусность — это отношение разности диаметров двух поперечных сечений конуса к расстоянию между ними. Конусность обозначают буквой  $C$ , диаметр большего сече-

ния —  $D$ , диаметр меньшего сечения —  $d$ , высоту —  $L$ . Конусность определяют по формуле  $C = \frac{D-d}{L}$ . Следовательно, для полного кругового конуса конусность определяется по формуле  $C = \frac{D}{L}$  (рис. 151). Конусность, так же как уклон, может быть задана на чертеже в процентах (20%) или отношением двух чисел (1:5). Чаще конусность задается в виде отношения двух чисел и обозначается знаком  $\nabla$ , размеры которого определяет ГОСТ 2.304—81 (см. рис. 50, п. 19). Вершина знака должна быть направлена в сторону вершины конуса. Знак наносят над полкой линии-выноски (рис. 152, а) или над осевой линией (рис. 152, б).

Если конус расечь плоскостью на две части, то конусности этих частей будут одинаковыми (рис. 153, а и б). Несколько конусов с параллельными образующими будут иметь одинаковую конусность (рис. 153, в).

На рис. 154 приведено построение чертежа заготовки пробки с конусностью 1:5, диаметром  $\varnothing 30$  большего основания и расстоянием между основаниями 50 мм. Сначала строят элементы без конусности (рис. 154, а). Зная, что конусность — для полного конуса — это отношение диаметра основания к высоте, от оси конуса в обе стороны по диаметру  $\varnothing 30$  симметрично от-

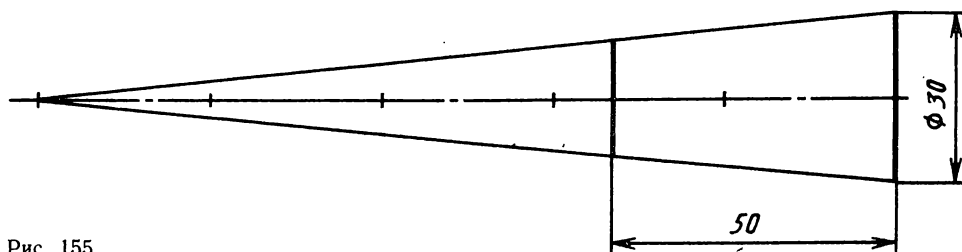


Рис. 155

носителем оси откладывают отрезок произвольной длины, который будет основанием вспомогательного конуса. По оси конуса от основания вспомогательного конуса откладывают пять таких отрезков. Соединив полученную точку с концами основания вспомогательного конуса, получают конус с конусностью 1:5 (рис. 154, а). Через концы диаметра  $\varnothing 30$  проводят прямые параллельно образующим вспомогательного конуса, до пересечения с вертикальной прямой, ограничивающей длину пробки, и получают меньшее основание усеченного конуса (рис. 154, б), размер которого не задан.

Если конусность небольшая, то заданный диаметр откладывают по осевой линии от основания в направлении высоты конуса столько раз, сколько указано в отношении. Построив тонкими линиями конус, отсекают часть заданной длины (рис. 155).

1. Как провести несколько параллельных прямых, пользуясь угольником?
2. Как провести перпендикуляр к прямой с помощью циркуля и линейки?
3. Как определить центр дуги окружности, если он не задан?
4. Как разделить угол  $90^\circ$  на три равные части с помощью циркуля?
5. Как построить угол  $75^\circ$  с помощью угольников?
6. Как разделить окружность на три и шесть равных частей циркулем?
7. Что такое сопряжение?
8. Как определить точку касания при построении окружности, касательной к прямой?
9. Что представляет собой линия центров при сопряжении двух окружностей (дуг)?
10. Какова последовательность выполнения чертежа детали, в очертании которой имеются сопряжения?
11. На каком расстоянии от центров заданных окружностей будет находиться центр касательной дуги при построении сопряжения двух окружностей дугой заданного радиуса при внешнем касании?

## ГЛАВА IV

### КРИВЫЕ ЛИНИИ

Кривые линии встречаются в очертаниях отдельных элементов деталей машин и механизмов, а также в очертаниях конструкций различных строительных сооружений. Если все точки кривой линии лежат в одной плоскости, такие кривые называют плоскими кривыми. Если точки кривой не лежат в одной плоскости, такие кривые называют пространственными кривыми.

В геометрическом черчении плоские кривые делят на две группы в зависимости от инструментов, которыми выполняется их построение: коробовые (циркульные) кривые, состоящие из дуг окружностей, и л е к а л ь н ы е к р и в ы е, которые строят по точкам и обводят по лекалу.

#### § 17. КОРОБОВЫЕ КРИВЫЕ ЛИНИИ

Коробовые кривые представляют собой линии, состоящие из сопряженных дуг окружностей разных радиусов. К таким кривым относятся завитки, овалы и овоиды. Коробовые линии получили такое название потому, что такие формы имели днища коробов. Профили кулачков, эксцентрики, фланцы, строительные элементы (арки, своды) в очертаниях имеют эти линии.

З а в и т о к представляет собой плоскую кривую, по форме похожую на спираль и состоящую из нескольких дуг различных радиусов, проведенных из нескольких центров.

Рассмотрим построение четырехцентровой завитка. Заданы четыре центра (1, 2, 3 и 4), которые являются вершинами квадрата со стороной  $d$ . Продолжим стороны квадрата, как показано на рис. 156. Из центра 1 радиусом  $d$  проводят дугу от точки 4 до пересечения с продолженной стороной квадрата 1 2 в точке А. Из центра 2 радиусом  $2d$  ( $2d$ ) проводят дугу от точки А до пересечения с продолженной стороной квадрата 2 3 в точке В. Из точки 3 радиусом  $3d$  ( $3d$ ) проводят дугу от точки В до пересечения с продолженной стороной квадрата 3 4 в точке С. Из центра 4 проводят дугу радиусом  $4d$  ( $4d$ ) от точки С до пересечения с продолженной стороной квадрата 1 4 в точке D. Далее построение продолжают в той же последовательности, увеличивая радиус дуги каждый раз на величину  $d$ .

При вычерчивании завитков не всегда начинают построение от вершины квадрата. В чертеже кожуха вентилятора (рис. 157) завиток строят от точки А радиусом  $R+d$  из центра 1, где радиус  $R$  задается конструктором; до пересечения с продолженной стороной квадрата 2 1 в точке В. Далее из центра 2 проводится

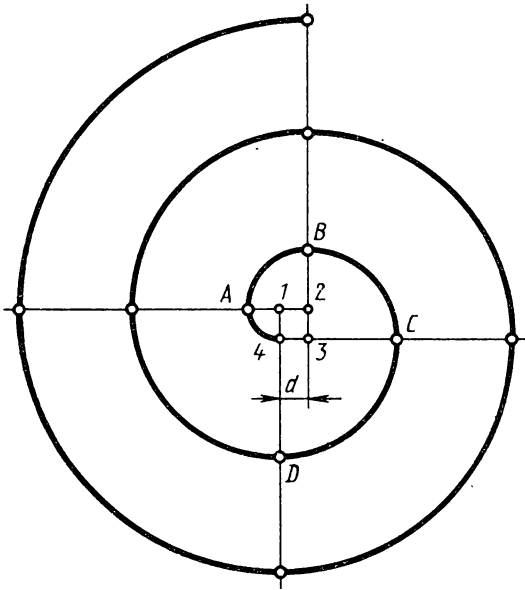


Рис. 156

дуга радиусом  $R+2d$  от точки  $B$  до пересечения с продолжением стороны квадрата  $3-2$  в точке  $C$  и т. д. Заканчивается построение завитка в точке  $E$ .

Овал представляет собой плавную замкнутую симметричную кривую, состоящую из четырех сопрягающихся дуг. Для его построения нужно найти четыре центра дуг и четыре точки сопряжения.

По форме овал приближается к эллипсу (лекальная кривая), поэтому эллипс часто заменяют овалом, так как вычерчивать овал проще. Овал имеет две оси: большую и малую. Они делят его на симметричные части. Существует

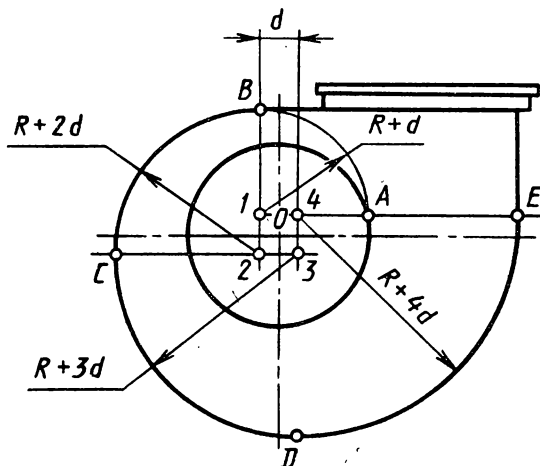


Рис. 157

несколько способов построения овалов с четырьмя центрами. Чаще всего строят овал по двум заданным осям.

Заданы две оси:  $AB$  — большая ось и  $CD$  — малая ось. Оси взаимно перпендикулярны, поэтому сначала проводят две взаимно перпендикулярные линии и на них откладывают размеры заданных осей (рис. 158, *a*). Точки  $A$  и  $C$  соединяют прямой линией. Из точки  $O$  радиусом  $OA$  проводят дугу до пересечения с вертикальной линией в точке  $E$ . Отрезок  $CE$  откладывают на отрезке  $AC$  от точки  $C$ , получают точку  $F$ . Через середину отрезка  $AF$  проводят перпендикулярную прямую (для этого применяют способ деления отрезка пополам циркулем), которая пересечет большую ось в точке  $1$ , а малую — в точке  $2$ . Точка  $1$  будет центром левой малой дуги, а точка  $2$  — центром верхней большой дуги. Так как овал — фигура симметричная, то справа от точки  $O$  на расстоянии, равном отрезку  $O1$ , находится точка  $3$  — центр правой малой дуги, а сверху на расстоянии, равном отрезку  $O2$ , находится точка  $4$  — центр нижней большой дуги (рис. 158, *б*).

Поскольку точки сопряжения лежат на прямых, соединяющих центры дуг, точки  $1$  и  $4$ ,  $3$  и  $4$ ,  $1$  и  $2$ ,  $2$  и  $3$  соединяют прямыми (рис. 158, *в*). Эти прямые ограничивают длину дуг и на них будут находиться точки сопряжения.

Для построения овала из центров  $1$  и  $3$  проводят дуги радиусом, равным отрезку  $1A$ , до пересечения с прямыми в точках  $5, 6, 7$  и  $8$ , которые будут являться точками сопряжения. Из центра  $2$  через точку  $C$  радиусом, равным отрезку  $2C$ , проводят дугу от точки  $5$  до точки  $8$  (рис. 158, *г*). Из центра  $4$  через точку  $D$  радиусом, равным  $4D$ , проводят дугу от точки  $6$  до точки  $7$ .

Овоид представляет собой овал, имеющий одну ось симметрии. Эта кривая применяется при вычерчивании кулачков (рис. 159, *a*), рукояток (рис. 159, *б*) и других деталей. Овоид задают диаметром или радиусом основной окружности. Построение начинают с проведения оси овоида и центральной линии  $AB$  основной окружности (рис. 160). Точка  $C$  будет центром малой дуги овоида. Точки  $A$  и  $B$  — центры больших дуг овоида. Для нахождения точек сопряжения  $K$  и  $K_1$  проводят прямые через центры ( $A, B$  и  $C$ ) дуг сопряжения. Из точки  $A$  радиусом  $AB$ , равным диаметру заданной окружности, проводят дугу до пересечения с прямой  $AC$  в точке  $K$ . Из точки  $B$  радиусом  $BA$  проводят вторую дугу до пересечения с прямой  $BC$  в точке  $K_1$ .  $K$  и  $K_1$  — точки сопряжения. Из центра  $C$  радиусом  $CK$  проводят дугу  $KK_1$ . Дугу  $AB$  проводят радиусом основной окружности.

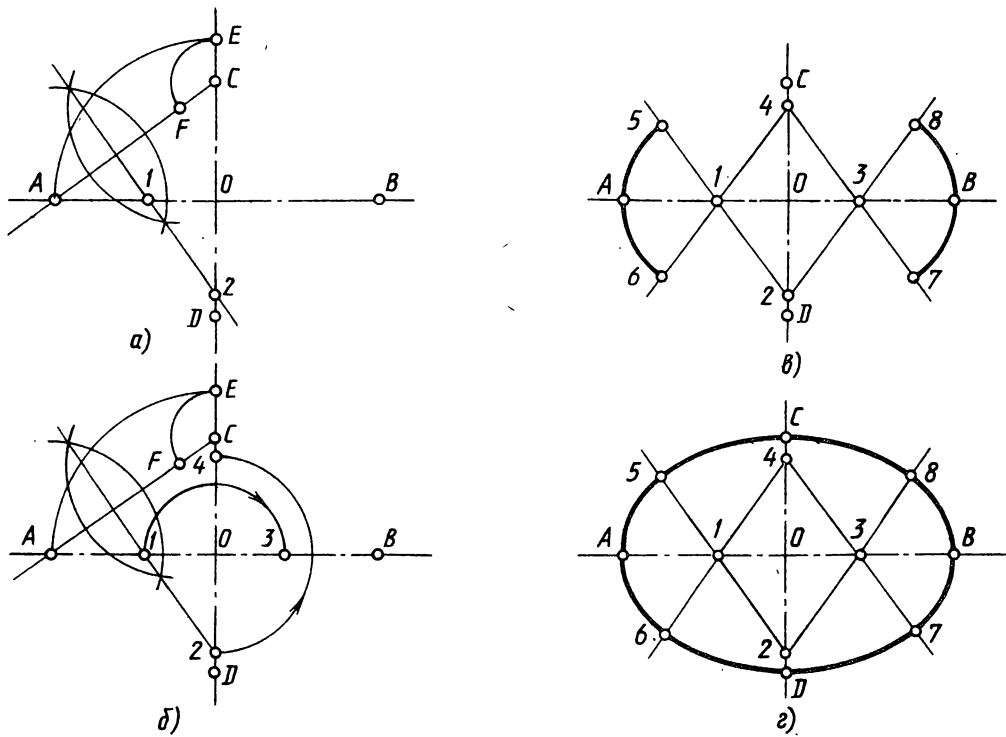


Рис. 158

## § 18. ЛЕКАЛЬНЫЕ КРИВЫЕ

Лекальные кривые называют так потому, что они обводятся по лекалу. Принадлежащие им точки не лежат на окружностях или дугах, их строят по определенным законам, соединяют тонкой плавной линией от руки и обводят по лекалу небольшими участками. Приемы обводки кривых линий по лекалу подробно рассмотрены в § 2.

В технике часто встречаются детали, имеющие сложные очертания, состоящие из различных криволинейных участков, в том числе и из лекальных кривых. На рис. 161 показаны такие детали: маховое колесо, гайка, кронштейн, кулачок.

Лекальные кривые получаются при пересечении поверхностей плоскостями, при перемещении какой-либо точки в плоскости по определенному закону, могут графически отражать закономерности какого-либо процесса, являться проекциями пространственных кривых и т. п. По характеру образования лекальные кривые можно разделить: на кривые конического сечения, циклические кривые, спирали, синусоидальные кривые. Рассмотрим несколько кривых из каждой группы.

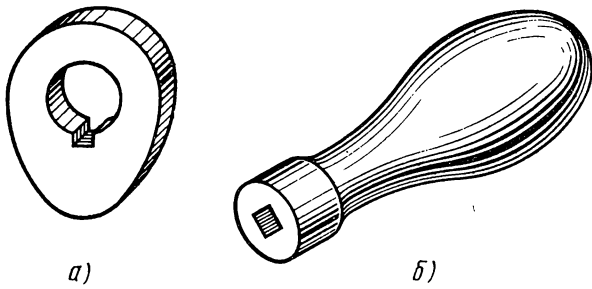


Рис. 159

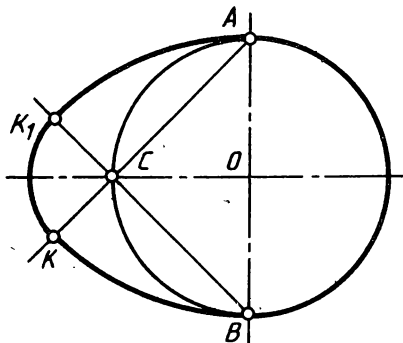


Рис. 160

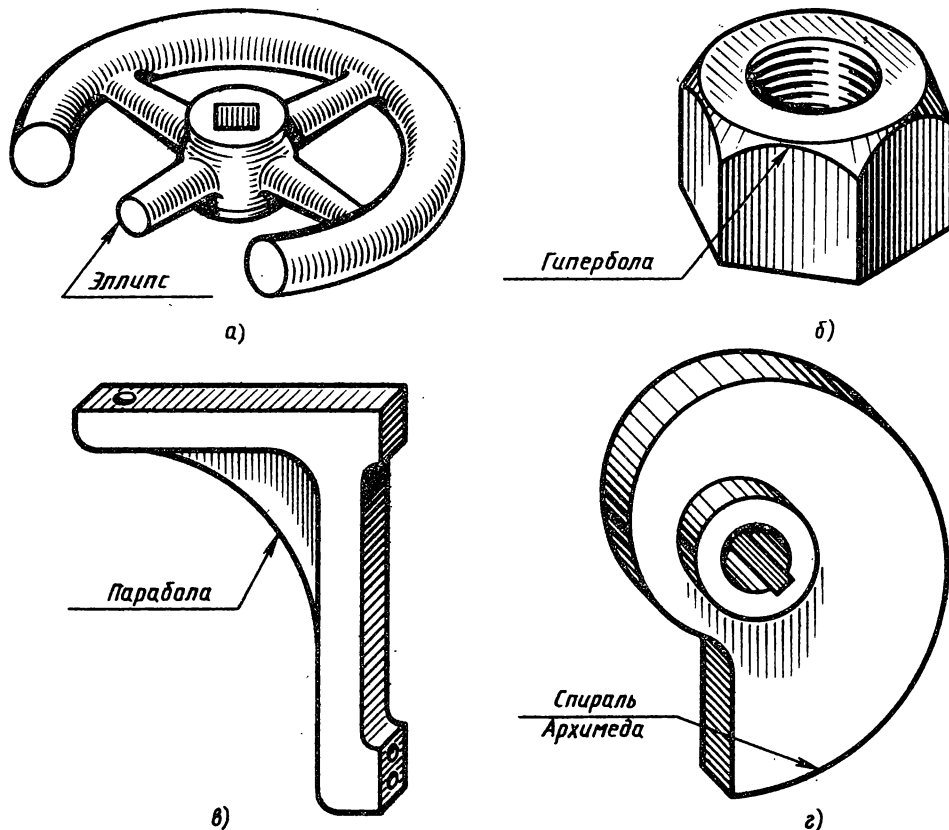


Рис. 161

Кривые конического сечения — эллипс, параболу, гиперболу — можно получить при пересечении прямого кругового конуса плоскостями различного положения по отношению к образующим и оси конуса.

Эллипс — это плоская кривая линия, у которой сумма расстояний от любой точки этой кривой до двух ее фокусов ( $F_1$  и  $F_2$ ), расположенных на большой оси, есть величина постоянная, равная большой оси эллипса. Например, сумма расстояний от точки  $M$  до двух фокусов  $F_1, F_2$  (рис. 162) равна величине большой оси эллипса  $AB$ , то есть  $F_1M + F_2M = AB$ . Эллипс всегда имеет две взаимно перпендикулярные оси (большую и малую). На рис. 162 дана большая ось  $AB = 2a$  и малая ось  $CD = 2b$ , требуется построить эллипс, используя для этого его фокусы. Сначала находят два фокуса  $F_1$  и  $F_2$ . Для этого из точек  $C$  или  $D$  проводят дугу радиусом  $R = a$  до пересечения с большой осью в точках  $F_1$  и  $F_2$ . Эти точки являются фокусами, так как точка  $C$  принадлежит эллипсу, а  $CF_1 + CF_2 = AB$  по построению. Для построения точек  $M, M_1, M_2, M_3$  произвольным радиусом  $R_1$  ( $R_1$  не больше расстояния  $F_1B$ ) сначала из фокуса  $F_1$ , а потом из фокуса  $F_2$

сверху и снизу от большой оси проводят небольшие дуги. Вторым радиусом ( $R_2$ ) равен разности  $AB - R_1$ . Радиусом  $R_2$  из двух фокусов делают засечки на четырех ранее проведенных дугах, получают точки  $M, M_1, M_2$  и  $M_3$ . Число точек для построения очертания эллипса берется по необходимости, и все они строятся аналогично точкам  $M, M_1, M_2$  и  $M_3$ .

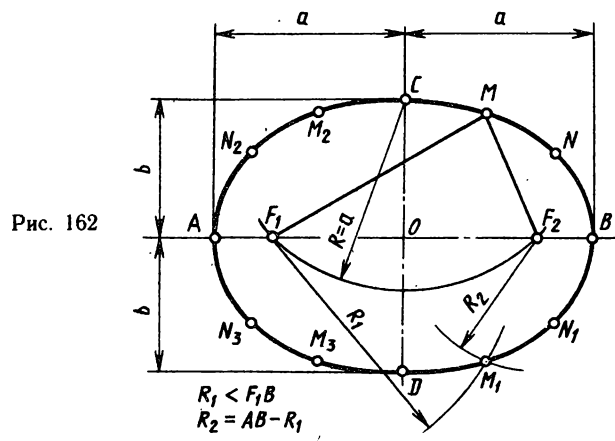


Рис. 162

$$R_1 < F_1B$$

$$R_2 = AB - R_1$$

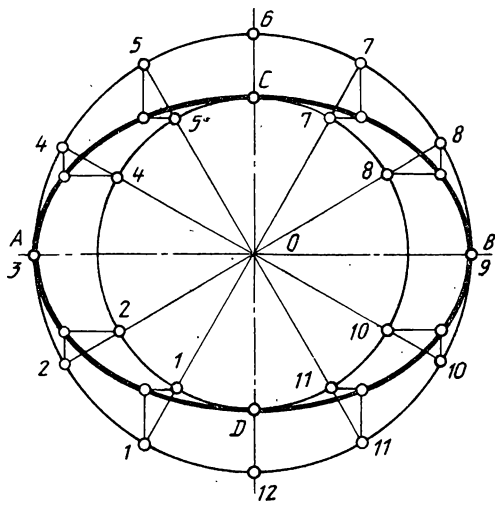


Рис. 163

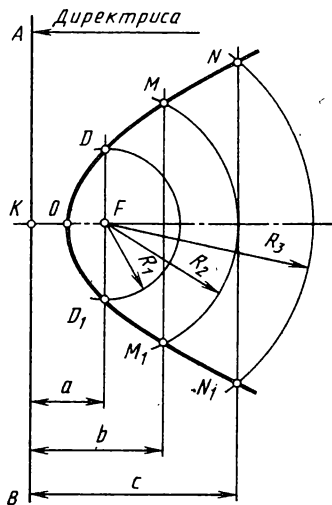


Рис. 164

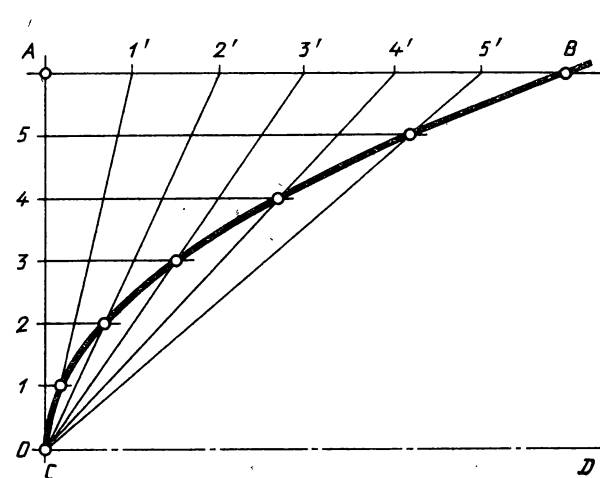


Рис. 165

**Построение эллипса по заданным осям.** Заданы оси эллипса  $AB$  (большая) и  $CD$  (малая), требуется построить эллипс. Проводят две взаимно перпендикулярные прямые и от точки их пересечения (точка  $O$ ) откладывают вверх и вниз по половине малой оси, а влево и вправо — по половине большой оси (рис. 163). Из точки  $O$  описывают две концентрические окружности: одну — через концы малой оси, а вторую — через концы большой оси. Большую окружность делят на любое число равных частей, например, двенадцать, все точки деления соединяют прямыми с точкой  $O$ . Эти двенадцать радиусов разделяют малую окружность тоже на двенадцать равных частей. Из всех двенадцати точек, лежащих на большой окружности, проводят прямые, параллельные малой оси, а из точек, лежащих на малой окружности, проводят прямые, параллельные большой оси эллипса, до пересечения друг с другом. В пересечении этих прямых получают точки, принадлежащие эллипсу. Затем эти точки соединяют от руки плавной линией и обводят по лекалу.

**Парабола** — это плоская кривая, каждая точка которой удалена на одинаковое расстояние от заданной точки  $F$  (фокус) и заданной прямой  $AB$  (директриса). Парабола имеет одну ось симметрии. Между директрисой и фокусом задается расстояние. Вершина параболы (точка  $O$ ) всегда находится посередине этого расстояния, потому что она, как и любая точка параболы, должна находиться на одинаковом расстоянии от фокуса и директрисы. На рис. 164 показано построение параболы, где задано расстояние между директрисой и фокусом (отрезок  $KF$ ). Через точку  $K$  проводят директрису, параллельно директрисе произвольно проводят несколько прямых. Первая прямая проведена через фокус  $F$ . Из точки  $F$  радиусом  $R_1 = a$  проводят дугу до пересечения с прямой в точках  $D$  и  $D_1$ . Эти точки будут принадлежать параболы, так как они находятся на одинаковом расстоянии ( $a$ ) от директрисы и фокуса. Вторая прямая проведена на расстоянии  $b$  от директрисы. Из точки  $F$  проводят дугу радиусом  $R_2 = b$  до пересечения с этой прямой в точках  $M$  и  $M_1$ , которые будут принадлежать параболы, так как находятся на одинаковом расстоянии ( $b$ ) от директрисы и фокуса, и т. д.

Существует несколько способов построения параболы. Рассмотрим два из них.

**Построение параболы по оси  $CD$ , вершине  $O$  и точке  $B$ ,** принадлежащей параболы. Из вершины параболы (точка  $O$ ) перпендикулярно оси  $CD$  параболы проводят прямую. Из точки  $B$  параллельно оси проводят прямую до пересечения с первой прямой в точке  $A$  (рис. 165). Отрезки  $OA$  и  $AB$  делят на одинаковое число равных частей, затем полученные точки нумеруют от

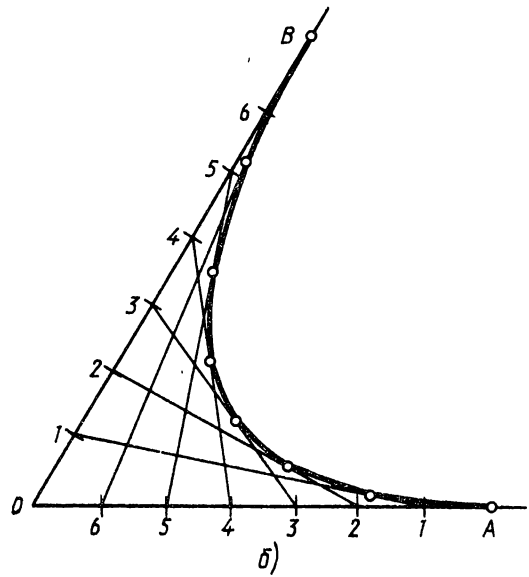
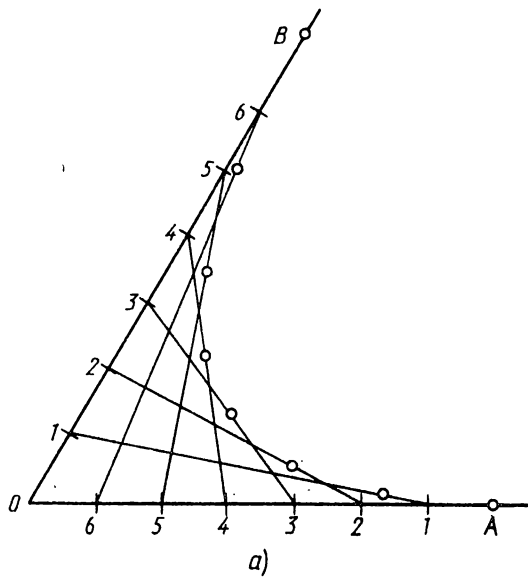


Рис. 166

вершины  $O$  на вертикальной прямой от точки  $A$  на горизонтальной прямой. Вершину  $O$  соединяют с точками на прямой  $AB$ . Из точек, лежащих на прямой  $OA$ , проводят прямые параллельно оси параболы: из точки  $1$  — до пересечения с прямой  $O1'$ , из точки  $2$  — до пересечения с прямой  $O2'$  и т. д. Точки пересечения будут точками параболы (рис. 165).

**Построение параболы как кривой, касательной к двум прямым с заданными на них точками касания  $A$  и  $B$ .** Построение начинают с деления отрезков  $OA$  и  $OB$  на одинаковое число равных частей. Затем на одной прямой от точки  $O$ , а на другой прямой от точки  $A$  полученные точки нумеруют (рис. 166, а). Точки с одинаковым номером соединяют прямыми, которые, пересекаясь между собой, как бы скругляют угол  $AOB$  ломаной линией. Примерно посередине каждого отрезка этой линии находится точка, принадлежащая параболе. Эти точки соединяют от руки тонкой плавной линией и обводят по лекалу (рис. 166, б).

Гипербола — это плоская кривая, разность расстояний от каждой точки которой до двух заданных точек  $F_1$  и  $F_2$  (фокусов) есть величина постоянная, равная расстоянию между вершинами гиперболы  $A_1$  и  $A_2$ . Гипербола имеет две незамкнутые симметрично расположенные ветви (рис. 167). Она имеет две асимптоты ( $BC$  и  $DE$ ) — прямые, к которым ветви гиперболы стремятся приблизиться, но это приближение бесконечно. Гипербола имеет две оси — действительную ( $x$ ) и мнимую ( $y$ ). На действительной оси располагаются два фокуса

( $F_1$  и  $F_2$ ), вершины ( $A_1$  и  $A_2$ ) и центр гиперболы (точка  $O$ ), который находится посередине отрезка  $A_1A_2$ . На рис. 167 на примере произвольно взятой точки  $M$  показано, что разность расстояний от этой точки до фокусов ( $F_1$  и  $F_2$ ), т. е. отрезок  $F_1N$ , равна отрезку  $A_1A_2$  — расстоянию между вершинами гиперболы.

**Построение гиперболы по заданным фокусам и вершинам.** Заданы расстояние между фокусами  $F_1$  и  $F_2$  (2а) и расстояние между вершинами (2б), требуется построить две ветви гиперболы. Для построения сначала проводят действительную ось  $x$  и мнимую ось  $y$  (рис. 168). В их пересечении лежит центр гиперболы (точка  $O$ ), от которого откладывают влево и вправо расстояния  $a$  и  $b$ , т. е. строят фокусы  $F_1$  и  $F_2$  и вершины  $A_1$  и  $A_2$ . Затем от одного из фокусов, например  $F_2$ , по действительной оси (в данном случае вправо) откладывают несколько отрезков произвольной длины так, чтобы по мере удаления от фокуса их величина несколько увеличивалась. На рис. 168 отложено четыре таких отрезка, концы которых отмечены цифрами 1, 2, 3, 4. Из фокусов  $F_1$  и  $F_2$  поочередно проводят дуги радиусом, равным расстоянию от построенных точек до вершин  $A_1$  и  $A_2$ . Рассмотрим это на примере построения точек  $K_1$  и  $K_2$ . Радиусом  $R_1$ , равным расстоянию от точки 4 до точки  $A_1$ , из фокуса  $F_1$  проводят сверху и снизу по небольшой дуге. Тем же радиусом  $R_1$  из фокуса  $F_2$  проводят еще две дуги. Затем радиусом  $R_2$ , равным расстоянию от точки 4 до точки  $A_2$ , из фокусов  $F_1$  и  $F_2$  поочередно делают засечки на первых четырех дугах, в пересече-

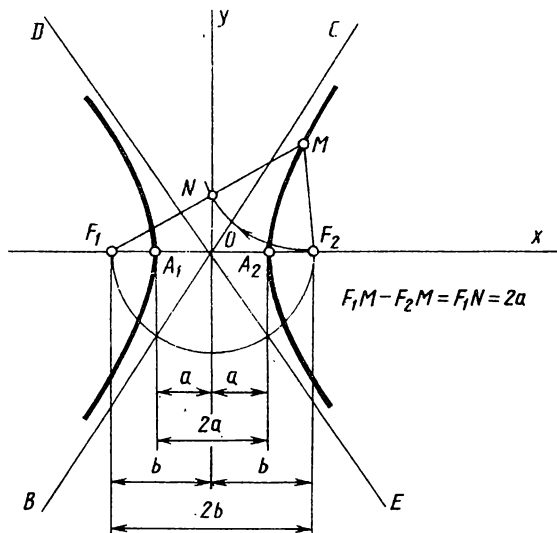


Рис. 167

нии получают точки  $K_1$  и  $K_2$ . Таким же образом от точек 1, 2 и 3 получают радиусы для построения других точек гиперболы.

**Построение равнобокой гиперболы по заданным асимптотам  $OA$  и  $OB$  и точке  $M$**  (рис. 169). Через заданную точку  $M$  параллельно асимптотам проводят две прямые. Из точки  $O$  проводят произвольно прямые  $OC, OD, OE, OF$ , как показано на рис. 169, каждая из которых пересекает прямые, проведенные параллельно асимптотам, в двух точках ( $c_1, c_2, d_1, d_2 \dots$ ). Из построенных точек проводят прямые, параллельные асимптотам, как показано на рис. 169, в пересечении

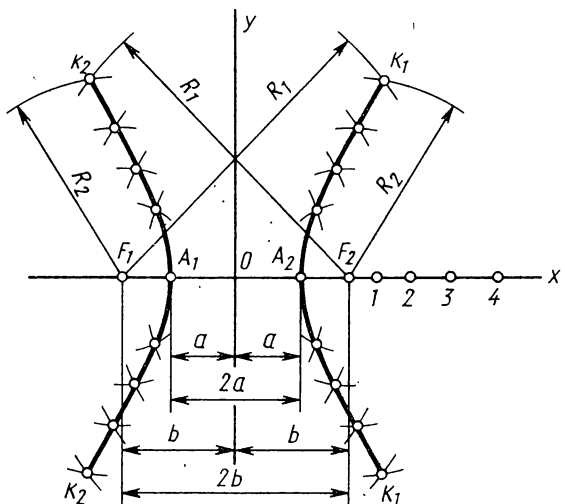


Рис. 168

которых получают точки, принадлежащие гиперболы ( $c_3, d_3, e_3$  и  $f_3$ ). Затем эти точки соединяют плавной тонкой линией от руки и обводят по лекалу.

Циклические кривые — это плоские линии, которые получают в результате перемещения точки окружности, катящейся по какой-либо линии. Катящаяся окружность, на которой лежит точка, является производящей окружностью, а окружность или прямая, по которой катится окружность, — направляющей. К циклическим кривым относятся циклоида, эпициклоида, гипоциклоида. Эти кривые широко применяются в машиностроении в деталях, обычно связанных с круговым движением, например, в построениях профиля зуба зубчатых колес и реек.

Циклоида (от греч. *kukloides* — кругобразный) — плоская кривая, описываемая точкой окружности, которая без скольжения катится по прямой линии.

Заданы направляющая прямая  $CD$  и производящая окружность радиуса  $R$  с лежащей на ней точкой  $K$ , исходное положение которой  $K_0$  (рис. 170). Проследим, какой путь пройдет точка  $K$  за один полный оборот окружности, катящейся по прямой  $CD$ . Это будет полный цикл кривой. Окружность за это время пройдет по прямой путь, равный длине развернутой окружности, т. е.  $L = 2\pi R$ . Точка  $K$  после одного оборота окружности снова окажется на прямой  $CD$  в точке  $K_8$ .

Для определения промежуточных положений точки  $K$  через равные промежутки фиксируют положение этой точки. Для этого делят окружность на любое число равных частей, например, на восемь, получают точки  $1 \dots 8$  (рис. 170), проводят из точки  $O$  линию центров, на которой отмечают восемь промежуточных положений центров ( $O_1 \dots O_8$ ) производящей окружности, разделив  $L = 2\pi R$  на восемь равных частей.

Когда окружность пройдет  $1/8$  своего пути, точка  $K$  сместится вправо и вверх и окажется над направляющей прямой  $CD$  на такой же высоте, на которой находится точка 1. Поэтому для построения промежуточной точки  $K_1$  из точки 1 проводят прямую, параллельную  $CD$ , а из центра  $O_1$  описывают часть окружности в ее промежуточном положении радиусом  $R$  до пересечения с этой прямой.

Это и будет первое промежуточное положение точки  $K$ . Аналогично строят остальные точки. Соединив точки  $K_0 \dots K_8$  плавной тонкой линией от руки, получают циклоиду, которую обводят по лекалу.

Эпициклоида — плоская кривая, описываемая точкой производящей окружности, которая без скольжения катится по направляющей окружности, при этом производящая и



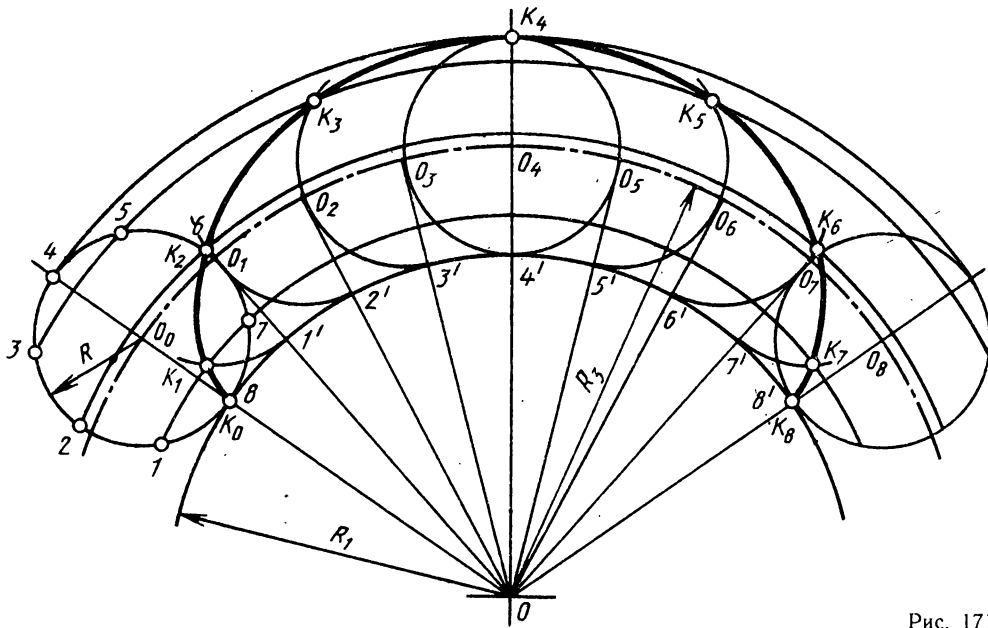


Рис. 171

уса  $R$  катится с внутренней стороны направляющей окружности радиуса  $R_1$  и все построения будут находиться внутри направляющей окружности.

Спираль — плоская кривая, описываемая точкой, которая вращается вокруг неподвижного центра и одновременно удаляется от него в соответствии с определенной закономерностью.

Спирали широко используются в технике при конструировании зажимных эксцентриковых приспособлений, в кулачковых патронах

и механизмах, при конструировании фрез, при изготовлении плоских пружин и т. п.

Спираль Архимеда — кривая, образованная движением точки, равномерно движущейся по прямой, которая, в свою очередь, равномерно вращается в плоскости вокруг неподвижной точки, принадлежащей этой прямой. Характер спирали Архимеда определяется шагом  $t$ , т. е. расстоянием, которое пройдет точка по прямой за один полный оборот этой прямой на  $360^\circ$ . Вращение прямой

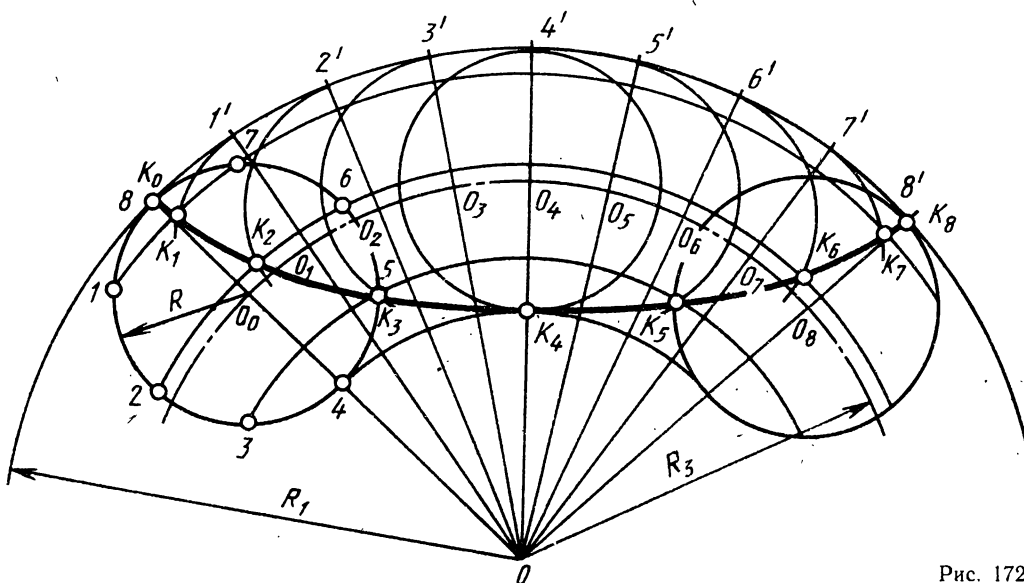


Рис. 172

может происходить как по часовой стрелке, так и против.

Рассмотрим способ построения спирали Архимеда с шагом  $t$  и вращением прямой по часовой стрелке. Чтобы построить спираль, необходимо зафиксировать несколько промежуточных положений точки и прямой, по которой она перемещается. Для этого вспомогательная окружность, проведенная радиусом, равным  $t$  и отрезок  $O8$ , равный шагу, делятся на одинаковое число равных частей, например, на восемь (рис. 173). Начальная точка ( $K_0$ ) совпадает с точкой  $O$ . Отрезок  $O8$ , по которому движется точка, вращается так, что один конец (точка  $O$ ) неподвижен. При повороте отрезка на  $1/8$  полного угла ( $45^\circ$ ) точка  $K$  пройдет  $1/8$  своего пути. Поэтому если из центра  $O$  радиусом  $O1$  провести дугу до пересечения с прямой, проведенной через точку  $1'$  и центр  $O$ , получим точку  $K_1$ , принадлежащую спирали. Если провести дугу радиусом  $O2$  до пересечения с прямой  $O2'$ , получится точка  $K_2$ , принадлежащая спирали, и т. д. При полном обороте отрезка  $O8$  вокруг точки  $O$  отрезок совпадает со своим начальным положением, а точка  $K$  займет положение  $K_8$ . Полученные точки  $K_0...K_8$  соединяют плавной линией, которую обводят по лекалу.

При вычерчивании следующего витка спирали построение продолжают таким же образом, увеличивая радиус на  $1/8$  шага. На рис. 173 это показано штриховой линией. Дальнейшее построение можно выполнить и другим способом. Для этого от точек  $K_1...K_8$  откладывают по прямым  $O1'...O8'$  отрезок, равный шагу  $t$ , получают точки  $K_0...K_{16}$ .

Эвольвента окружности — плоская кривая линия, представляющая собой траекторию точки окружности при ее разворачивании. Слово «эвольвента» — латинское, означает «развертывающийся».

Эвольвенту окружности можно получить, если поверхность цилиндра обернуть упругой проволокой в один полный оборот и закрепить один ее конец. Отпущенный второй конец, развертываясь (распрямляясь в отрезок), опишет в пространстве кривую, которая и будет эвольвентой. При этом длина проволоки будет равна длине окружности основания данного цилиндра ( $2\pi R$ ).

Такую же кривую описывает любая точка прямой линии, катящейся без скольжения по окружности. Эвольвента используется при профилировании кулачков, эксцентриков, зубьев зубчатых передач и т. п.

Если окружность разделить на любое число равных дуг и представить развертывание и выпрямление каждой дуги в отрезок прямой линии, то полученные отрезки будут касатель-

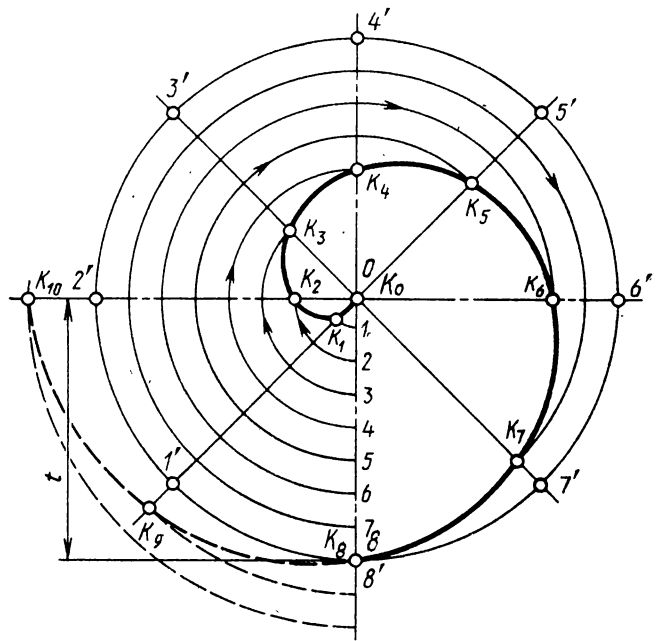


Рис. 173

ными к заданной окружности. Точки касания будут точками окончания каждой дуги, которые будут одновременно начальными точками следующих дуг. А как известно, касательная перпендикулярна к радиусу окружности, проведенному в точку касания.

На рис. 174 показано построение эвольвенты окружности. Заданную окружность делят на любое число равных дуг (в данном случае на восемь), получают точки  $1...8$ . Каждую точку деления соединяют с центром окружности (точка  $O$ ). Из точки  $8$  проводят касательную к окружности и откладывают на ней длину окружности ( $2\pi R$ ). Этот отрезок будет развернутой окружностью. Точка  $8'$  будет принадлежать эвольвенте. Затем полученный отрезок делят на восемь равных частей и получают отрезки, равные  $1/8$  длины окружности, для определения длины каждой развернутой дуги. Далее через точки  $1...8$  проводят касательные и откладывают отрезки, равные длине соответствующей дуги. От точки  $1$  откладывают отрезок, равный длине развернутой дуги  $O'1'$ . От точки  $2$  — отрезок, равный длине развернутой дуги  $O'2'$  и т. д. Получают точки  $K_1...K_8$ , принадлежащие эвольвенте. Полученные точки соединяют плавной кривой линией, которую обводят по лекалу.

Синусоида — плоская кривая линия, изображающая изменение синуса в зависимости от изменения угла  $\alpha$ . Она используется в построении проекций винтовых линий.

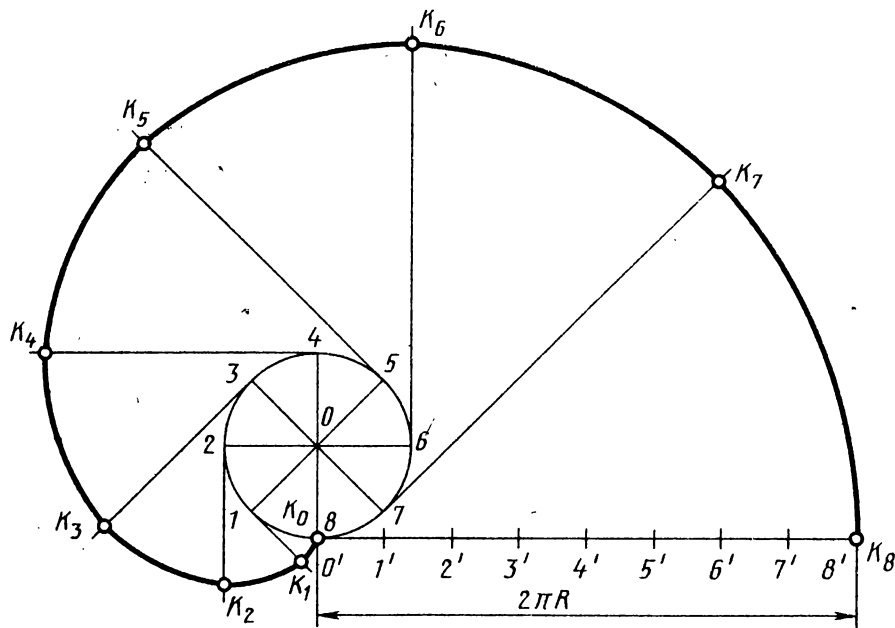


Рис. 174

На рис. 175 показано построение синусоиды. Прямая  $Ox$  — ось синусоиды,  $t$  — шаг или длина волны. На рис. 175  $t = 2\pi R$ . Если  $t = 2\pi R$ , синусоида называется нормальной; при  $t < 2\pi R$  синусоида сжатая; при  $t > 2\pi R$  синусоида растянутая. Высшая и низшая точки синусоиды называются вершинами. На рис. 175 это точки  $K_2$  и  $K_6$ .

Для построения синусоиды проводят оси координат  $Ox$  и  $Oy$ . На некотором расстоянии слева от точки  $O$  проводят окружность заданного радиуса  $R$ . Вправо от точки  $O$ , по оси  $Ox$ , откладывают отрезок  $t$  — заданный шаг (в данном случае  $t = 2\pi R$ ). Окружность и

отрезок  $t$  делят на одинаковое число равных частей (на рис. 175 — на восемь равных частей). Из точек деления отрезка проводят перпендикуляры, на которых откладывают отрезки, равные соответствующим полухордам ( $1m$ ,  $O_12$  и т. д.). Для этого из точек  $1...8$  деления окружности проводят прямые, параллельные оси  $Ox$ , до пересечения с перпендикулярами из соответствующих точек  $1'...8'$  деления отрезка  $t$ , получают точки  $K_1...K_8$ . Эти точки принадлежат синусоиде. Их соединяют от руки тонкой плавной линией, которую обводят по лекалу.

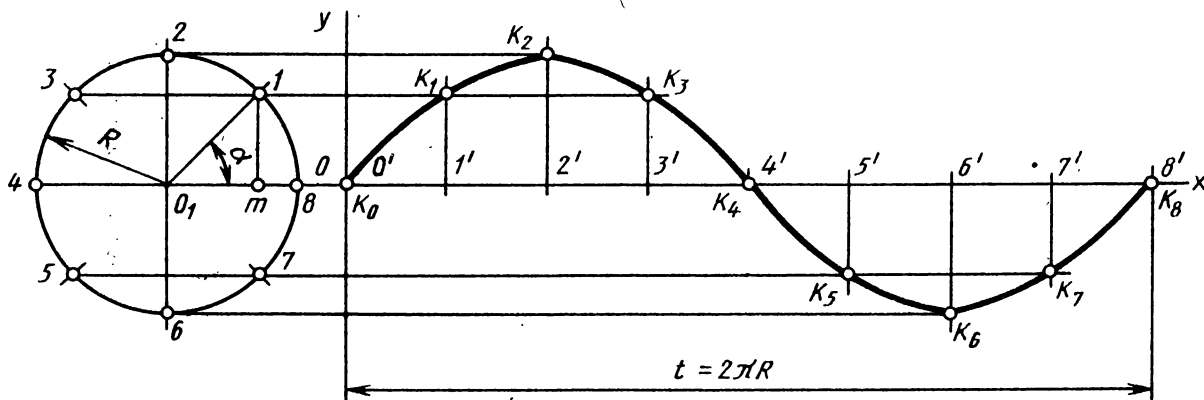


Рис. 175

## РАЗДЕЛ

## II

# ОСНОВЫ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ И ПРОЕКЦИОННОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

---

Начертательная геометрия изучает способы построения изображений пространственных фигур на плоскости и решения пространственных задач на чертеже.

Проекционное черчение рассматри-

вает практические вопросы построения чертежей и решает задачи способами, рассмотренными в начертательной геометрии, сначала на чертежах геометрических тел, а затем на чертежах моделей и технических деталей.

### ГЛАВА V

## СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

---

Форму любого предмета можно рассматривать как сочетание отдельных простейших геометрических тел. А для изображения геометрических тел нужно уметь изображать их отдельные элементы: вершины (точки), ребра (прямые), грани (плоскости).

В основе построения изображений лежит способ проецирования. Получить изображение

какого-либо предмета — значит спроецировать его на плоскость чертежа, т. е. спроецировать отдельные его элементы. Поскольку простейшим элементом любой фигуры является точка, изучение проецирования начинают с проецирования точки.

Для получения изображения точки  $A$  на плоскости  $P$  (рис. 176) через точку  $A$  про-

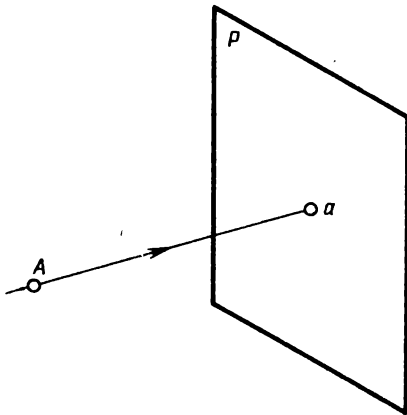


Рис. 176

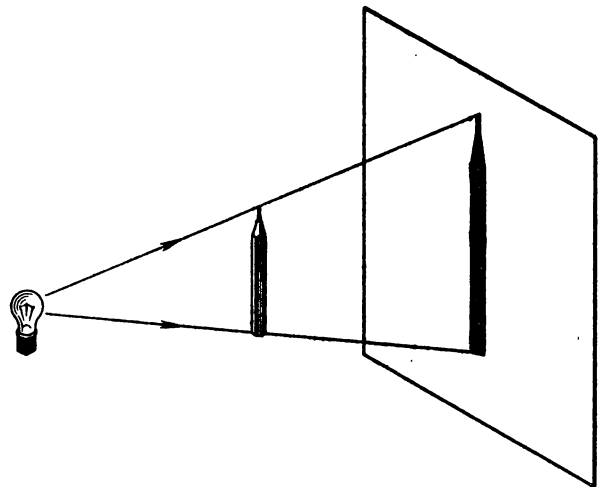


Рис. 177

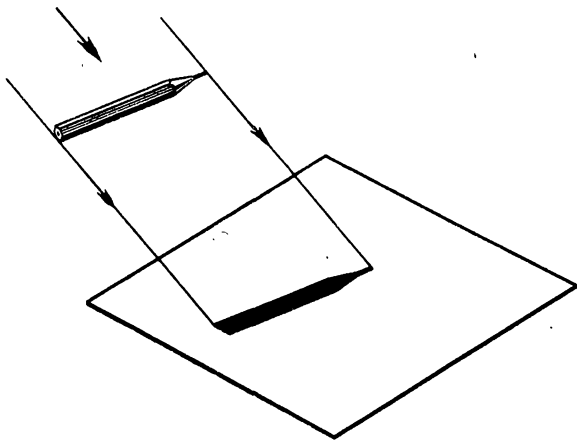


Рис. 178

дят проектирующий луч  $Aa$ . Точка пересечения проектирующего луча с плоскостью  $P$  будет изображением точки  $A$  на плоскости  $P$  (точка  $a$ ), т. е. ее проекцией на плоскость  $P$ .

Такой процесс получения изображения (проекции) называют проектированием. Плоскость  $P$  является плоскостью проекций. На ней получают изображение (проекцию) предмета, в данном случае точки.

Принцип проектирования легко понять на примере получения тени предмета на стене или листе бумаги. На рис. 177 изображена тень карандаша, освещенного лампой, а на рис. 178 — тень карандаша, освещенного солнечным светом. Если представить световые лучи прямыми линиями, то есть проектирующими лучами, а тень — проекцией (изображением) предмета на плоскости, то легко представить себе механизм проектирования.

В зависимости от взаимного расположения проектирующих лучей проектирование делят на центральное и параллельное.

## § 19. ЦЕНТРАЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Центральное проектирование — получение проекций с помощью проектирующих лучей, проходящих через точку  $S$ , которую называют центром проектирования (рис. 179). Если считать лампу точечным источником освещения, то проектирующие лучи выходят из одной точки, следовательно, на плоскости  $P$  получена центральная проекция карандаша (рис. 177).

Примером центрального проектирования является проектирование кадров кинофильма или слайдов на экран, где кадр — объект проектирования, изображение на экране — проекция кадра, а фокус объектива — центр проектирования.

Изображения, получаемые способом центрального проектирования, подобны изображениям на сетчатке нашего глаза. Они наглядны, понятны для нас, так как показывают нам предметы окружающей действительности такими, какими мы их привыкли видеть. Но искажение размеров предметов и сложность построения изображений при центральном проектировании не позволяют использовать его для изготовления чертежей. Центральные проекции широко применяют лишь там, где нужна наглядность в изображениях, например, в архитектурно-строительных чертежах при изображении перспектив зданий, улиц, площадей и т. п.

**Параллельное проектирование.** Если центр проектирования — точку  $S$  удалить в бесконечность, то проектирующие лучи станут параллельными друг другу. На рис. 180 показано получение параллельных проекций точек  $A$  и  $B$  на плоскости  $P$ .

В зависимости от направления проектирующих лучей по отношению к плоскости проекций параллельные проекции делятся на косоугольные и прямоугольные.

При косоугольном проектировании угол наклона проектирующих лучей к плоскости проекций не равен  $90^\circ$  (рис. 181).

При прямоугольном проектировании проектирующие лучи перпендикулярны плоскости проекций (рис. 182).

Рассмотренные выше способы проектирования не устанавливают взаимно однозначного соответствия между объектом (точка  $A$ ) и его изображением (проекцией). При заданном направлении проектирующих лучей на плоскости проекций всегда получается лишь одна проекция точки, но судить о положении точки

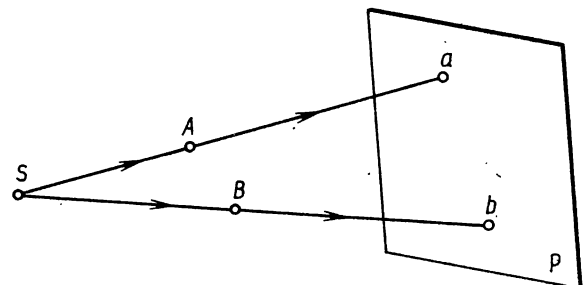


Рис. 179

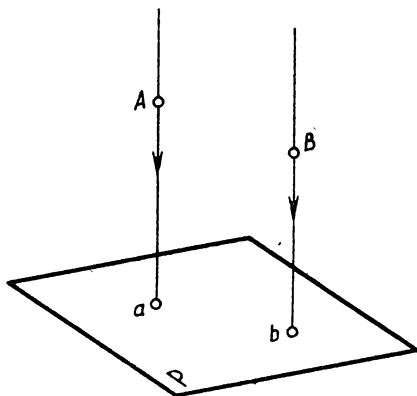


Рис. 180

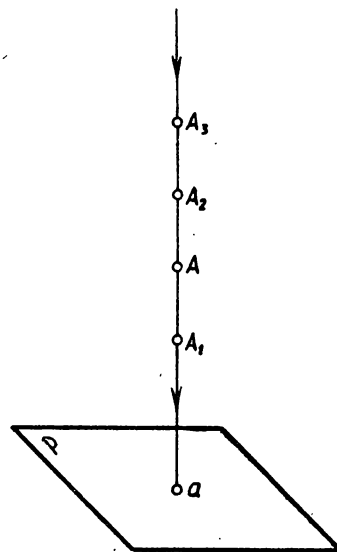


Рис. 183

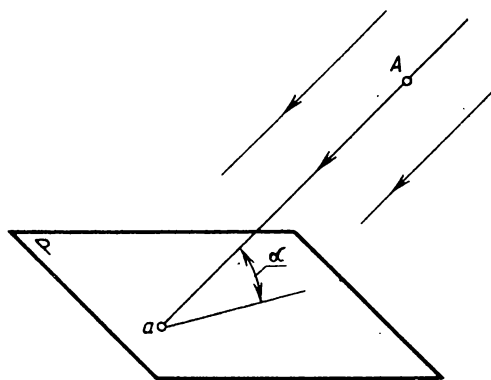


Рис. 181

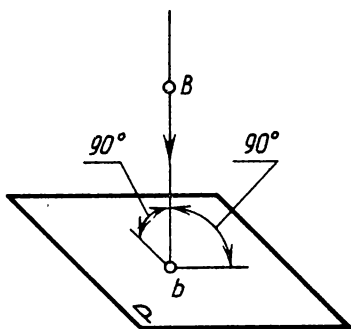


Рис. 182

Для того чтобы по изображению точки можно было определить ее положение в пространстве, необходимо как минимум иметь две проекции этой точки. При этом должно быть известно взаимное расположение плоскостей проекций и направление проецирования. Тогда, имея два изображения точки  $A$ , можно будет представить, как расположена точка в пространстве.

Наиболее простым и удобным является проецирование на взаимно перпендикулярные плоскости проекций с помощью проецирующих лучей, перпендикулярных плоскостям проекций.

Такое проецирование называют ортогональным проецированием, а полученные изображения — ортогональными проекциями.

## § 20. ОРТОГОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ. ПРОЕКЦИИ ТОЧКИ, ПРЯМОЙ И ПЛОСКОСТИ

Рассмотрим основные принципы прямоугольного проецирования и способ получения ортогонального чертежа в системе трех плоскостей проекций. На рис. 184, *a* показано расположение трех плоскостей проекций, с помощью которых получают ортогональный чертеж. Плоскости располагаются под углом  $90^\circ$  друг к другу.

Плоскость  $H$  — горизонтальная плоскость проекций, плоскость  $V$  — фронтальная плоскость проекций, плоскость  $W$  — профильная плоскость

в пространстве по одной ее проекции невозможно, так как на одном и том же проецирующем луче  $Aa$  (рис. 183) точка может занимать различные положения, находясь выше или ниже заданной точки  $A$ , и какое положение точки в пространстве соответствует изображению (проекции)  $a$ , определить невозможно.

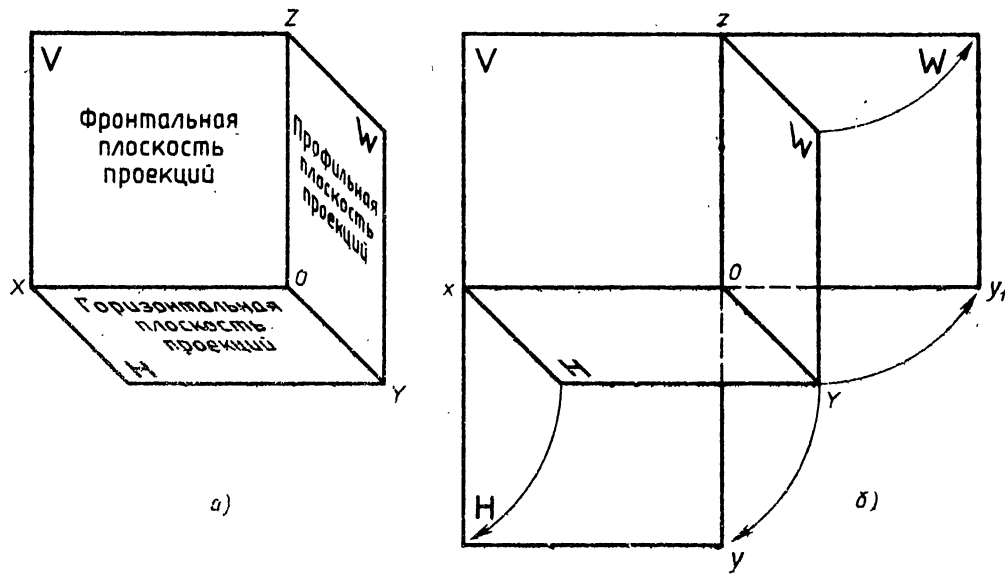


Рис. 184

проекций. Линии пересечения плоскостей проекций называются осями проекций, или осями координат и обозначаются  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$ . Точка пересечения трех осей координат (точка  $O$ ) является началом координат, т. е. точкой, от которой ведется отсчет координат по осям  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$ . Угол, образованный тремя плоскостями проекций, называют координатным углом, так как плоскости проекций являются базами отсчета расстояний (координат) и ограничивают пространство плоскостями проекций, в котором располагают проецируемые предметы.

Помещая изображаемый (проецируемый) предмет (геометрическая фигура, модель, деталь и т. п.) в определенное положение относительно плоскостей проекций  $V$ ,  $H$  и  $W$ , фиксируют его положение относительно этих плоскостей, что дает возможность получить взаимосвязанные изображения данного предмета, по которым легко представить его положение в пространстве, его форму. Каждое изображение (проекция) предмета на плоскость отображает то, что мы видим при взгляде на предмет в определенном направлении. Чтобы получить представление о форме предмета, обычно недостаточно рассмотреть предмет с какой-то одной стороны. Проецируя предмет в системе трех плоскостей проекций, его рассматривают с трех сторон, в направлениях, перпендикулярных трем плоскостям проекций.

Получив проекции предмета на трех плоскостях проекций, плоскости координатного

угла разворачивают в одну плоскость, как показано на рис. 184, б. При этом плоскости  $H$  и  $W$  условно разрезают по оси  $Oy$ , плоскость  $H$  поворачивают вокруг оси  $Ox$ , а плоскость  $W$  — вокруг оси  $Oz$ , получают одну общую плоскость — плоскость чертежа. При этом ось  $Oy$  как бы разрезается пополам. Одна ее «половина» оказывается в плоскости  $H$  и располагается перпендикулярно оси  $Ox$ , а другая — в плоскости  $W$  и располагается перпендикулярно оси  $Oz$ . Совмещенные плоскости проекций разделяются взаимно перпендикулярными осями, которые определяют на чертеже рабочее поле для построения проекций предмета. Каждая плоскость проекций имеет два измерения по взаимно перпендикулярным направлениям. Для плоскости  $H$  — это оси  $Ox$  и  $Oy$ , для плоскости  $V$  — оси  $Oz$  и  $Ox$ , для плоскости  $W$  — оси  $Oz$  и  $Oy_1$ .

Изображения, полученные на плоскостях координатного угла и совмещенные в одну плоскость, называют эпором или ортогональным чертежом. Рассмотрим построение эпюра точки.

### Проекция точки

Проецирование точки на три плоскости проекций координатного угла начинают с получения ее изображения на плоскости  $H$  — горизонтальной плоскости проекций. Для этого через точку  $A$  (рис. 185, а) проводят проецирующий луч перпендикулярно плоскости  $H$ .

На рисунке перпендикуляр к плоскости  $H$  параллелен оси  $Oz$ . Точку пересечения луча с плоскостью  $H$  (точку  $a$ ) выбирают произвольно. Отрезок  $Aa$  определяет, на каком расстоянии находится точка  $A$  от плоскости  $H$ , указывая тем самым однозначно положение точки  $A$  на рисунке по отношению к плоскостям проекций. Точка  $a$  является прямоугольной проекцией точки  $A$  на плоскость  $H$  и называется горизонтальной проекцией точки  $A$  (рис. 185, а).

Для получения изображения точки  $A$  на плоскости  $V$  (рис. 185, б) через точку  $A$  проводят проецирующий луч перпендикулярно фронтальной плоскости проекций  $V$ . На рисунке перпендикуляр к плоскости  $V$  параллелен оси  $Oy$ . На плоскости  $H$  расстояние от точки  $A$  до плоскости  $V$  изобразится отрезком  $aa_x$ , параллельным оси  $Oy$  и перпендикулярным оси  $Ox$ . Если представить себе, что проецирующий луч и его изображение проводят одновременно в направлении плоскости  $V$ , то когда изображение луча пересечет ось  $Ox$  в точке  $a_x$ , луч пересечет плоскость  $V$  в точке  $a'$ . Проведя из точки  $a_x$  в плоскости  $V$  перпендикуляр к оси  $Ox$ , который является

изображением проецирующего луча  $Aa$  на плоскости  $V$ , в пересечении с проецирующим лучом получают точку  $a'$ . Точка  $a'$  является фронтальной проекцией точки  $A$ , т. е. ее изображением на плоскости  $V$ .

Изображение точки  $A$  на профильной плоскости проекций (рис. 185, в) строят с помощью проецирующего луча, перпендикулярного плоскости  $W$ . На рисунке перпендикуляр к плоскости  $W$  параллелен оси  $Ox$ . Проецирующий луч от точки  $A$  до плоскости  $W$  на плоскости  $H$  изобразится отрезком  $aa_y$ , параллельным оси  $Ox$  и перпендикулярным оси  $Oy$ . Из точки  $a_y$  параллельно оси  $Oz$  и перпендикулярно оси  $Oy$  строят изображение проецирующего луча  $aA$  и в пересечении с проецирующим лучом получают точку  $a''$ . Точка  $a''$  является профильной проекцией точки  $A$ , т. е. изображением точки  $A$  на плоскости  $W$ .

Точку  $a''$  можно построить, проведя от точки  $a'$  отрезок  $a'a_z$  (изображение проецирующего луча  $Aa''$  на плоскости  $V$ ) параллельно оси  $Ox$ , а от точки  $a_z$  — отрезок  $a''a_z$  параллельно оси  $Oy$  до пересечения с проецирующим лучом.

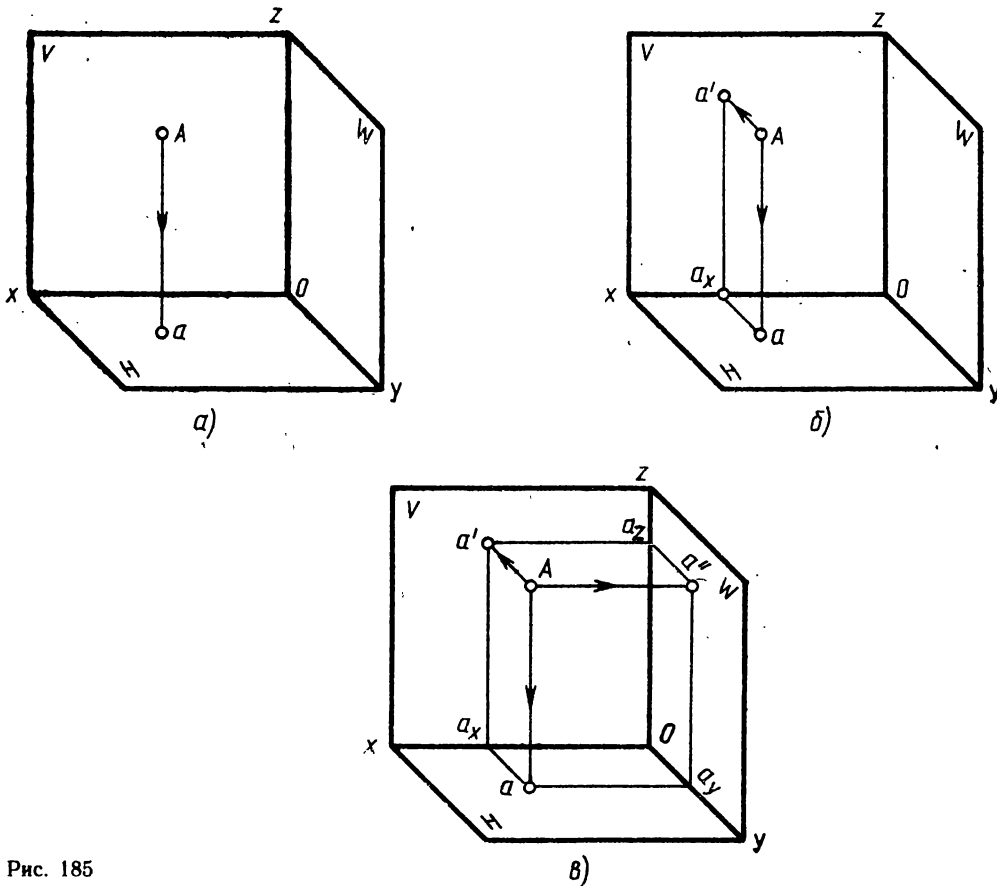


Рис. 185

Получив три проекции точки  $A$  на плоскостях проекций, координатный угол развертывают в одну плоскость, как показано на рис. 184, б, вместе с проекциями точки  $A$  и проецирующих лучей, а точку  $A$  и проецирующие лучи  $Aa$ ,  $Aa'$  и  $Aa''$  убирают. Края совмещенных плоскостей проекций не проводят, а проводят только оси проекций  $Oz$ ,  $Oy$  и  $Ox$ ,  $Oy_1$  (рис. 185).

Анализ ортогонального чертежа точки показывает, что три расстояния —  $Aa'$ ,  $Aa$  и  $Aa''$  (рис. 185, в), характеризующие положение точки  $A$  в пространстве, можно определить, отбросив сам объект проецирования — точку  $A$ , на развернутом в одну плоскость координатном угле (рис. 186). Отрезки  $a'a_z$ ,  $aa_y$  и  $Oa_x$  равны  $Aa''$  как противоположные стороны соответствующих прямоугольников (рис. 185, в и 186). Они определяют расстояние, на котором находится точка  $A$  от профильной плоскости проекций. Отрезки  $a'a_x$ ,  $a''a_y$  и  $Oa_z$  равны отрезку  $Aa$ , определяют расстояние от точки  $A$  до горизонтальной плоскости проекций, отрезки  $aa_x$ ,  $a''a_z$  и  $Oa_y$  равны отрезку  $Aa'$ , определяющему расстояние от точки  $A$  до фронтальной плоскости проекций.

Отрезки  $Oa_x$ ,  $Oa_y$  и  $Oa_z$ , расположенные на осях проекций, являются графическим выражением размеров координат  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  точки  $A$ . Координаты точки обозначают с индексом соответствующей буквы. Измерив величину этих отрезков, можно определить положение точки в пространстве, т. е. задать координаты точки.

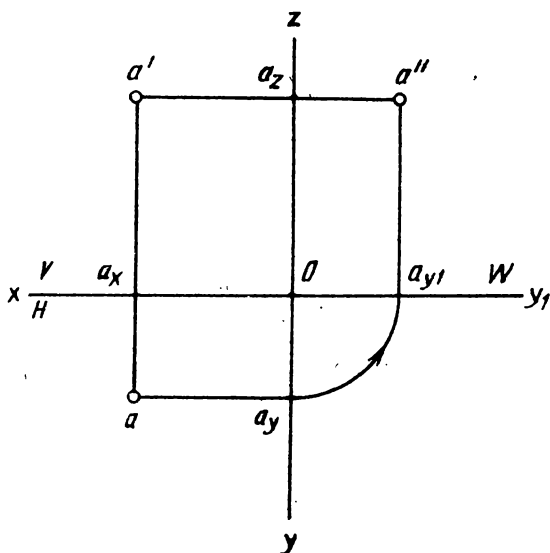


Рис. 186

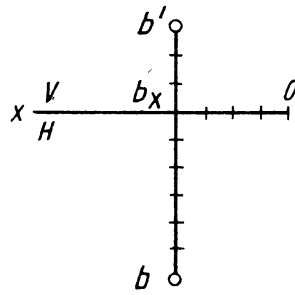


Рис. 187

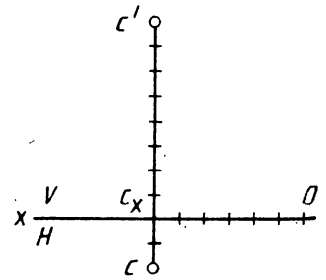


Рис. 188

На эпюре отрезки  $a'a_x$  и  $aa_x$  располагаются как одна линия, перпендикулярная к оси  $Ox$ , а отрезки  $a'a_z$  и  $a''a_z$  — к оси  $Oz$ . Эти линии называются линиями проекционной связи. Они пересекают оси проекций в точках  $a_x$  и  $a_z$  соответственно. Линия проекционной связи, соединяющая горизонтальную проекцию точки  $A$  с профильной, оказалась «разрезанной» в точке  $a_y$ .

Две проекции одной и той же точки всегда располагаются на одной линии проекционной связи, перпендикулярной к оси проекций.

Для представления положения точки в пространстве достаточно двух ее проекций и заданного начала координат (точка  $O$ ). На рис. 185, б две проекции точки полностью определяют ее положение в пространстве. По этим двум проекциям можно построить профильную проекцию точки  $A$ . Поэтому в дальнейшем, если не будет необходимости в профильной проекции, эпюры будут построены на двух плоскостях проекций:  $V$  и  $H$ .

Рассмотрим несколько примеров построения и чтения чертежа точки.

**Пример 1.** Определение координат точки  $B$ , заданной на эпюре двумя проекциями (рис. 187). Измеряются три отрезка: отрезок  $Ob_x$  (координата  $X$ ), отрезок  $b_xb$  (координата  $Y$ ) и отрезок  $b_xb'$  (координата  $Z$ ). Координаты записывают в следующем порядке:  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , после буквенного обозначения точки, например,  $B20; 30; 15$ .

**Пример 2.** Построение точки по заданным координатам. Точка  $C$  задана координатами  $C30; 10; 40$ . На оси  $Ox$  (рис. 188) находят точку  $c_x$ , в которой линия проекционной связи пересекает ось проекций. Для этого по оси  $Ox$  от начала координат (точка  $O$ ) откладывают координату  $X$  (размер 30) и получают точку  $c_x$ . Через эту точку перпендикулярно оси  $Ox$  проводят линию проекционной связи и от точки  $c_x$  вниз откладывают координату  $Y$  (размер 10), получают точку  $c$  — горизонтальную проекцию точки  $C$ . Вверх от точки  $c_x$  по линии

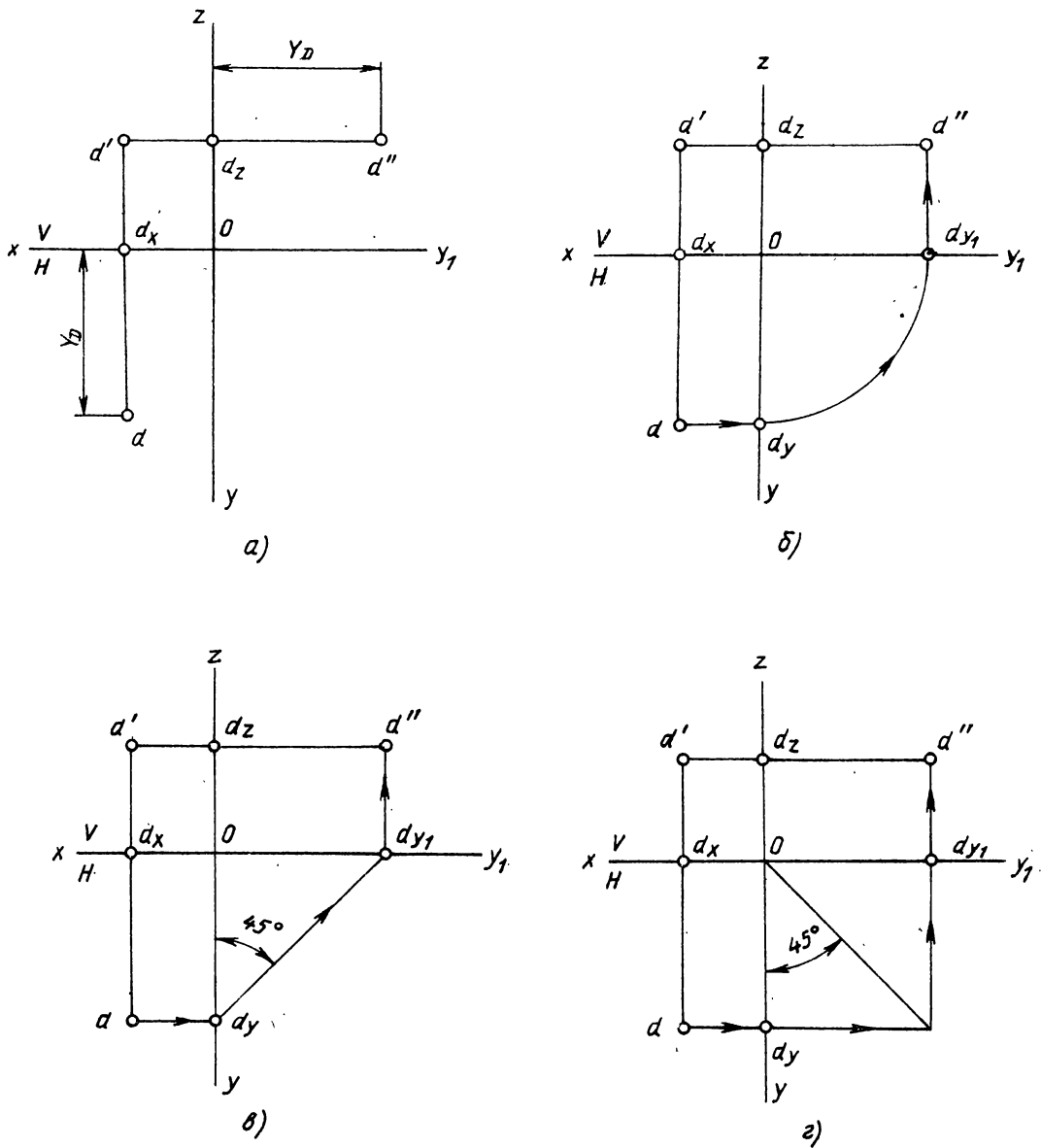


Рис. 189

проекционной связи откладывают координату  $Z$  (размер 40), получают точку  $c'$  — фронтальную проекцию точки  $C$ .

**Пример 3.** Построение профильной проекции точки по заданным проекциям. Заданы проекции точки  $D$  —  $d$  и  $d'$ . Через точку  $O$  проводят оси проекций  $Oz$ ,  $Oy$  и  $Oy_1$  (рис. 189, а). Для построения профильной проекции точки  $D$  от точки  $d'$  проводят линию проекционной связи, перпендикулярную оси  $Oz$ , и продолжают ее вправо за ось  $Oz$ . На этой линии будет располагаться профильная проекция точки  $D$ . Она будет находиться на таком расстоянии от оси  $Oz$ , на каком горизонтальная проекция

точки  $d$  располагается от оси  $Ox$ , т. е. на расстоянии  $dd_x$ . Отрезки  $d_zd''$  и  $dd_x$  одинаковы, так как определяют одно и то же расстояние — расстояние от точки  $D$  до фронтальной плоскости проекций. Это расстояние является координатой  $Y$  точки  $D$ .

Графически отрезок  $d_zd''$  строят перенесением отрезка  $dd_x$  с горизонтальной плоскости проекций на профильную. Для этого проводят линию проекционной связи параллельно оси  $Ox$ , получают на оси  $Oy$  точку  $d_y$  (рис. 189, б). Затем переносят размер отрезка  $Od_y$  на ось  $Oy_1$ , проведя из точки  $O$  дугу радиусом, равным отрезку  $Od_y$ , до пере-

сечения с осью  $Oy_1$  (рис. 189, б), получают точку  $d_{y1}$ . Эту точку можно построить и как показано на рис. 189, в, проведя прямую под углом  $45^\circ$  к оси  $Oy$  из точки  $d_y$ . Из точки  $d_{y1}$  проводят линию проекционной связи параллельно оси  $Oz$  и на ней откладывают отрезок, равный отрезку  $d'd_x$ , получают точку  $d''$ .

Перенос величины отрезка  $d_x d$  на профильную плоскость проекций можно осуществить с помощью постоянной прямой чертежа (рис. 189, г). В этом случае линию проекционной связи  $dd_y$  проводят через горизонтальную проекцию точки параллельно оси  $Oy_1$  до пересечения с постоянной прямой, а затем параллельно оси  $Oy$  до пересечения с продолжением линии проекционной связи  $d'd_z$ .

### Частные случаи расположения точек относительно плоскостей проекций

Положение точки относительно плоскости проекций определяется соответствующей координатой, т. е. величиной отрезка линии проекционной связи от оси  $Ox$  до соответствующей проекции. На рис. 190 координата  $Y$  точки  $A$  определяется отрезком  $aa_x$  — расстояние от точки  $A$  до плоскости  $V$ . Координата  $Z$  точки  $A$  определяется отрезком  $a'a_x$  — расстояние от точки  $A$  до плоскости  $H$ . Если одна из координат равна нулю, то точка расположена на плоскости проекций. На рис. 190 приведены примеры различного расположения точек относительно плоскостей проекций. Координата  $Z$  точки  $B$  равна нулю, точка находится в плоскости  $H$ . Ее фронтальная проекция находится на оси  $Ox$  и совпадает с точкой  $b_x$ . Координата  $Y$  точки  $C$  равна нулю, точка располагается на плоскости  $V$ , ее горизонтальная проекция  $c$  находится на оси  $Ox$  и совпадает с точкой  $c_x$ .

Следовательно, если точка находится на плоскости проекций, то одна из проекций этой точки лежит на оси проекций.

На рис. 190 координаты  $Z$  и  $Y$  точки  $D$  равны нулю, следовательно, точка  $D$  находится на оси проекций  $Ox$  и две ее проекции совпадают.

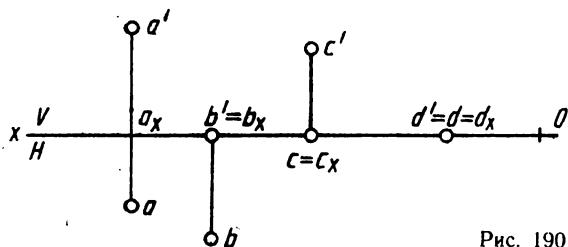
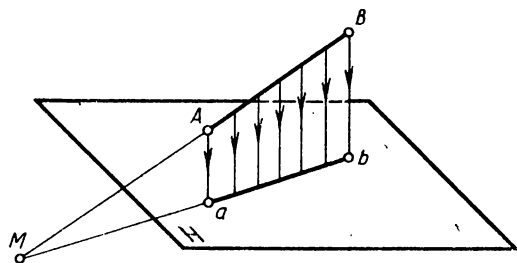


Рис. 190

Рис. 191



### Проекция прямой

При проецировании прямой на какую-либо плоскость проекций проецирующие лучи, проходящие через точки прямой, образуют проецирующую плоскость, которая пересекает плоскость проекции по прямой (рис. 191). Следовательно, проекцией отрезка будет отрезок прямой. Чаще всего проекция отрезка меньше самого отрезка, так как его проекция ( $ab$ ) является частью катета прямоугольного треугольника ( $BbM$ ), а отрезок ( $AB$ ) — частью гипотенузы. Так как  $Mb < MB$ , то и  $ab < AB$ . Отношение проекции отрезка к его натуральной величине называют коэффициентом искажения  $K$ . Коэффициент искажения обозначают буквой  $K$ ,

$$K = \frac{ab}{AB} \leq 1.$$

Если отрезок прямой параллелен плоскости проекций, при проецировании образуется прямоугольник, в котором сам отрезок и его проекция являются противоположными сторонами этого прямоугольника. Следовательно,  $BC = bc$ . В этом случае коэффициент искажения  $K = \frac{bc}{BC} = 1$ , т. е. отрезок проецируется без искажения.

Положение прямой в пространстве можно определить двумя ее точками, поэтому, чтобы задать прямую на эюре, достаточно задать проекции двух ее точек (рис. 192), т. е.

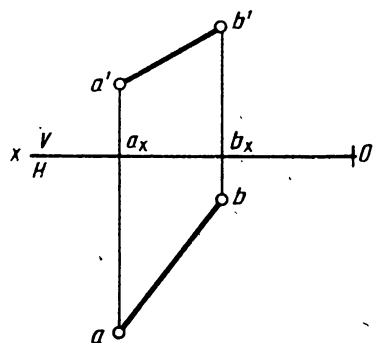
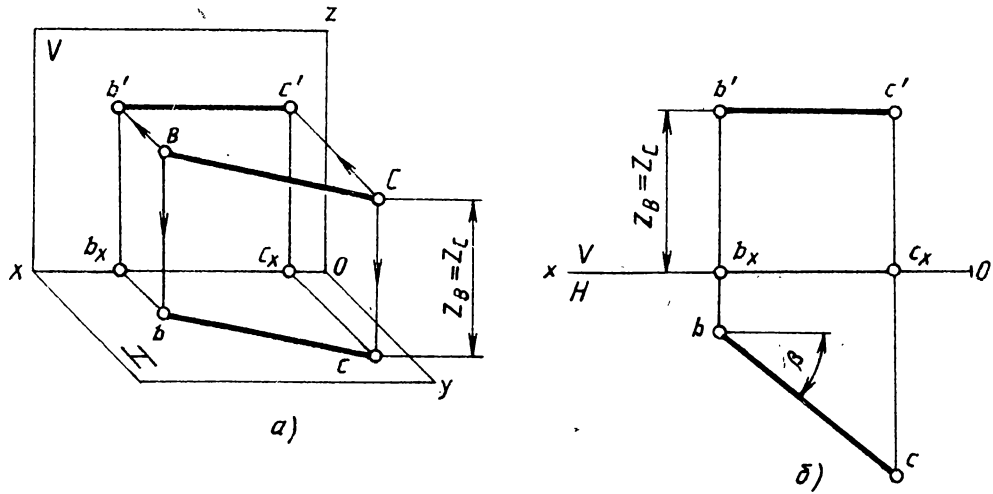


Рис. 192

Рис. 193



проекции отрезка этой прямой. Данные проекции отрезка прямой полностью определяют положение прямой в пространстве.

Сравнивая координаты точек  $A$  и  $B$ , являющихся концами отрезка, можно представить себе, как располагается отрезок в пространстве. Точка  $B$  находится выше точки  $A$  относительно плоскости  $H$ , так как  $b'b_x > a'a_x$ , т. е.  $Z_B > Z_A$ , и точка  $B$  ближе к плоскости  $V$ , чем точка  $A$ , так как  $bb_x < aa_x$ , т. е.  $Y_B < Y_A$ .

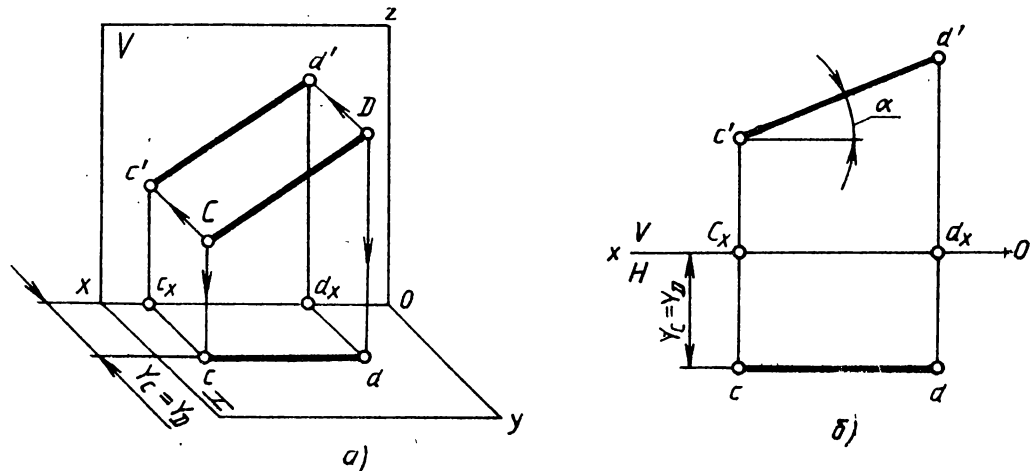
### Различные случаи расположения прямых относительно плоскостей проекций

Прямая общего положения — прямая, не параллельная ни одной из плоскостей проекций (рис. 192), т. е. ни одна из проекций этой прямой не параллельна какой-либо оси проекций.

Горизонтальная прямая — прямая, параллельная плоскости  $H$ . Все точки прямой находятся на одинаковом расстоянии от плоскости  $H$  (рис. 193, а), т. е. координаты  $Z$  всех точек отрезка  $BC$  равны между собой,  $Bb = Cc = b'b_x = c'c_x = Z_B = Z_C$ . Фронтальная проекция горизонтальной прямой параллельна оси  $Ox$  (рис. 193, б). Положение второй проекции относительно оси  $Ox$  определяется положением самой прямой, Угол наклона горизонтальной прямой к плоскости  $V$  —  $\beta$ . На плоскости  $H$  отрезок горизонтальной прямой проецируется в натуральную величину.

Фронтальная прямая — прямая, параллельная плоскости  $V$ . Все точки прямой находятся на одинаковом расстоянии от плоскости  $V$  (рис. 194, а), т. е. координаты  $Y$  всех точек отрезка  $CD$  равны между собой. Горизонтальная проекция фронтальной прямой

Рис. 194



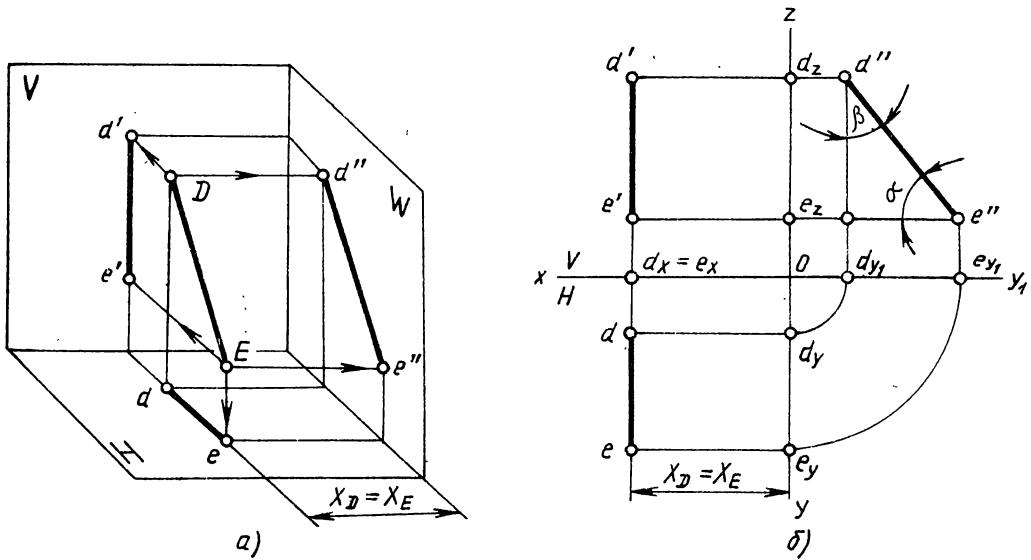


Рис. 195

параллельна оси  $Ox$  (рис. 194, б). Положение второй проекции относительно оси  $Ox$  определяется положением самой прямой. Угол наклона фронтальной прямой к плоскости  $H-\alpha$ . На плоскость  $V$  отрезок фронтальной прямой проецируется в натуральную величину.

Профильная прямая — прямая, параллельная плоскости  $W$ . Все точки прямой находятся на одинаковом расстоянии от плоскости  $W$  (рис. 195, а), т. е. координаты  $X$  всех точек отрезка  $DE$  равны между собой. Фронтальная проекция профильной прямой параллельна оси  $Oz$ , а горизонтальная — оси  $Oy$  (рис. 195, б). Положение профильной проекции определяется положением самой профильной прямой. Угол наклона профильной

прямой к плоскости  $H-\alpha$ , к плоскости  $V-\beta$ . На плоскость  $W$  отрезок профильной прямой проецируется в натуральную величину.

Прямые, перпендикулярные одной из плоскостей проекций, называют проецирующими прямыми.

Горизонтально-проецирующая прямая перпендикулярна плоскости  $H$ . Проекция такой прямой на плоскости  $H$  является точкой, а ее фронтальная проекция перпендикулярна оси  $Ox$  и параллельна оси  $Oz$  (рис. 196). На плоскость  $V$  прямая проецируется в натуральную величину.

Фронтально-проецирующая прямая перпендикулярна плоскости  $V$ . Проекция этой прямой на плоскость  $V$  является точкой.

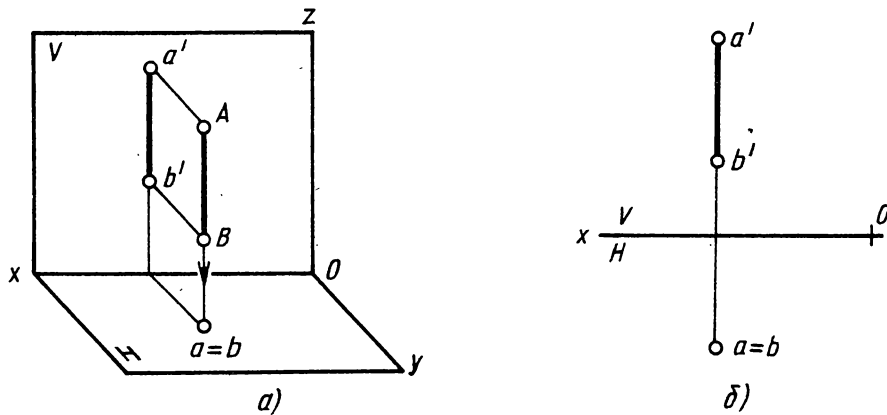


Рис. 196

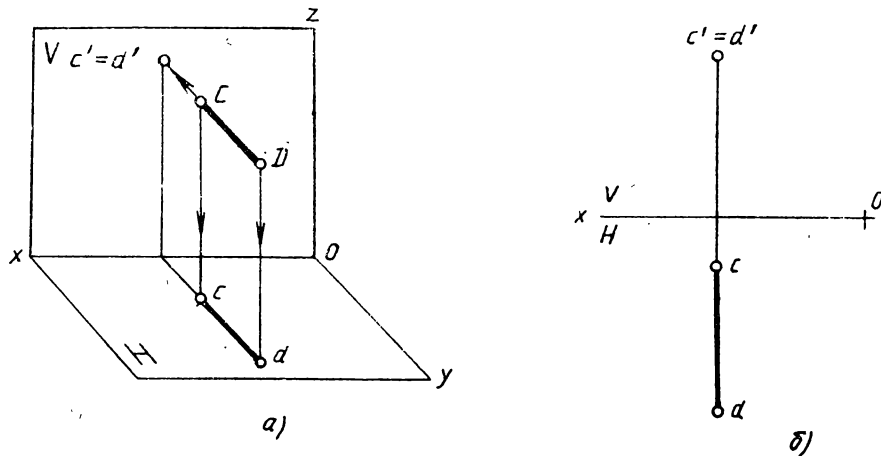


Рис. 197

а ее горизонтальная проекция перпендикулярна оси  $Ox$  и параллельна оси  $Oy$  (рис. 197). На плоскость  $H$  прямая проецируется в натуральную величину.

Профильно-проецирующая прямая перпендикулярна плоскости  $W$ . Проекция этой прямой на плоскость  $W$  является точкой. Ее горизонтальная проекция перпендикулярна оси  $Oy$  и параллельна оси  $Ox$ , а фронтальная — перпендикулярна оси  $Oz$  и параллельна оси  $Ox$  (рис. 198). На плоскости  $H$  и  $V$  прямая проецируется в натуральную величину.

Точка, принадлежащая прямой. Если точка лежит на прямой, то ее проекции лежат на одноименных проекциях этой прямой

и на одной линии проекционной связи. На рис. 199, а точка  $M$  лежит на прямой  $CD$ . Ее горизонтальная проекция  $m$  (рис. 199, б) лежит на горизонтальной проекции прямой  $cd$ , а фронтальная проекция  $m'$  — на фронтальной проекции прямой  $c'd'$ .

Обычно по двум проекциям можно определить взаимное расположение точки и прямой. Точка  $S$  принадлежит прямой  $CD$  (рис. 199, б), так как ее проекции лежат на продолжении одноименных проекций прямой и на одной линии проекционной связи. Только одна проекция точки  $F$  (горизонтальная) лежит на одноименной проекции прямой  $cd$ , поэтому точка  $F$  не принадлежит прямой  $CD$  (рис. 199, а и б).

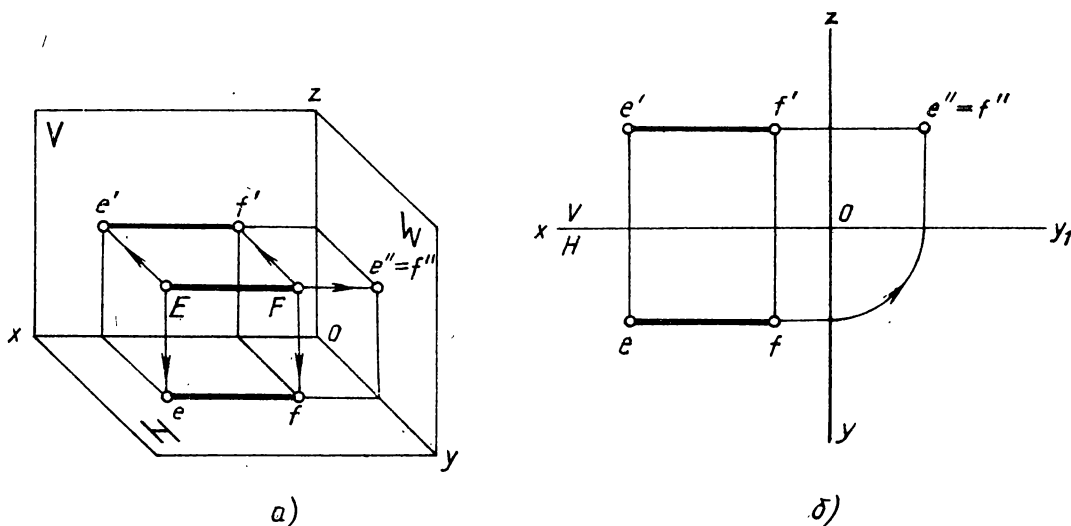
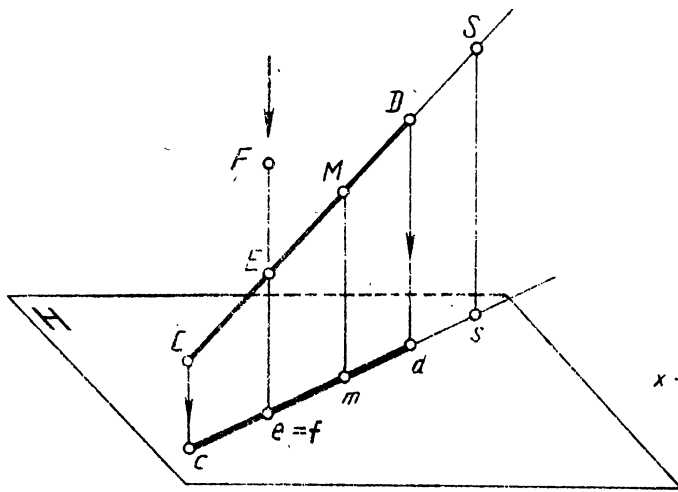
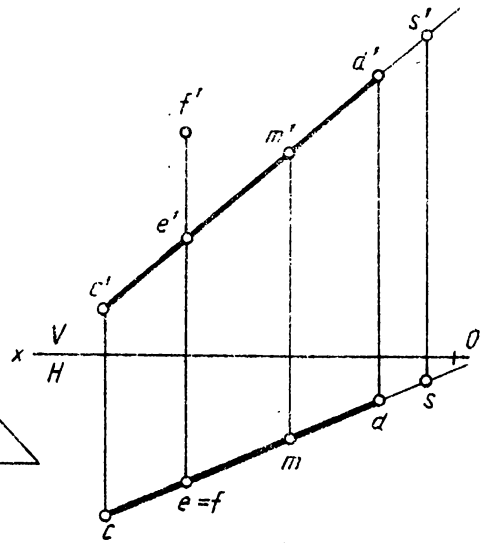


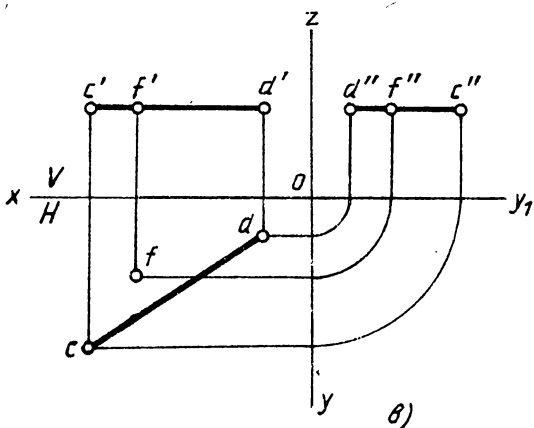
Рис. 198



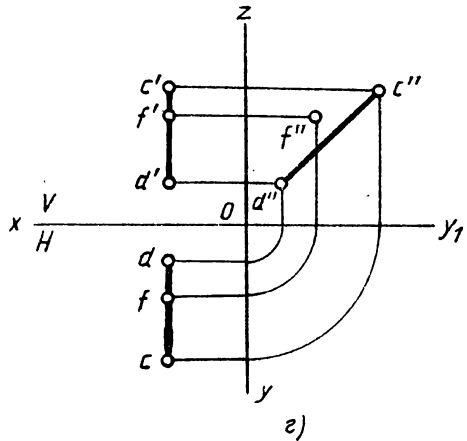
a)



б)



в)



г)

Рис. 199

Если прямая параллельна одной из плоскостей проекций, о взаимном расположении прямой и точки можно получить представление на плоскости проекций, параллельной данной прямой. Для горизонтальной прямой — на плоскости  $H$ , для фронтальной прямой — на плоскости  $V$ , для профильной прямой — на плоскости  $W$ .

На рис. 199, в и г показаны частные случаи расположения точки и прямой, когда только две проекции точки  $F$  лежат на одноименных проекциях прямой  $CD$ , и сама точка  $F$  не принадлежит прямой  $CD$ , так как третья проекция точки не лежит на проекции прямой.

### Взаимное расположение прямых

Пересекающиеся прямые — прямые, имеющие одну общую точку. На эпюре одноименные проекции этих прямых пересекаются в точках, лежащих на одной линии проекционной связи (рис. 200, а).

Если одноименные проекции прямых пересекаются, но точки пересечения лежат на разных линиях проекционной связи (рис. 200, б), то прямые не пересекаются, а скрещиваются. Точки пересечения одноименных проекций (рис. 200, б, точки  $1'$  и  $2$ ) представляют собой проекции разных точек, которые находятся

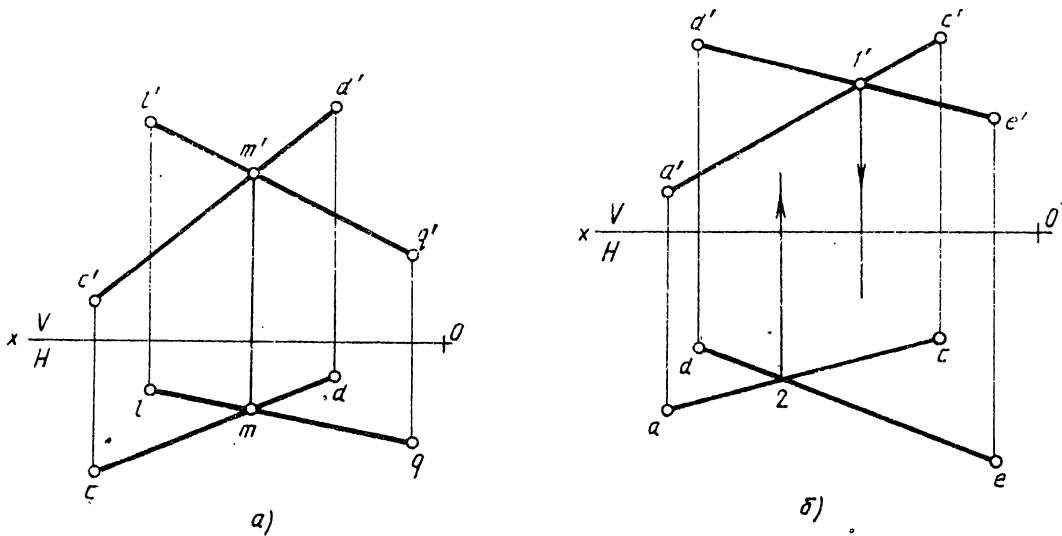


Рис. 200

на одном проецирующем луче и принадлежат разным прямым.

На рис. 201 показано, как могут располагаться две скрещивающиеся прямые  $AB$  и  $CD$  относительно плоскости  $V$ , чтобы их фронтальные проекции  $a'b'$  и  $c'd'$  пересекались и точка пересечения была бы фронтальной проекцией одновременно двух точек  $M$  и  $N$ . Точка пересечения горизонтальных проекций этих прямых является проекцией одновременно точки  $E$ , лежащей на прямой  $CD$ , и точки  $F$ , лежащей на прямой  $AB$ .

Взаимное расположение двух точек, проекции которых на одной из плоскостей проекций совпали, можно определить, сравнив их третьи координаты. На рис. 201, б фронтальные проекции  $m'$  и  $n'$  точек  $M$  и  $N$  совпали. Их координаты  $X$  и  $Z$  имеют одинаковую величину. Сравнив координаты  $Y$  этих точек ( $Y_N > Y_M$ ), видим, что точка  $N$  находится дальше от плоскости  $V$ , чем точка  $M$ . Точка  $N$  относительно плоскости  $V$  — видимая точка.

Видимость точек  $E$  и  $F$  относительно гори-

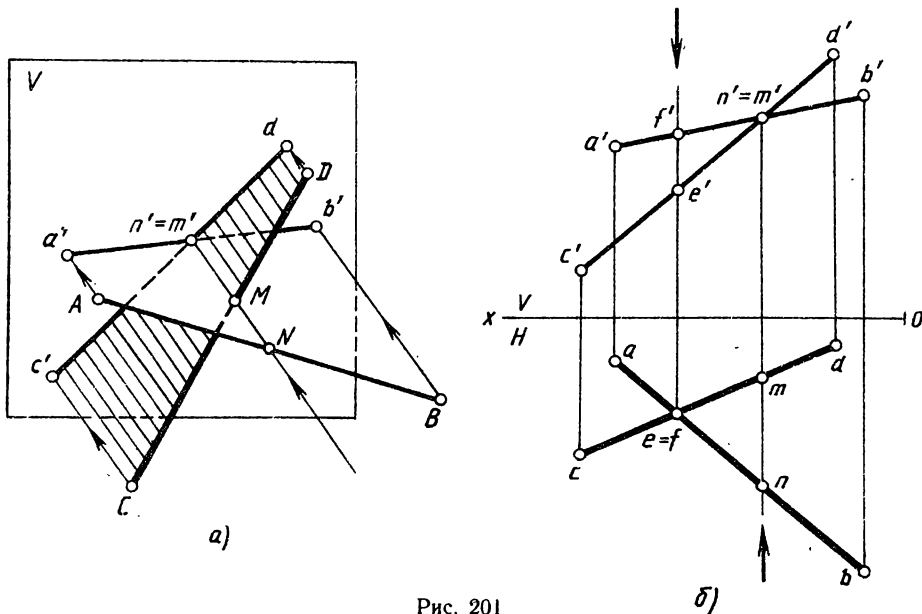


Рис. 201

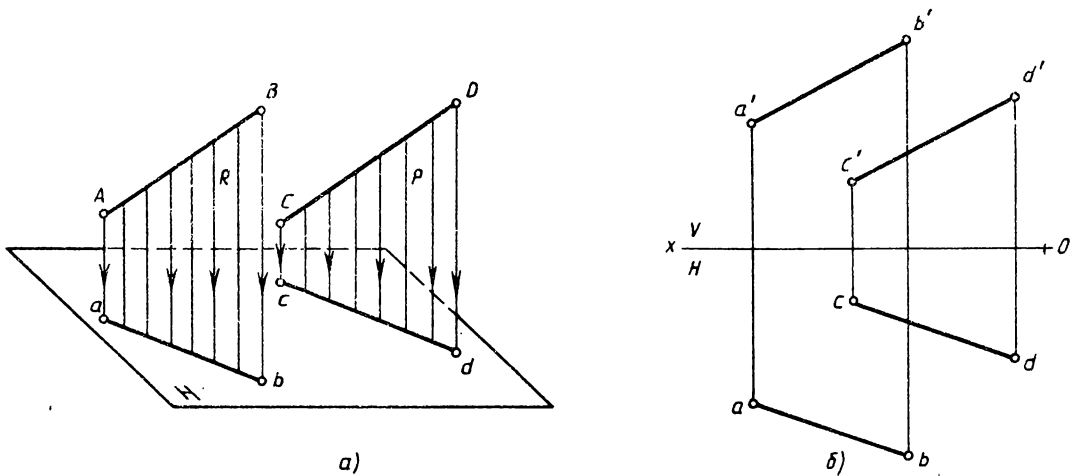


Рис. 202

горизонтальной плоскости проекций определяют сравнением их координат  $Z$ .

Точки, проекции которых совпадают, т. е. точки находятся на одном проецирующем луче, называют конкурирующими точками, а способ определения видимости геометрических элементов на эюре с помощью этих точек — способом конкурирующих точек.

Параллельные прямые изображаются на эюре так, что их одноименные проекции взаимно параллельны. При проецировании отрезков прямых на плоскость проекций проецирующие лучи образуют две проецирующие плоскости  $P$  и  $R$ , перпендикулярные этой плоскости и параллельные между собой ( $P \parallel R$ ). Они пересекают плоскость проекций (рис. 202, а, плоскость  $H$ ) по параллельным прямым —  $ab$  и  $cd$ .

Следовательно, если прямые параллельны, их одноименные проекции параллельны. На рис. 202, б горизонтальные проекции  $ab$  и  $cd$  и фронтальные проекции  $a'b'$  и  $c'd'$  взаимно параллельны, следовательно, и прямые  $AB$  и  $CD$  параллельны.

Следует отметить, что взаимное расположение прямых на эюре можно определить с помощью двух плоскостей проекций, кроме тех случаев, когда одна из прямых или обе прямые параллельны какой-либо плоскости проекций. В этих случаях для того, чтобы определить взаимное расположение прямых, необходимо иметь их изображение на той плоскости проекций, которой параллельна одна из прямых или обе.

На рис. 203 проекции  $c'd'$  и  $l'q'$ ,  $cd$  и  $lq$  прямых  $CD$  и  $LQ$  пересекаются. Прямая  $CD$  па-

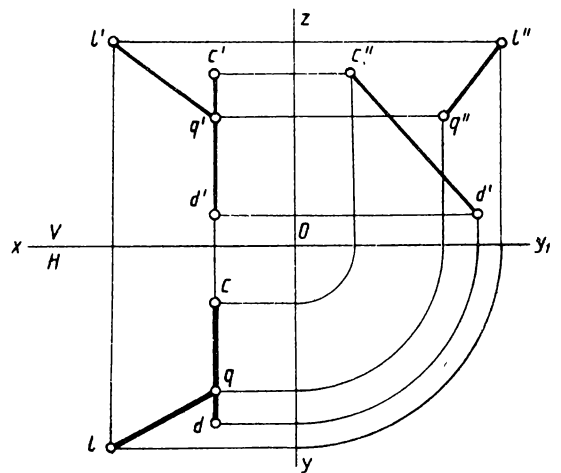


Рис. 203

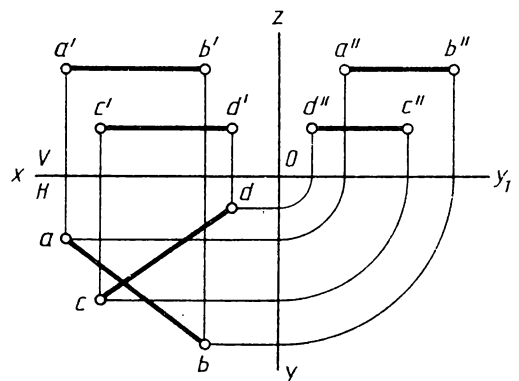


Рис. 204

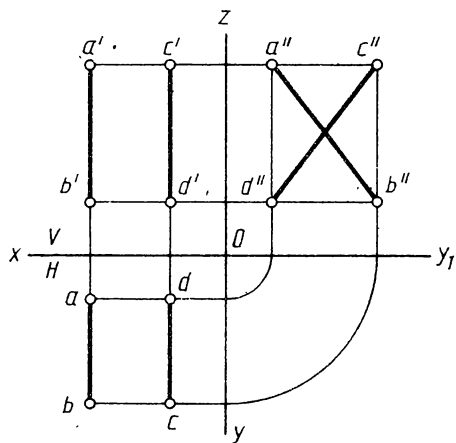


Рис. 205

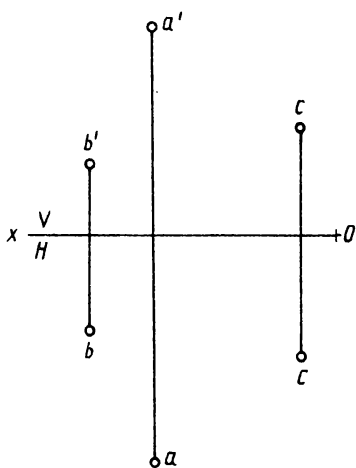


Рис. 206

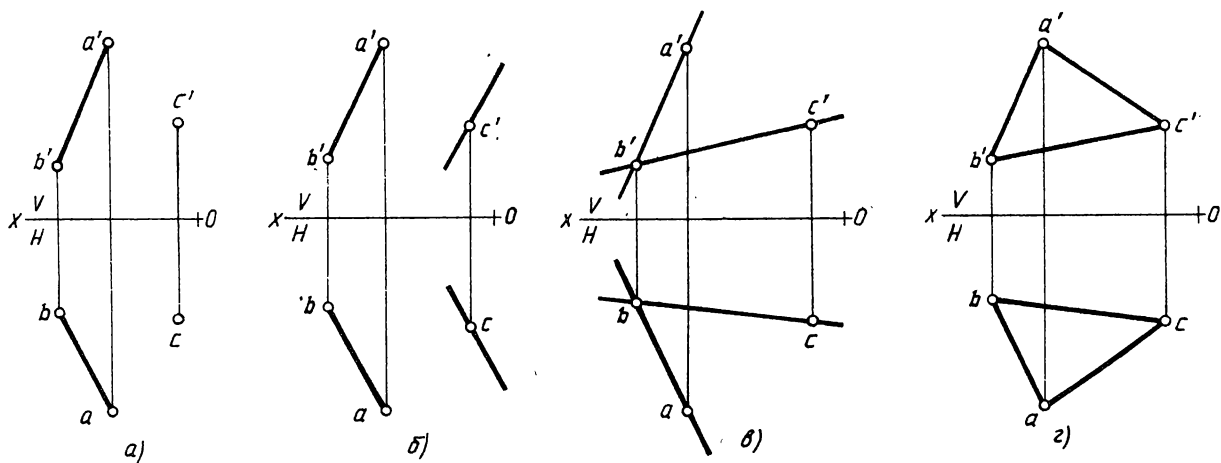


Рис. 207

параллельна профильной проекции. На плоскости  $W$  видно, что прямые  $CD$  и  $LQ$  не пересекаются, так как их профильные проекции не пересекаются.

На рис. 204 показан эпюр двух горизонтальных прямых  $AB$  и  $CD$ . Их фронтальные проекции  $a'b'$  и  $c'd'$  и профильные проекции  $a''b''$  и  $c''d''$  параллельны. По проекциям на плоскости  $H$  видно, что прямые скрещиваются.

На рис. 205 показан эпюр двух профильных прямых. Их фронтальные проекции  $a'b'$  и  $c'd'$  и горизонтальные проекции  $ab$  и  $cd$  параллельны. На плоскости  $W$  видно, что прямые скрещиваются.

### Способы задания плоскости на эпюре

Положение плоскости в пространстве определяется тремя ее точками, не лежащими на одной прямой. Поэтому чтобы задать на эпюре плоскость, достаточно задать три ее точки (рис. 206). Плоскость можно задать точкой и прямой (рис. 207, а), двумя параллельными прямыми (рис. 207, б), двумя пересекающимися прямыми (рис. 207, в), треугольником (рис. 207, г). Можно задать плоскость следами.

Следом плоскости называют прямую, по которой данная плоскость пересекает плоскость проекций. На рис. 208  $P_V$  — фронтальный след плоскости  $P$ ,  $P_H$  — горизонтальный след плоскости  $P$ ,  $P_W$  — профильный след плоскости  $P$ .

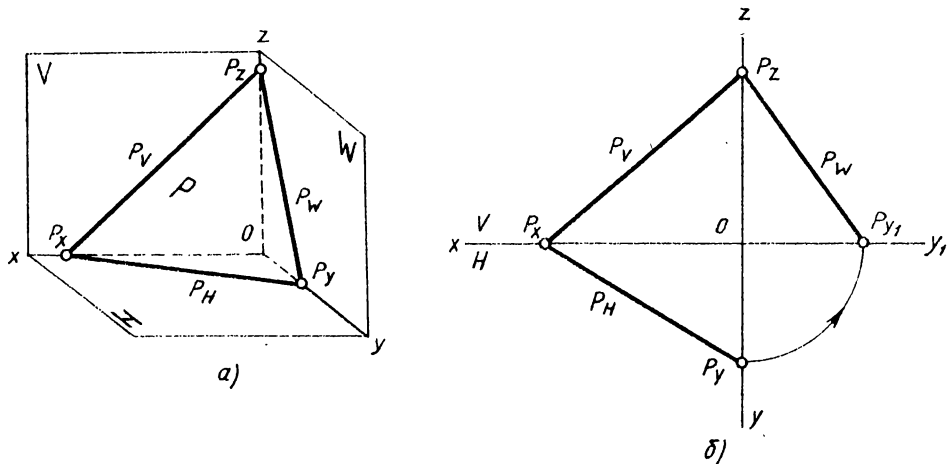


Рис. 208

### Различные случаи расположения плоскостей относительно плоскостей проекций

Плоскость общего положения — плоскость, расположенная наклонно ко всем плоскостям проекций (рис. 208). Такая плоскость пересекается с тремя плоскостями проекций по прямым, которые являются следами этой плоскости. Каждая пара следов сходится в точке, которая называется точкой схода следов плоскости и располагается на оси проекций. Плоскость общего положения имеет три точки схода, которые обозначаются  $P_x, P_y, P_z$ . В этих точках плоскость пересекает оси координат. Плоские фигуры, лежащие в плоскости общего положения, проецируются на плоскости проекций с искажением.

Проецирующая плоскость — плоскость, перпендикулярная какой-либо плоскости проекций.

Горизонтально-проецирующая плоскость — плоскость, перпендикулярная горизонтальной плоскости проекций  $H$  (рис. 209).

Фронтально-проецирующая плоскость — плоскость, перпендикулярная фронтальной плоскости проекции (рис. 210).

Профильно-проецирующая плоскость — плоскость, перпендикулярная профильной плоскости проекций (рис. 211).

Проецирующая плоскость проецируется на плоскость проекций, к которой она перпендикулярна, в прямую. На рис. 209 плоскость  $P$  — горизонтально-проецирующая,  $\triangle ABC$ , лежа-

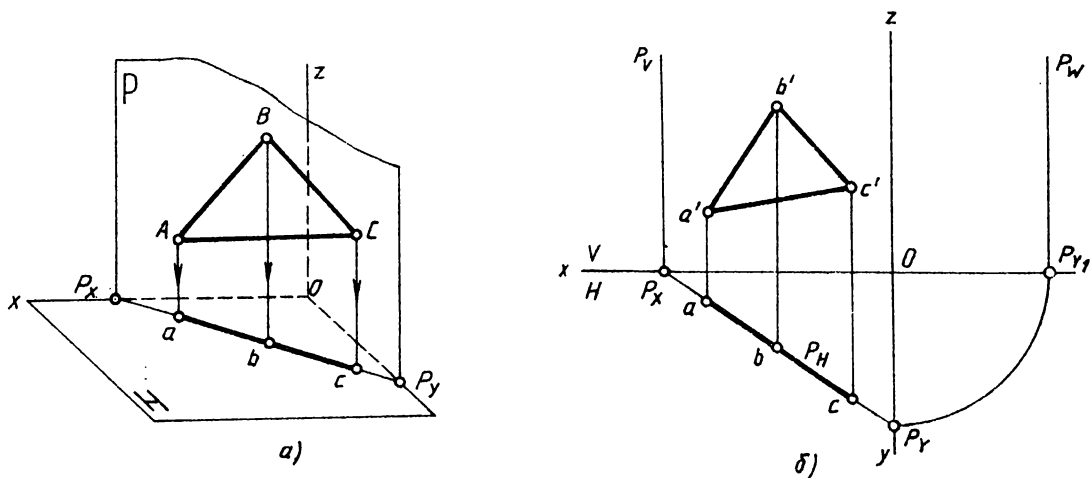


Рис. 209

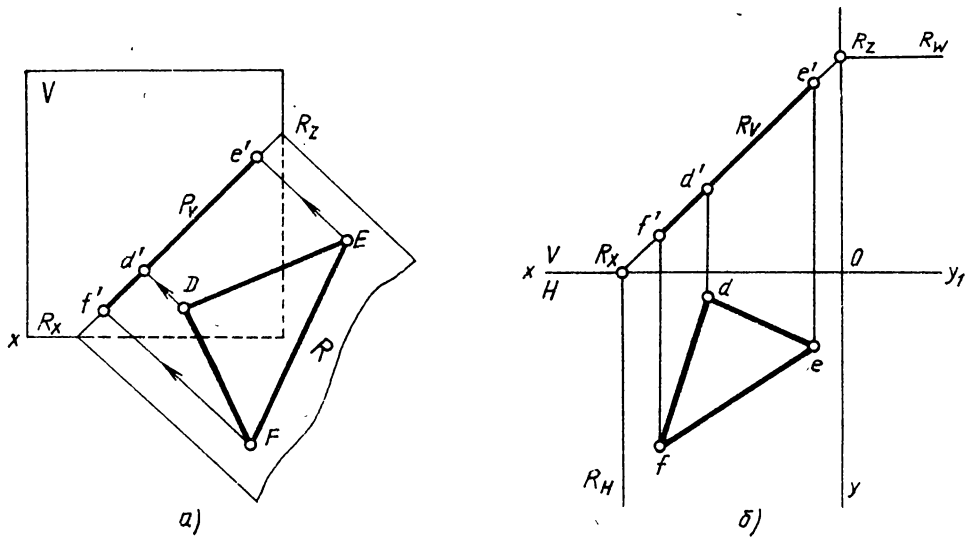


Рис. 210

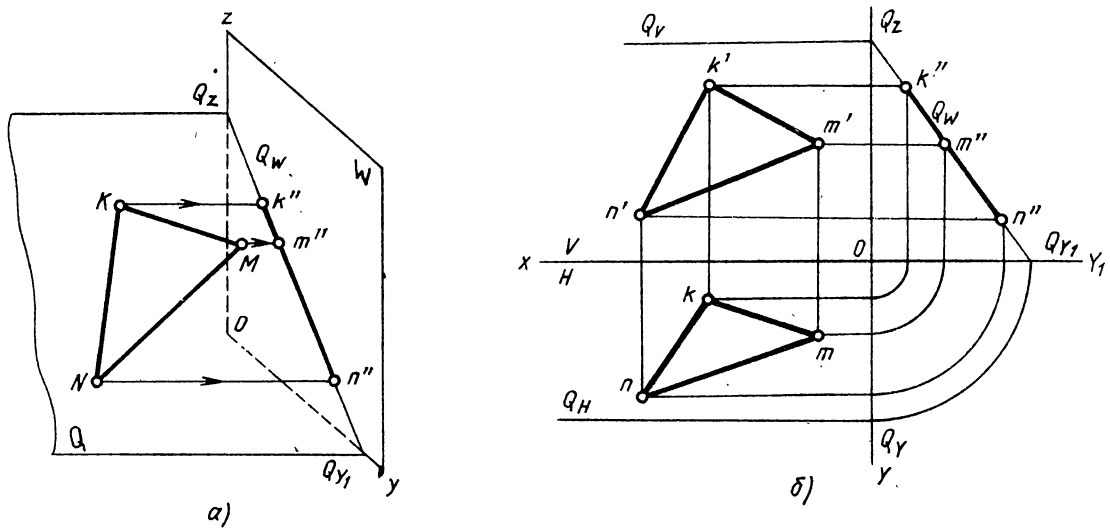


Рис. 211

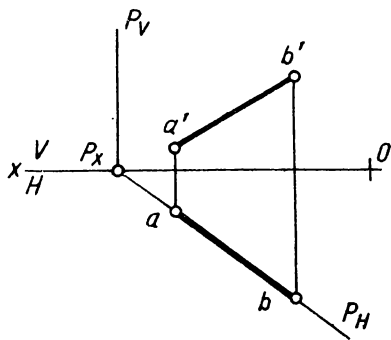


Рис. 212

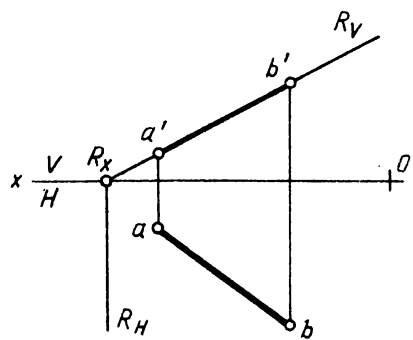


Рис. 213

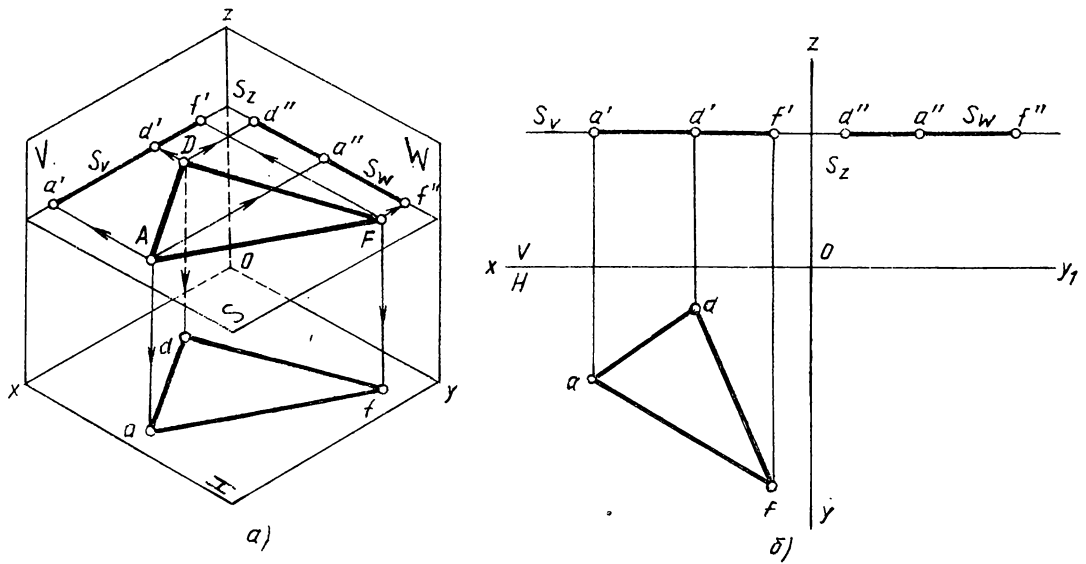


Рис. 214

щий в плоскости  $P$ , проецируется в отрезок прямой линии, который совпадает со следом плоскости  $P_H$ . На рис. 210  $\triangle DEF$ , принадлежащий фронтально-проецирующей плоскости  $R$ , проецируется в отрезок, совпадающий со следом плоскости  $R_V$ . На рис. 211  $\triangle KMN$ , лежащий в профильно-проецирующей плоскости  $Q$ , проецируется на плоскость  $W$  в отрезок, совпадающий со следом плоскости  $Q_W$ . Поэтому проецирующие плоскости часто используются в качестве вспомогательных при различных построениях. Например, чтобы через прямую

$AB$  провести горизонтально-проецирующую плоскость (рис. 212), достаточно через горизонтальную проекцию прямой  $ab$  провести горизонтальный след этой плоскости, так как все, что в этой плоскости лежит, в том числе и прямая  $AB$ , проецируется на ее горизонтальный след. Фронтальный след фронтально-проецирующей плоскости совпадает с фронтальной проекцией прямой  $a'b'$  (рис. 213). Следы проецирующих плоскостей на других плоскостях проекций перпендикулярны соответствующим осям проекций (см. рис. 209, 210, 211).

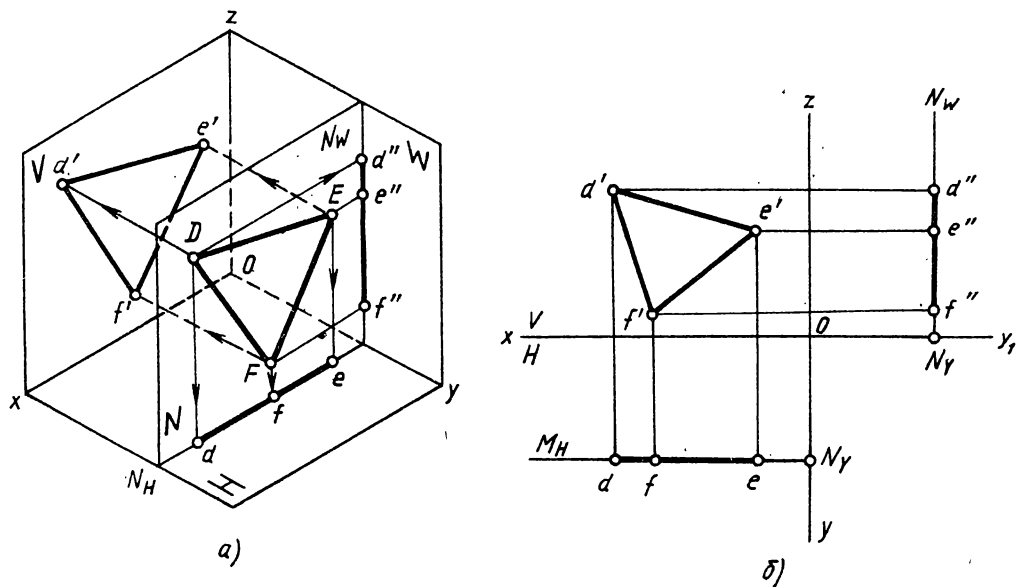


Рис. 215

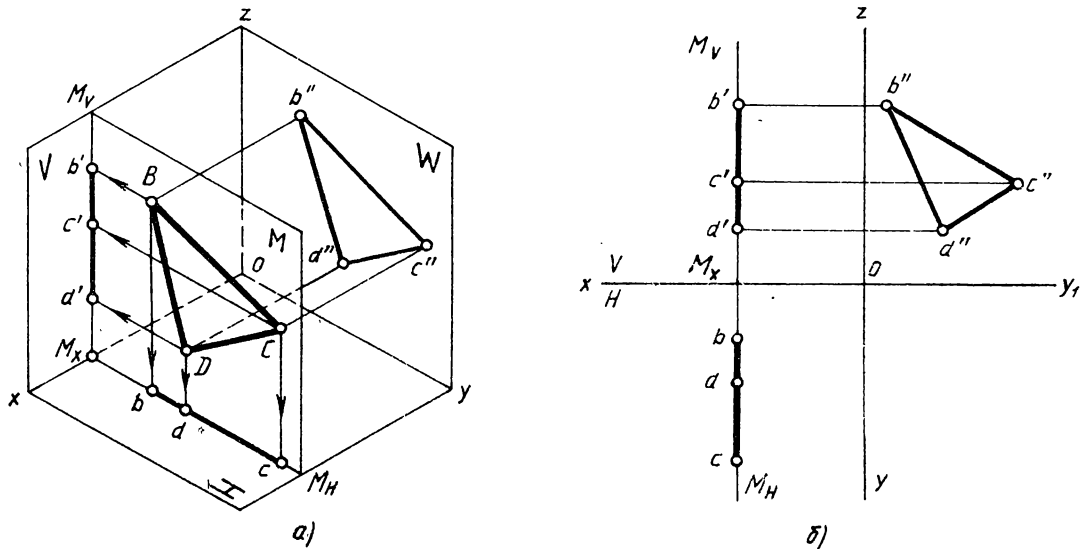


Рис. 216

Плоскости, перпендикулярные двум плоскостям проекций, параллельны третьей плоскости проекций. Геометрические фигуры, лежащие в этих плоскостях, проецируются без искажения на ту плоскость проекций, которой параллельна данная плоскость (рис. 214, 215, 216). Называются такие плоскости так же, как и плоскость проекций, параллельно которой они расположены: горизонтальная плоскость (рис. 214), фронтальная плоскость (рис. 215), профильная плоскость (рис. 216).

## § 21. ВЗАИМНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ПРЯМОЙ, ТОЧКИ И ПЛОСКОСТИ

Прямая принадлежит плоскости, если она имеет с плоскостью две общие точки. На рис. 217 проекции прямой  $AE$  проходят через проекции  $a'$  и  $a$  — проекции вершины  $A$  треугольника  $ABC$  и проекции  $e$  и  $e'$  — проекции точки пересечения прямой  $AE$  со стороной  $BC$  треугольника  $ABC$ . Прямая  $AE$  имеет с треугольником  $ABC$  две общие точки:  $A$  и  $E$ , следовательно, прямая  $AE$  принадлежит плоскости, которая задана треугольником  $ABC$ .

Прямая принадлежит плоскости, если она проходит через точку, принадлежащую плоскости, и параллельна прямой, лежащей в этой плоскости. Проекция прямой  $DF$  ( $d'f'$ ,  $df$ ) (рис. 217) параллельна проекциям стороны  $AB$  треугольника  $ABC$  ( $f'd' \parallel a'b'$  и  $fd \parallel ab$ ) и проходит через одноименные проекции точки  $C$  ( $c$  и  $c'$ ), принадлежащей треугольнику  $ABC$ . Следовательно, прямая  $FD$  принадлежит плоскости, которая задана треугольником  $ABC$ ,

так как она проходит через точку, принадлежащую треугольнику, и параллельна одной из его сторон.

Точка принадлежит плоскости, если она принадлежит прямой, лежащей в этой плоскости. Точка  $M$  (рис. 218) принадлежит плоскости, которая задана треугольником  $ABC$ , так как ее проекции  $m$  и  $m'$  лежат на одноименных проекциях отрезка  $AB$  ( $ab$  и  $a'b'$ ), который является стороной треугольника  $ABC$ . Точка  $N$  также принадлежит плоскости треугольника  $ABC$ , так как фронтальная проекция  $n'$  точки  $N$  лежит на продолжении фронтальной проекции прямой  $AE$  ( $a'e'$ ), а горизонтальная проекция  $n$  точки  $N$  лежит на продолжении горизонтальной проекции прямой  $AE$  ( $ae$ ), и обе проекции лежат на одной линии связи.

Прямая параллельна плоскости, если она параллельна прямой, лежащей в этой плоскости. Если плоскость задана треугольником  $ABC$ , то, чтобы провести через точку  $D$  прямую  $DE$  параллельно данной плоскости (рис. 219), нужно провести ее проекции параллельно одноименным проекциям одной из сторон треугольника  $ABC$ . На рис. 219  $de \parallel bc$  и  $d'e' \parallel b'c'$ .

Следовательно,  $DE \parallel BC$ . На рис. 220 построены проекции прямой  $NM$  и плоскости, заданной треугольником  $ABC$ . Необходимо проверить, параллельна ли прямая  $MN$  плоскости треугольника  $ABC$ . Попробуем построить через вершину  $A$  треугольника  $ABC$  прямую  $AE$ , параллельную  $MN$ . Для этого проводят горизонтальную проекцию  $ae$  прямой  $AE$  параллельно  $mn$  и строят фронтальную проекцию  $a'e'$ . Если прямая  $NM$  параллельна плоскости треугольника  $ABC$ , то построенная

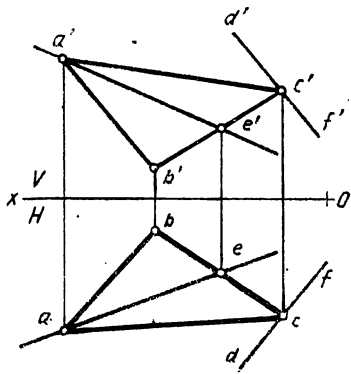


Рис. 217

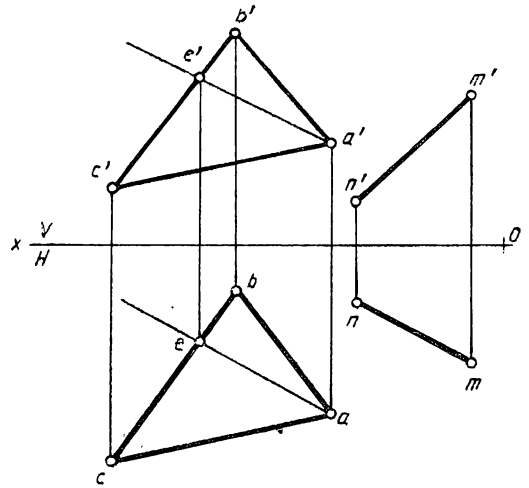


Рис. 220

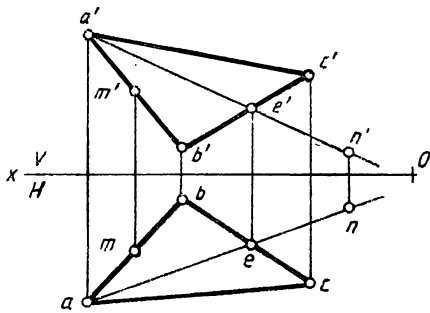


Рис. 218

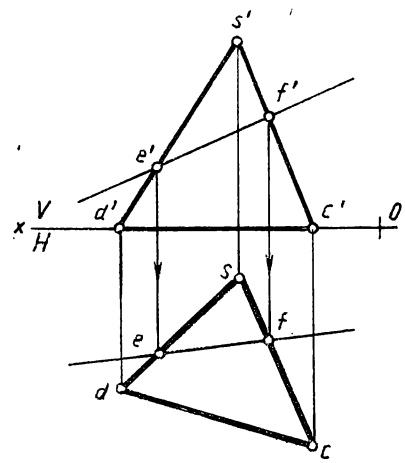


Рис. 221

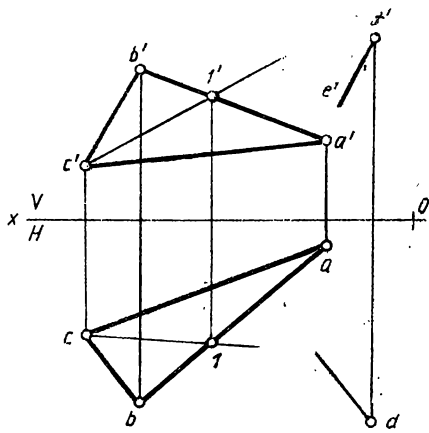


Рис. 219

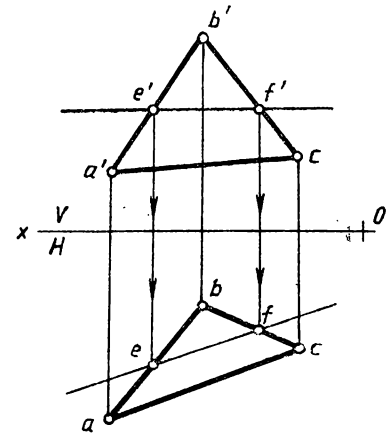


Рис. 222

фронтальная проекция  $a'e'$  должна быть параллельна  $t'n'$ . Так как  $a'e'$  на рис. 220 не параллельна  $t'n'$ , прямая  $MN$  не параллельна плоскости треугольника  $ABC$ .

С помощью рассмотренных выше положений решается ряд задач на построение. Рассмотрим некоторые из них.

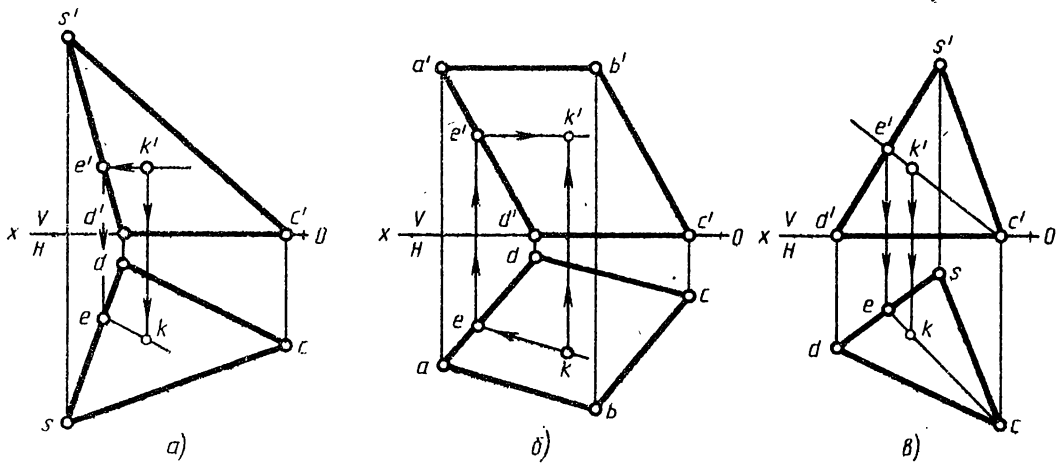


Рис. 223

**Задача 1.** В плоскости треугольника  $DSC$  провести прямую  $EF$ . Чтобы прямая  $EF$  принадлежала плоскости треугольника  $ABC$ , достаточно, чтобы две ее точки лежали в плоскости треугольника. Проводят произвольно фронтальную проекцию  $e'f'$  прямой  $EF$  (рис. 221) так, чтобы она пересекала фронтальные проекции двух сторон треугольника  $ABC$  в точках  $e'$  и  $f'$ . Горизонтальные проекции  $e$  и  $f$  точек  $E$  и  $F$  строят с помощью линий проекционной связи до пересечения с соответствующими горизонтальными проекциями сторон треугольника  $ABC$ .

Если в плоскости треугольника  $ABC$  нужно провести горизонталь, то фронтальную проекцию горизонтали проводят параллельно оси  $Ox$  (рис. 222).

**Задача 2.** Задана фронтальная проекция  $k'$  точки  $K$ , лежащей в плоскости треугольника  $DSC$ , требуется построить ее горизонтальную проекцию. Для этого проводят фронтальную проекцию горизонтали  $e'k'$  через заданную фронтальную проекцию  $k'$  точки  $K$  и строят горизонтальную проекцию горизонтали, опустив из точки  $e'$  линию связи до пересечения со стороной  $sd$  и проведя из точки  $e$  прямую параллельно стороне  $dc$ , так как  $dc$  является горизонтальным следом плоскости треугольника  $DSC$ . Опустив из точки  $k'$  линию связи до пересечения с прямой, параллельной  $dc$ , получают горизонтальную проекцию  $k$  точки  $K$ . Точка будет лежать в плоскости, так как она лежит на горизонтали этой плоскости (рис. 223, а).

На рис. 223, б показано построение фронтальной проекции  $k'$  точки  $K$ , принадлежащей плоскости параллелограмма  $ABCD$ , по заданной горизонтальной проекции  $k$ . Сторона  $dc$

является горизонтальным следом плоскости. Известно, что все горизонтали плоскости параллельны горизонтальному следу этой плоскости. Поэтому горизонтальная проекция  $ek$  горизонтали проведена через точку  $k$  параллельно  $dc$ . Фронтальная проекция  $k'$  точки  $K$  находится на фронтальной проекции горизонтали, параллельной оси  $Ox$ .

На рис. 223, в показано построение горизонтальной проекции  $k$  точки  $K$  с помощью вспомогательной прямой, проходящей через вершину треугольника  $DSC$  — точку  $C$ . Через заданную фронтальную проекцию  $k'$  точки  $K$  и точку  $c'$  проводят фронтальную проекцию вспомогательной прямой, которая пересечет сторону  $d's'$  фронтальной проекции треугольника  $DSC$  в точке  $e'$ . Из точки  $e'$  проводят линию проекционной связи, находят горизонтальную проекцию  $e$  точки  $E$ , проводят горизонтальную проекцию  $ce$  вспомогательной прямой  $CE$  и на ней, опустив из точки  $k'$  линию связи, находят горизонтальную проекцию  $k$  точки  $K$ . Фронтальную проекцию вспомогательной прямой можно было провести через любую фронтальную проекцию вершины треугольника  $ABC$ .

## § 22. ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ПРЯМОЙ С ПЛОСКОСТЬЮ И ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ДВУХ ПЛОСКОСТЕЙ

Построение точки пересечения прямой с проецирующей плоскостью сводится к построению второй проекции точки на эюре, так как одна проекция точки всегда лежит на следе проецирующей плоскости, потому что все, что находится в проецирующей плоскости, проеци-

руется на один из следов плоскости. На рис. 224, *a* показано построение точки пересечения прямой  $EF$  с фронтально-проецирующей плоскостью треугольника  $ABC$  (перпендикулярной плоскости  $V$ ). На плоскость  $V$  треугольник  $ABC$  проецируется в отрезок  $a'c'$  прямой линии, и точка  $k'$  будет также лежать на этой прямой и находиться в точке пересечения  $e'f'$  с  $a'c'$ . Горизонтальную проекцию строят с помощью линии проекционной связи. Видимость прямой относительно плоскости треугольника  $ABC$  определяют по взаимному расположению проекций треугольника  $ABC$  и прямой  $EF$  на плоскости  $V$ . Направление взгляда на рис. 224, *a* указано стрелкой. Тот участок прямой, фронтальная проекция которого находится выше проекции треугольника, будет видимым. Левее точки  $k'$  проекция прямой находится над проекцией треугольника, следовательно, на плоскости  $H$  этот участок видимый.

На рис. 224, *b* прямая  $EF$  пересекает горизонтальную плоскость  $P$ . Фронтальная проекция  $k'$  точки  $K$  — точки пересечения прямой  $EF$  с плоскостью  $P$  — будет находиться в точке пересечения проекции  $e'f'$  со следом плоскости  $P_v$ , так как горизонтальная плоскость является фронтально-проецирующей плоскостью. Горизонтальную проекцию  $k$  точки  $K$  находят с помощью линии проекционной связи.

**Построение линии пересечения двух плоскостей** сводится к нахождению двух точек, общих для этих двух плоскостей. Для построения линии пересечения этого достаточно, так как линия пересечения — прямая, а прямая задается двумя точками. При пересечении проецирующей плоскости с плоскостью общего положения одна из проекций линии пересечения совпадает со следом плоскости, находящимся в той плоскости проекций, к которой перпендикулярна проецирующая плоскость. На рис. 225, *a* фронтальная проекция  $m'n'$  линии пересечения  $MN$  совпадает со следом  $P_v$  фронтально-проецирующей плоскости  $P$ , а на рис. 225, *b* горизонтальная проекция  $kl$  совпадает со следом горизонтально-проецирующей плоскости  $R$ . Другие проекции линии пересечения строятся с помощью линий проекционной связи.

**Построение точки пересечения прямой с плоскостью общего положения** (рис. 226, *a*) выполняют с помощью вспомогательной проецирующей плоскости  $R$ , которую проводят через данную прямую  $EF$ . Строят линию пересечения  $12$  вспомогательной плоскости  $R$  с заданной плоскостью треугольника  $ABC$ , получают в плоскости  $R$  две прямые:  $EF$  — заданная прямая и  $12$  — построенная линия пересечения, которые пересекаются в точке  $K$ .

Нахождение проекций точки  $K$  показано на рис. 226, *b*. Построения выполняют в следующей последовательности.

Через прямую  $EF$  проводят вспомогательную горизонтально-проецирующую плоскость  $R$ . Ее след  $R_H$  совпадает с горизонтальной проекцией  $ef$  прямой  $EF$ .

Строят фронтальную проекцию  $1'2'$  линии пересечения  $12$  плоскости  $R$  с заданной плоскостью треугольника  $ABC$  с помощью линий проекционной связи, так как горизонтальная проекция линии пересечения известна. Она совпадает с горизонтальным следом  $R_H$  плоскости  $R$ .

Определяют фронтальную проекцию  $k'$  искомой точки  $K$ , которая находится в пересечении фронтальной проекции данной прямой с проекцией  $1'2'$  линии пересечения. Горизонтальная проекция точки строится с помощью линии проекционной связи.

Видимость прямой относительно плоскости треугольника  $ABC$  определяется способом конкурирующих точек. Для определения видимости прямой на фронтальной плоскости проекций (рис. 226, *b*) сравним координаты  $Y$  точек 3 и 4, фронтальные проекции которых совпадают. Координата  $Y$  точки 3, лежащей на прямой  $BC$ , меньше координаты  $Y$  точки 4, лежащей на прямой  $EF$ . Следовательно, точка 4 находится ближе к наблюдателю (направление взгляда указано стрелкой) и проекция прямой изображается на плоскости  $V$  видимой. Прямая проходит перед треугольником. Левее точки  $K'$  прямая закрыта плоскостью треугольника  $ABC$ .

Видимость на горизонтальной плоскости проекций показывают, сравнив координаты  $Z$  точек 1 и 5. Так как  $Z_1 > Z_5$ , точка 1 видимая. Следовательно, правее точки 1 (до точки  $K$ ) прямая  $EF$  невидимая.

Для построения линии пересечения двух плоскостей общего положения применяют вспомогательные секущие плоскости. Это показано на рис. 227, *a*. Одна плоскость задана треугольником  $ABC$ , другая — параллельными прямыми  $EF$  и  $MN$ . Заданные плоскости (рис. 227, *a*) пересекают третьей вспомогательной плоскостью. Для простоты построений в качестве вспомогательных плоскостей берут горизонтальные или фронтальные плоскости. В данном случае вспомогательная плоскость  $R$  является горизонтальной плоскостью. Она пересекает заданные плоскости по прямым линиям  $12$  и  $34$ , которые в пересечении дают точку  $K$ , принадлежащую всем трем плоскостям, а следовательно, и двум заданным, т. е. лежащую на линии пересечения заданных плоскостей. Вторую точку находят с помощью второй вспомогательной плоскости  $Q$ . Найденные две

Рис. 224

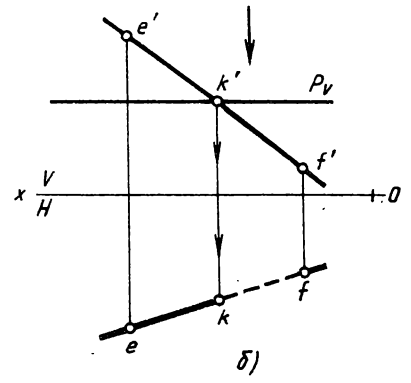
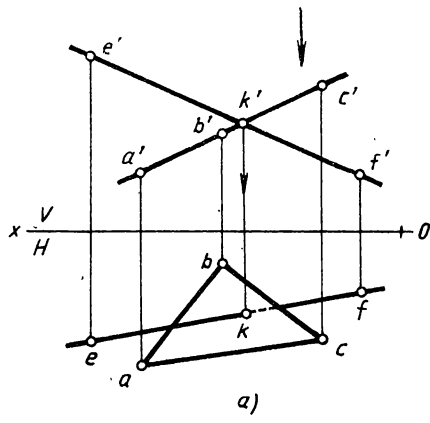


Рис. 225

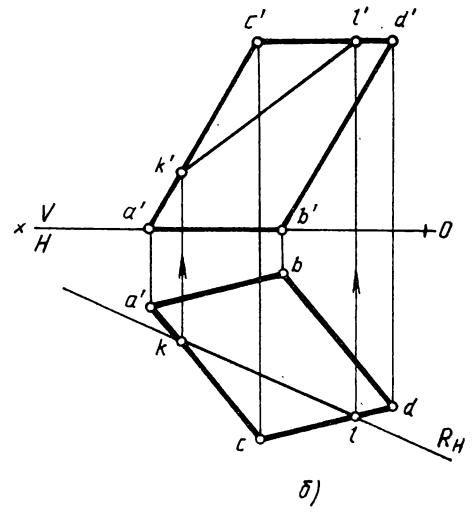
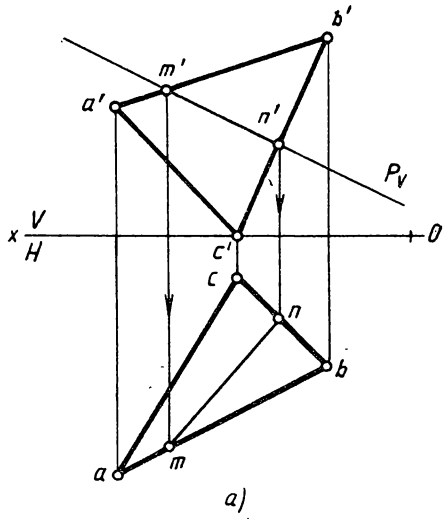
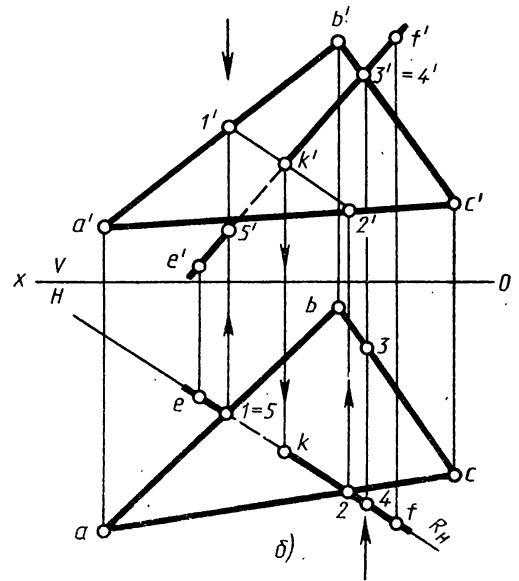
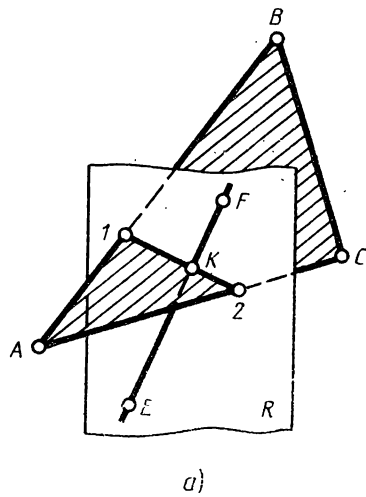


Рис. 226



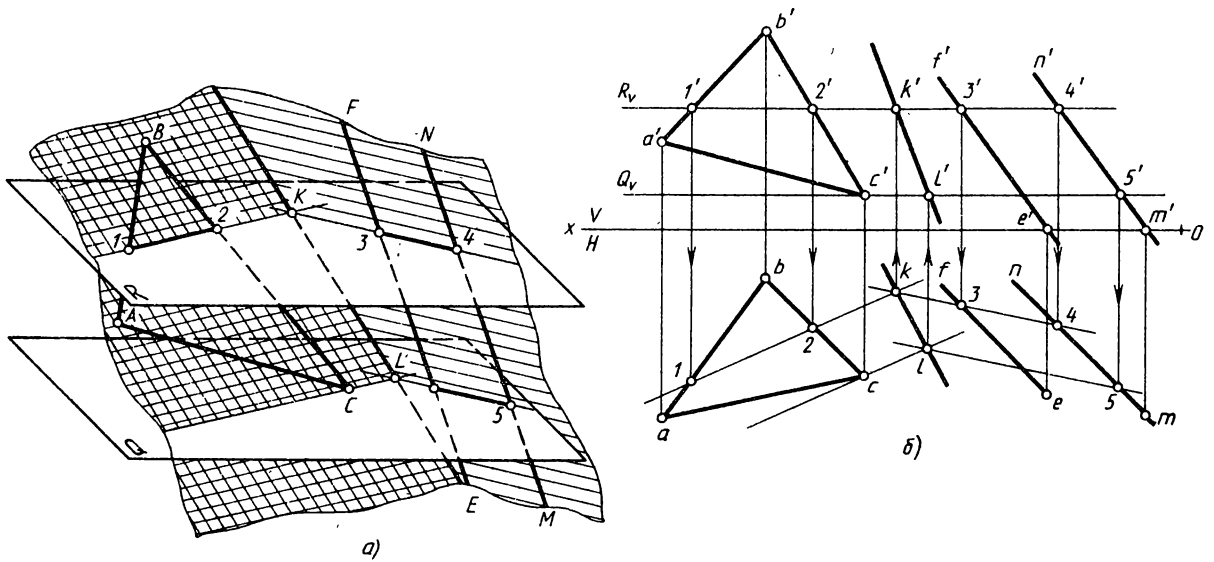


Рис. 227

точки  $K$  и  $L$  определяют линию пересечения двух плоскостей.

На рис. 227, б вспомогательная плоскость  $R$  задана фронтальным следом. Фронтальные проекции линий пересечения  $1'2'$  и  $3'4'$  плоскости  $R$  с заданными плоскостями совпадают с фронтальным следом  $R_V$  плоскости  $R$ , так как плоскость  $R$  перпендикулярна плоскости  $V$ , и все, что в ней находится (в том числе и линии пересечения) проецируется на ее фронтальный след  $R_V$ . Горизонтальные проекции

этих линий построены с помощью линий проекционной связи, проведенных от фронтальных проекций точек  $1', 2', 3', 4'$  до пересечения с горизонтальными проекциями соответствующих прямых в точках  $1, 2, 3, 4$ . Построенные горизонтальные проекции линий пересечения продолжают до пересечения друг с другом в точке  $k$ , которая является горизонтальной проекцией точки  $K$ , принадлежащей линии пересечения двух плоскостей. Фронтальная проекция этой точки находится на следе  $R_V$ .

Для построения второй точки, принадлежащей линии пересечения, проводят вторую вспомогательную плоскость  $Q$ . Для удобства построений плоскость  $Q$  проведена через точку  $C$  параллельно плоскости  $R$ . Тогда для построения горизонтальных проекций линий пересечения плоскости  $Q$  с плоскостью треугольника  $ABC$  и с плоскостью, заданной параллельными прямыми, достаточно найти две точки:  $c$  и  $b$  и провести через них прямые, параллельные ранее построенным проекциям линий пересечения  $12$  и  $34$ , так как плоскость  $Q \parallel R$ . Продолжив эти прямые до пересечения друг с другом, получают горизонтальную проекцию  $l$  точки  $L$ , принадлежащей линии пересечения заданных плоскостей. Фронтальная проекция  $l'$  точки  $L$  лежит на следе  $Q_V$  и строится с помощью линии проекционной связи. Соединив одноименные проекции точек  $K$  и  $L$ , получают проекции искомой линии пересечения.

Если в одной из пересекающихся плоскостей взять прямую и построить точку пересечения этой прямой с другой плоскостью, то эта точка будет принадлежать линии пересечения этих

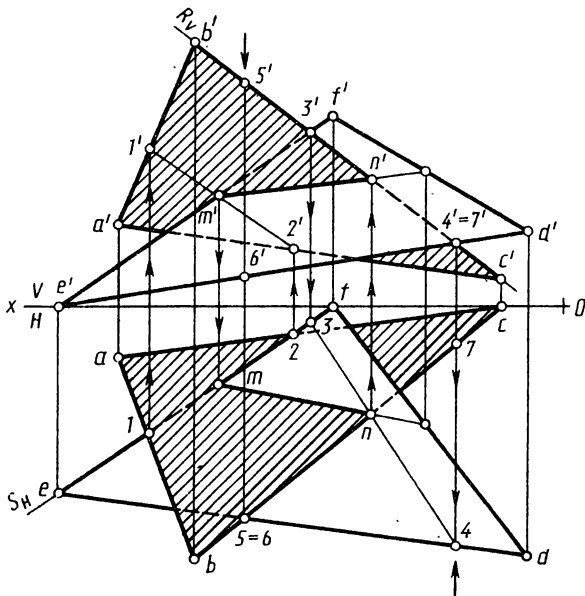


Рис. 228

плоскостей, так как она принадлежит обеим заданным плоскостям. Построив таким же образом вторую точку, можно найти линию пересечения двух плоскостей, так как для построения прямой достаточно двух точек. На рис. 228 показано такое построение линии пересечения двух плоскостей, заданных треугольниками.

Для данного построения берут одну из сторон треугольника и строят точку пересечения этой стороны с плоскостью другого треугольника. Если это не удается, берут другую сторону этого же треугольника, затем — третью. Если и это не привело к нахождению искомой точки, строят точки пересечения сторон второго треугольника с первым.

На рис. 228 построена точка пересечения прямой  $EF$  с плоскостью треугольника  $ABC$ . Для этого через прямую  $EF$  проводят вспомогательную горизонтально-проецирующую плоскость  $S$  и строят фронтальную проекцию  $1'2'$  линии пересечения этой плоскости с плоскостью треугольника  $ABC$ . Фронтальная проекция  $1'2'$  линии пересечения, пересекаясь с фронтальной проекцией  $e'f'$  прямой  $EF$ , дает фронтальную проекцию  $m'$  точки пересечения  $M$ . Горизонтальную проекцию  $m$  точки  $M$  находят с помощью линии проекционной связи. Вторая точка, принадлежащая линии пересечения плоскостей заданных треугольников, — точка  $N$  — точка пересечения прямой  $BC$  с плоскостью треугольника  $DEF$ . Через прямую  $BC$  проводят фронтально-проецирующую плоскость  $R$ , и на плоскости  $H$  пересечение горизонтальных проекций прямой  $BC$  и линии пересечения  $34$  дает точку  $n$  — горизонтальную проекцию искомой точки. Фронтальная проекция построена с помощью линии проекционной связи. Видимые участки заданных треугольников определяют с помощью конкурирующих точек для каждой плоскости проекций отдельно. Для этого выбирают точку на одной из плоскостей проекций, которая является проекцией двух конкурирующих точек. По вторым

проекциям этих точек определяют видимость, сравнивая их координаты.

Например, точки  $5$  и  $6$  — точки пересечения горизонтальных проекций  $bc$  и  $de$ . На фронтальной плоскости проекций проекции этих точек не совпадают. Сравнив их координаты  $Z$ , выясняют, что точка  $5$  закрывает точку  $6$ , так как координата  $Z_5$  больше координаты  $Z_6$ . Следовательно, левее точки  $5$  сторона  $DE$  невидимая.

Видимость на фронтальной плоскости проекций определяют с помощью конкурирующих точек  $4$  и  $7$ , принадлежащих отрезкам  $DE$  и  $BC$ , сравнивая их координаты  $Y_4$  и  $Y_7$ . Так как  $Y_4 > Y_7$ , сторона  $DE$  на плоскости  $V$  видимая.

Следует отметить, что при построении точки пересечения прямой с плоскостью треугольника точка пересечения может оказаться за пределами плоскости треугольника. В этом случае, соединив полученные точки, принадлежащие линии пересечения, обводят только тот ее участок, который принадлежит обоим треугольникам.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Какие координаты точки определяют ее положение в плоскости  $V$ ?
2. Что определяют координата  $Y$  и координата  $Z$  точки?
3. Как располагаются на эюре проекции отрезка, перпендикулярного плоскости проекций  $H$ ? Перпендикулярно плоскости проекций  $V$ ?
4. Как располагаются на эюре проекции горизонтали, фронтали?
5. Сформулируйте основное положение о принадлежности точки прямой.
6. Как отличить на эюре пересекающиеся прямые от скрещивающихся?
7. Какие точки называют конкурирующими?
8. Как определить, какая из двух точек видимая, если их проекции на фронтальной плоскости проекций совпали?
9. Сформулируйте основное положение о параллельности прямой и плоскости.
10. Какой порядок построения точки пересечения прямой с плоскостью общего положения?
11. Какой порядок построения линии пересечения двух плоскостей общего положения?

## ГЛАВА VI

### СПОСОБЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧЕРТЕЖА

Целью преобразования чертежа является приведение заданных на эюре геометрических элементов в новое положение по отношению к плоскостям проекций, более удобное для решения поставленной задачи. Чаще всего преобразование чертежа делают для того, чтобы в новой системе плоскостей проекций геометрические элементы (отрезок, плоская геометри-

ческая фигура и т. п.) проецировались на новую плоскость проекций без искажения, в натуральную величину.

Преобразование чертежа можно осуществить двумя способами. Первый способ — введение дополнительных плоскостей проекций с неизменным положением геометрических элементов. Второй — перемещение геометрических

элементов в пространстве с неизменным положением плоскостей проекций. Рассмотрим наиболее часто применяемые способы преобразования чертежа.

### § 23. СПОСОБ ПЕРЕМЕНЫ ПЛОСКОСТЕЙ ПРОЕКЦИЙ

Суть «перемены» заключается в том, что, вводя дополнительные плоскости проекций, переходят к другой системе плоскостей проекций, в которой заданные геометрические элементы имеют иное положение относительно плоскостей проекций. При введении новой плоскости обязательно сохраняют перпендикулярность плоскостей проекций, т. е. новую плоскость проекций устанавливают перпендикулярно одной из имеющихся плоскостей —  $H$  или  $V$ . Вопрос о том, какую плоскость проекций заменить и как расположить новую плоскость проекций по отношению к проецируемым геометрическим элементам, решается в зависимости от условия поставленной задачи.

На рис. 229 показана замена плоскости  $V$  новой плоскостью  $R$ . Цель такого преобразования заключается в превращении прямой общего положения  $AB$  в прямую частного положения.

Для этого новая плоскость проекций  $R$  располагается параллельно прямой  $AB$ , на произвольном расстоянии от нее и перпендикулярно плоскости  $H$  (рис. 229, а). При проецировании точек  $A$  и  $B$  на плоскость  $R$  отрезки  $Aa$  и  $Bb$  проецируются без искажения, т. е.  $Aa = a_r a_{x_1} = Z_A$ ,  $Bb = b_r b_{x_1} = Z_B$ . При совмеще-

нии плоскости  $R$  с плоскостью  $H$  в одну плоскость проекции  $a_r$  и  $b_r$  точек  $A$  и  $B$  будут на одном перпендикуляре к новой оси  $O_1x_1$  с горизонтальными проекциями  $a$  и  $b$  точек  $A$  и  $B$  и с координатами  $Z_A$  и  $Z_B$  относительно новой оси  $O_1x_1$ .

На эюре введение дополнительной плоскости проекций выполняется проведением новой оси  $O_1x_1$ , которая является следом плоскости проекций  $R$ . На рис. 229, б новая ось  $O_1x_1$  проведена параллельно горизонтальной проекции отрезка. На перпендикулярах к оси  $O_1x_1$  от точек  $a_{x_1}$  и  $b_{x_1}$  откладывают координаты  $Z_A$  и  $Z_B$ , строят новые проекции  $a_r$  и  $b_r$  точек  $A$  и  $B$ . На плоскость  $R$  прямая проецируется в натуральную величину.

Определение натуральной величины многоугольников, лежащих в проецирующих плоскостях, показано на рис. 230.

Плоскость треугольника  $DCE$  (рис. 230, а) фронтально-проецирующая. На плоскость  $V$  треугольник  $DCE$  проецируется в прямую линию (след плоскости). Для определения натуральной величины треугольника новую плоскость проекций  $Q$  ставят параллельно плоскости треугольника, т. е. ось  $O_1x_1$  проводят параллельно линии, в которую проецируется треугольник  $DCE$  ( $O_1x_1 \parallel d'e'c'$ ). Из точек  $d'$ ,  $e'$ ,  $c'$  проводят линии проекционной связи перпендикулярно новой оси и на них от оси  $O_1x_1$  откладывают координаты  $Y_D$ ,  $Y_E$  и  $Y_C$ . В новой системе плоскостей проекций треугольник  $d_q e_q c_q$  является натуральной величиной треугольника  $DEC$ .

Плоскость пятиугольника  $ABCDE$  (рис. 230, б) горизонтально-проецирующая. Для определе-

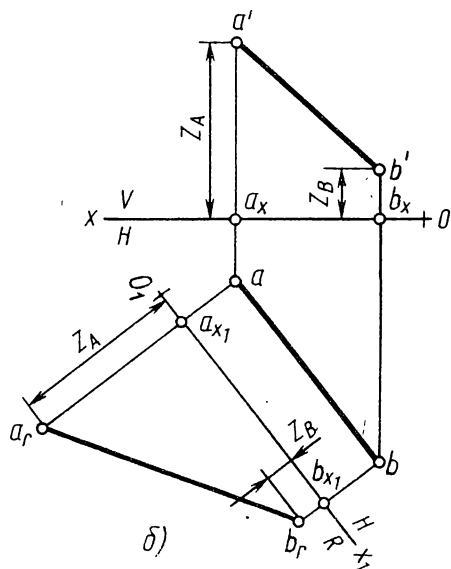
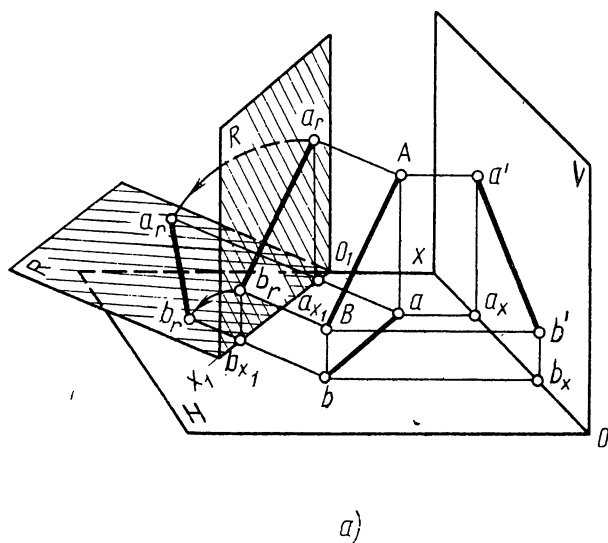


Рис. 229

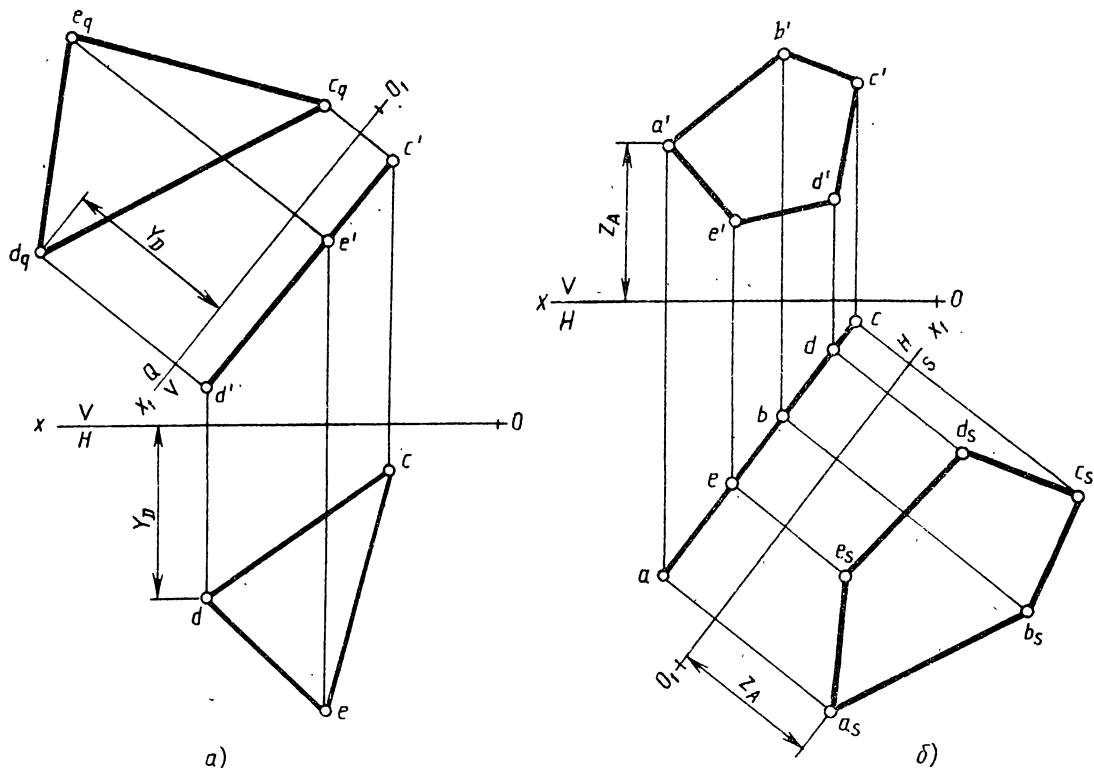


Рис. 230

ния натуральной величины многоугольника новая плоскость  $S$  проводится параллельно линии, в которую проецируется заданный пятиугольник. Новую ось  $O_1x_1$  проводят параллельно проекции  $aebdc$ . На линиях проекционной связи откладывают координаты  $Z$  точек  $A, B, C, D$  и  $E$ . В новой системе плоскостей проекций пятиугольник  $a_s b_s c_s d_s e_s$  является натуральной величиной пятиугольника  $ABCDE$ .

## § 24. СПОСОБ ВРАЩЕНИЯ

Рассматриваемый способ вращения заключается в том, что положение геометрических элементов относительно плоскостей проекций изменяют вращением вокруг оси, которая проводится перпендикулярно к какой-нибудь плоскости проекций; положение плоскостей проекций при этом остается неизменным. На эюре строят новые проекции повернутых геометрических элементов.

На рис. 231 показано вращение точки  $B$  вокруг оси  $I$ , перпендикулярной плоскости  $H$ . Точку  $B$  вращают вокруг оси  $I$  (рис. 231, а) по окружности, радиус  $O_1B$  которой является перпендикуляром, опущенным из точки  $B$  на

ось вращения  $I$ . Точка  $O_1$  — центр вращения точки  $B$ . Точка  $B$  при вращении опишет дугу окружности, которая располагается в плоскости  $T$ , перпендикулярной оси вращения. А так как ось  $I$  перпендикулярна плоскости  $H$ , плоскость  $T$  будет горизонтальной плоскостью. Ось вращения — проецирующая прямая, перпендикулярная плоскости  $H$ . Траектория поворота точки  $B$  проецируется на плоскость  $H$  окружностью, а на плоскость  $V$  — отрезком прямой линии. Переместив горизонтальную проекцию точки  $B$  в новое положение  $b_1$ , т. е. повернув ее на заданный угол  $\alpha$ , строят фронтальную проекцию точки  $b'_1$  с помощью линии проекционной связи. Так как вращение происходит в плоскости  $T$ , перпендикулярной плоскости  $V$ , фронтальная проекция  $b'_1$  точки  $B$  будет находиться на следе  $T_V$  плоскости  $T$ . Плоскость вращения на эюре обычно не проводят.

Траектория вращения точки проецируется в дугу окружности на плоскость проекций, которой перпендикулярна ось вращения. На плоскость, которой ось вращения параллельна, траектория вращения точки проецируется в отрезок, параллельный оси проекций.

При определении натуральной длины отрезка для упрощения построений ось вращения

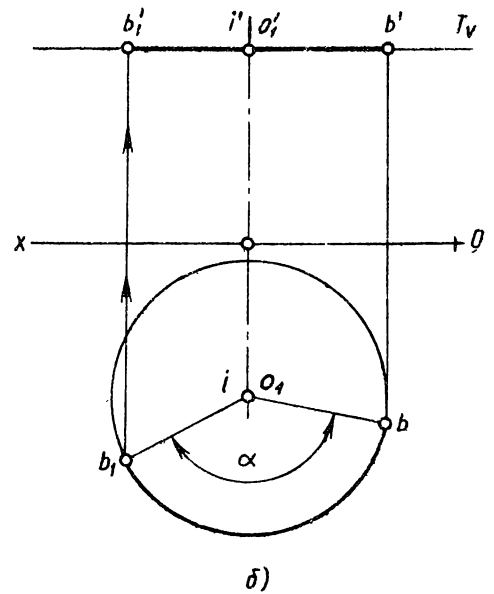
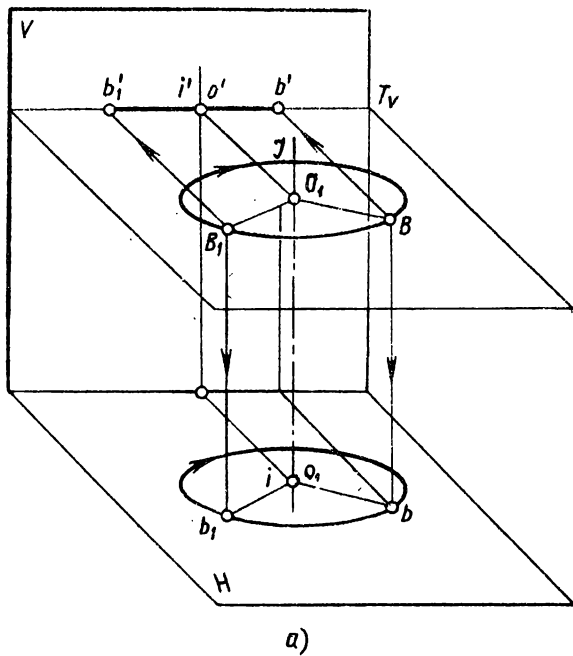


Рис. 231

проводят через конец отрезка. На рис. 232, а ось вращения  $I$  проведена через точку  $A$  перпендикулярно плоскости  $H$ . При вращении точка  $B$  отрезка  $AB$  описала дугу окружности с центром в точке, которая проецируется на плоскость  $H$  в точку  $a$ , в эту же точку проецируется ось  $I$  ( $i$ ). Траектория точки  $B$  на плоскость  $H$  спроецировалась без искажения, а ее фронтальная проекция совпала с осью  $Ox$ , так как точка  $B$  лежит в плоскости  $H$ . Движение точки  $B$  остановлено в тот момент, когда горизонтальная проекция  $ab$  отрезка  $AB$  стала параллельной оси  $Ox$ . Отрезок расположился параллельно плоскости  $V$  и проецируется на нее в натуральную величину.

На рис. 232, б ось вращения проведена перпендикулярно плоскости  $V$  через точку  $C$ . Ее фронтальная проекция совпала с фронтальной проекцией  $c'$  точки  $C$  и проекцией оси вращения  $I$  ( $i'$ ) точки  $D$ . Фронтальная проекция  $c'd'$  отрезка  $CD$  повернута до положения, параллельного оси  $Ox$ . Отрезок стал параллельным плоскости  $H$  и спроецировался на нее в натуральную величину. Траектория точки  $D$  при вращении проецируется на плоскость  $H$  отрезком  $dd_1$ , параллельным оси  $Ox$ .

На рис. 233 показан поворот треугольника  $ABC$  (плоскость треугольника  $ABC$  перпендикулярна плоскости  $V$ ) в положение, параллельное плоскости  $H$ . Для этого через одну из вершин треугольника ( $A$ ) проводят ось вращения пер-

пендикулярно плоскости  $V$ . Отрезок  $a'b'$  — проекцию треугольника  $ABC$  на плоскость  $V$  — поворачивают в положение, параллельное оси  $Ox$ . Траектории поворота вершин треугольника спроецировались на плоскость  $V$  в дуги окружностей, а на плоскость  $H$  — в отрезки прямых, параллельных оси  $Ox$ . Проведя линии проекционной связи из точек  $c'_1$  и  $b'_1$  до пересечения с этими отрезками, получают проекцию  $ab_1c_1$  треугольника после поворота. Точка  $A$  своего положения не изменила, так как она находится на оси вращения. На плоскость  $H$  треугольник спроецировался в натуральную величину, так как его плоскость параллельна плоскости  $H$ .

Способ вращения без указания осей или способ плоскопараллельного перемещения может быть применен в тех же случаях, что и рассмотренный выше способ вращения. Если на плоскости  $V$  на свободном месте чертежа изобразить фронтальную проекцию  $c'd'$  прямой  $CD$  (рис. 234, а) в новом положении, где проекция  $c'_1d'_1$  будет параллельна оси  $Ox$ , то, очевидно, существует такая ось вращения, поворот вокруг которой привел прямую  $CD$  именно в такое положение. Ось вращения можно не указывать, так как все построения могут быть проделаны без нее. На горизонтальной плоскости проекций траектории перемещения совпадут с прямыми, параллельными оси  $Ox$ . Опустив из точек  $c'_1$  и  $d'_1$  линии

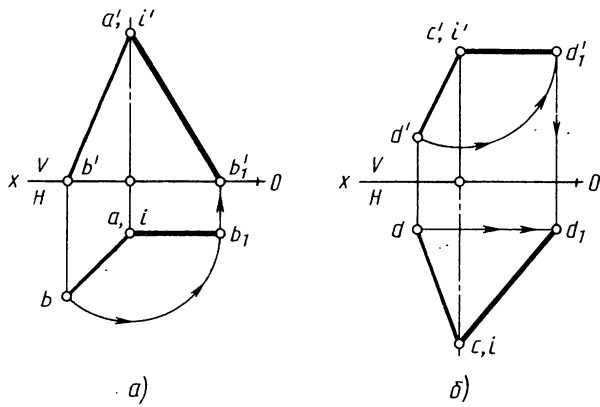


Рис. 232

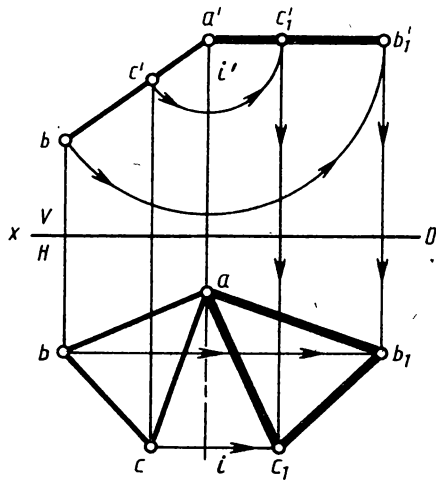


Рис. 233

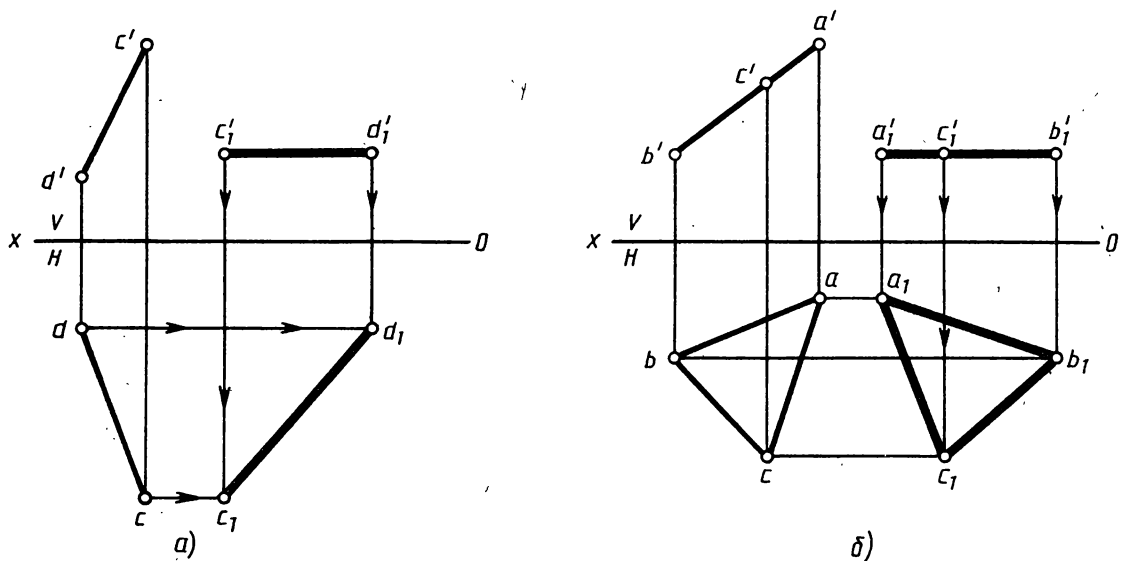


Рис. 234

связи до пересечения с этими прямыми, получим проекцию  $c_1d_1$  прямой  $CD$ , которая в новом положении проецируется на плоскость  $H$  в натуральную величину.

На рис. 234, б без указания оси вращения показан поворот треугольника  $ABC$  в положение, параллельное плоскости  $H$ . Его фронтальная проекция  $a'_1b'_1c'_1$  изображена на произвольном месте плоскости  $V$  параллельно оси  $Ox$ .

Из сказанного следует, что проекции геометрических элементов при вращении не изменяют своей величины на той плоскости проекций, которой перпендикулярна ось вращения. Это происходит потому, что угол наклона прямой или плоскости к плоскости проекций, к которой перпендикулярна ось, не изменяется при перемещении этих геометрических элементов. Взаимное расположение точек при повороте, а значит, форма и величина проекции вращаемого объекта на этой плоскости проекций остаются без изменений. Меняется лишь ее положение.

На этом и основан способ вращения без указания осей. Одну из проекций вычерчивают в новом положении по отношению к оси проекций  $Ox$ , а на другой плоскости проекций проводят прямые, параллельные оси  $Ox$ , изображающие на плоскости проекций путь перемещения точек. В пересечении линий проекционной связи, проведенных от проекций точек после поворота, и линий, параллельных оси  $Ox$ , получают точки, определяющие положение второй проекции после поворота.

## § 25. СПОСОБ СОВМЕЩЕНИЯ

Способ совмещения можно рассматривать как частный случай вращения. Он применяется для определения натуральной величины геометрической фигуры, расположенной в плоскости. Эту плоскость, вращая вокруг одного из следов, совмещают с плоскостью проекций, т. е. накладывают на плоскость проекций вместе с геометрической фигурой, лежащей в этой плоскости. В совмещенном положении геометрическая фигура изображается в натуральную величину. Если геометрическая фигура задана на эюре без следов, то следы плоскости нужно построить. Наклонный след плоскости проходит через прямую, в которую проецируется геометрическая фигура, а второй след — перпендикулярно оси проекций (ограничим рассмотрение вопросов совмещения только совмещением проецирующих плоскостей).

На рис. 235 показано совмещение плоскости  $P$  с плоскостью  $V$  — фронтальной плоскостью проекций — вращением плоскости  $P$  вокруг фронтального следа  $P_V$ . Плоскость  $P$  перпендикулярна плоскости  $V$ . Через вершины треугольника  $ABC$  проведены в плоскости  $P$  горизонтали и фронталы. Вершины треугольника лежат в точках пересечения этих линий. Горизонтальные проекции горизонталей параллельны горизонтальному следу  $P_H$  плоскости  $P$ , а горизонтальные проекции фронталей параллельны оси  $Ox$ . На фронтальную плоскость проекций горизонталей, которые перпендикулярны плоскости  $V$ , проецируются в точки  $a'$ ,  $b'$  и  $c'$  на след  $P_V$ . На этот же след проецируются и фронталы.

Для построения совмещенного положения плоскости  $P$  с плоскостью  $V$  проводят совмещенный горизонтальный след  $P_{H_1}$  плоскости  $P$  перпендикулярно фронтальному следу  $P_V$  через точку схода следов  $P_x$ . Следы  $P_H$  и  $P_V$  расположены в пространстве перпендикулярно друг другу, и в совмещенном положении прямой угол между ними сохранится. Затем проводят в совмещенной плоскости  $P$  горизонталы и фронталы через точки их пересечения со следами плоскости. Горизонталы пересекают след  $P_V$  в точках, совпадающих с проекциями  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$ , и через эти точки проводят горизонталы параллельно совмещенному следу  $P_{H_1}$ .

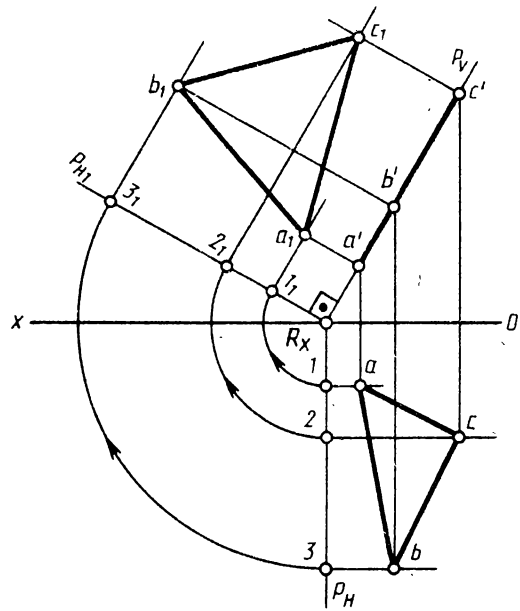


Рис. 235

Фронталы пересекают горизонтальный след  $P_{H_1}$  в точках  $1, 2, 3$ . Из этих точек проводят дуги с центром в точке  $P_x$ , находят точки  $I_1, 2_1, 3_1$  и через них проводят совмещенные фронталы параллельно следу  $P_V$ , так как все фронталы плоскости параллельны ее фронтальному следу. Каждая из проведенных фронталей, пересекаясь с соответствующей горизонталью, дает одну из совмещенных вершин треугольника. Треугольник  $ABC$  в совмещенном положении изображается в натуральную величину.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Как следует провести новую ось проекций, если нужно определить натуральную величину отрезка способом перемены плоскостей проекций?
2. Как удобнее провести ось вращения, если нужно повернуть отрезок прямой в положение, параллельное плоскости  $V$ , способом вращения вокруг оси, перпендикулярной одной из плоскостей проекций?
3. На каком расстоянии от фронтального следа плоскости расположится точка в совмещенном положении, если заданную фронтально-проецирующую плоскость вместе с лежащей в ней точкой совместить с плоскостью  $V$ ?
4. Как и где относительно оси  $Ox$  нужно расположить горизонтальную проекцию прямой, чтобы прямая на фронтальную плоскость проекций спроецировалась в натуральную величину?

## АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

АксонOMETрические\* проекции применяются для наглядного изображения различных предметов. Предмет здесь изображают так, как его видят (под определенным углом зрения). На таком изображении отражены все три пространственных измерения, поэтому чтение аксонометрического чертежа обычно не вызывает затруднений.

АксонOMETрический чертеж можно получить как с помощью прямоугольного проецирования, так и с помощью косоугольного проецирования. Предмет располагают так, чтобы три основных направления его измерений (высота, ширина, длина) совпадали с осями координат и вместе с ними спроецировались бы на плоскость. Направление проецирования не должно совпадать с направлением осей координат, т. е. ни одна из осей не будет проецироваться в точку. Только в этом случае получится наглядное изображение всех трех осей.

Для получения прямоугольных аксонометрических проекций оси координат наклоняют относительно плоскости проекций  $P_A$  так, чтобы их направление не совпадало с направлением проецирующих лучей. При косоугольном проецировании можно варьировать как направлением проецирования, так и наклоном координатных осей относительно плоскости проекций. При этом координатные оси в зависимости от их угла наклона к аксонометрической плоскости проекций и направления проецирования будут проецироваться с разными коэффициентами искажения. В зависимости от этого будут получаться разные аксонометрические проекции, отличающиеся расположением осей координат. ГОСТ 2.317—69 (СТ СЭВ 1979—79) предусматривает следующие аксонометрические проекции: прямоугольная изометрическая проекция; прямоугольная диметрическая проекция; косоугольная фронтальная изометрическая проекция; косоугольная горизонтальная изометрическая проекция; косоугольная фронтальная диметрическая проекция.

## § 26. ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

Изометрическая проекция отличается большой наглядностью и широко применяется в практике. Координатные оси при получении изометрической проекции наклоняют относительно аксонометрической плоскости проекций так, чтобы они имели одинаковый угол наклона (рис. 236). В этом случае они проецируются с одинаковым коэффициентом искажения (0,82) и под одинаковым углом друг к другу ( $120^\circ$ ).

В практике коэффициент искажения по осям обычно принимают равным единице, т. е. откладывают действительную величину размера. Изображение получается увеличенным в 1,22 раза, но это не приводит к искажениям формы и не сказывается на наглядности, а упрощает построения.

АксонOMETрические оси в изометрии проводят, предварительно построив углы между осями  $x$ ,  $y$  и  $z$  ( $120^\circ$ ) или углы наклона осей  $x$  и  $y$  к горизонтальной прямой ( $30^\circ$ ). Построение осей в изометрии с помощью циркуля показано на рис. 237, где радиус  $R$  взят произвольно. На рис. 238 показан способ построения осей  $x$  и  $y$  с использованием тангенса угла  $30^\circ$ . От точки  $O$  — точки пересечения аксонометрических осей — откладывают влево или вправо по горизонтальной прямой пять одинаковых отрезков произвольной длины  $i$ , и, проведя через по-

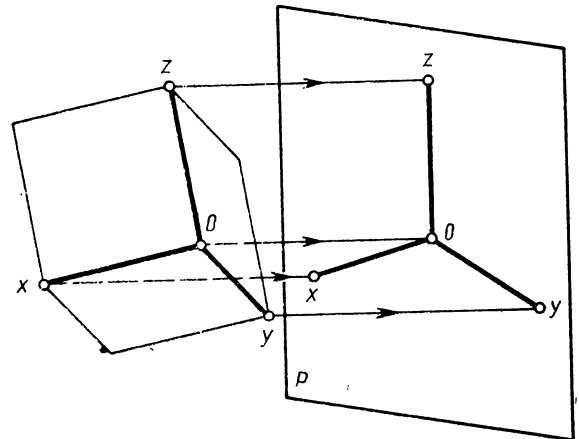


Рис. 236

\* Аксонометрия (от греч. «аксо» — ось и «...метрия» — измерять) означает измерение по осям.

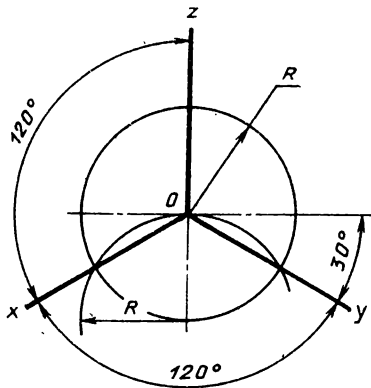


Рис. 237

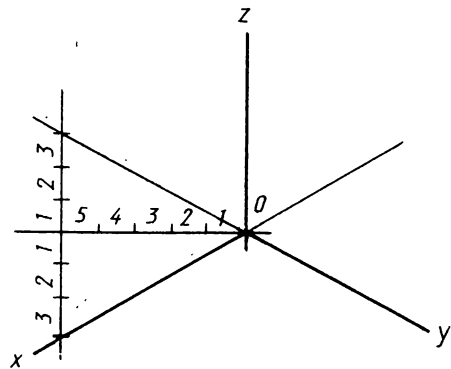


Рис. 238

следнее деление вертикальную прямую, откладывают на ней вверх и вниз по три таких же отрезка. Построенные точки соединяют с точкой  $O$  и получают оси  $Ox$  и  $Oy$ .

Откладывать (строить) размеры и производить измерения в аксонометрии можно только по осям  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$  или на прямых, параллельных этим осям.

На рис. 239 показано построение точки  $A$  в изометрии по ортогональному чертежу (рис. 239, а). Точка  $A$  расположена в плоскости  $V$ . Для построения достаточно построить вторичную проекцию  $a'$  точки  $A$  (рис. 239, б) на плоскости  $xOz$  по координатам  $X_A$  и  $Z_A$ . Изображение точки  $A$  совпадает с ее вторичной проекцией. Вторичными проекциями и точки называют изображения ее ортогональных проекций в аксонометрии.

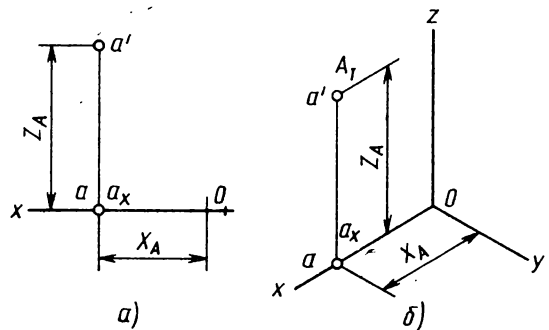


Рис. 239

На рис. 240 показано построение точки  $B$  в изометрии. Сначала строят вторичную проекцию точки  $B$  на плоскости  $xOy$ . Для этого от начала координат по оси  $Ox$  откладывают координату  $X_B$  (рис. 240, б), получают вторичную проекцию точки  $b_x$ . Из этой точки параллельно оси  $Oy$  проводят прямую и на ней откладывают координату  $Y_B$ . Построенная точка  $b$  на аксонометрической плоскости будет вторичной проекцией точки  $B$ . Проведя из точки  $b$  прямую, параллельную оси  $Oz$ , откладывают координату  $Z_B$  и получают точку  $B$ , т. е. аксонометрическое изображение точки  $B$ . Аксонометрию точки  $B$  можно построить и от вторичных проекций на плоскости  $zOx$  или  $zOy$ .

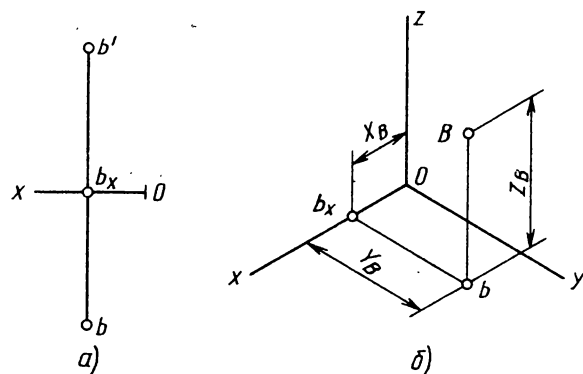


Рис. 240

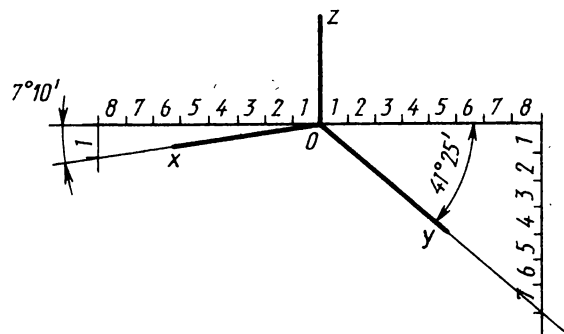


Рис. 241

Прямоугольная диметрическая проекция. Координатные оси располагают так, чтобы две оси  $Ox$  и  $Oz$  имели одинаковый угол наклона и проецировались с одинаковым коэффициентом искажения (0,94), а третья ось  $Oy$  была бы наклонена так, чтобы коэффици-

ент искажения при проецировании был в два раза меньше (0,47). Обычно коэффициент искажения по осям  $Ox$  и  $Oz$  принимают равным единице, а по оси  $Oy$  — 0,5. Изображение получается увеличенным в 1,06 раза, но это так же, как и в изометрии, не сказывается на наглядности изображения, а упрощает построение. Расположение осей в прямоугольной диметрии показано на рис. 241. Строят их, откладывая углы  $7^\circ 10'$  и  $41^\circ 25'$  от горизонтальной линии по транспортиру, или откладывая одинаковые отрезки произвольной длины, как показано на рис. 241. Полученные точки соединить с точкой  $O$ . При построении прямоугольной диметрии необходимо помнить, что действительные размеры откладывают только на осях  $Ox$  и  $Oz$  или на параллельных им линиях. Размеры по оси  $Oy$  и параллельно ей откладывают с коэффициентом искажения 0,5.

## § 27. КОСОУГОЛЬНЫЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

**Фронтальная изометрическая проекция.** Расположение аксонометрических осей показано на рис. 242. Угол наклона оси  $Oy$  к горизонтали обычно равен  $45^\circ$ , но может иметь значение 30 или  $60^\circ$ .

**Горизонтальная изометрическая проекция.** Расположение аксонометрических осей показано на рис. 243. Угол наклона оси  $Oy$  к горизонтали обычно равен  $30^\circ$ , но может иметь значение 45 или  $60^\circ$ . При этом угол  $90^\circ$  между осями  $Ox$  и  $Oy$  должен сохраняться.

Фронтальную и горизонтальную косоугольные изометрические проекции строят без искажения по осям  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$ .

Фронтальная диметрическая проекция. Расположение осей показано на рис. 244. Рис. 245 иллюстрирует проецирование осей координат на аксонометрическую

Рис. 244

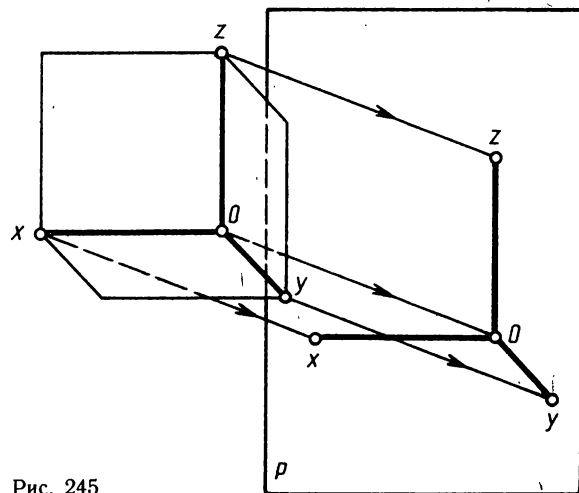
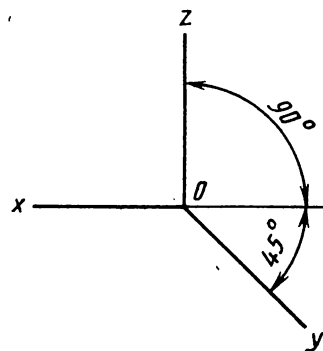


Рис. 245

плоскость проекций. Плоскость  $xOz$  параллельна плоскости  $P$ . Допускается ось  $Oy$  проводить под углом 30 или  $60^\circ$  к горизонтали. Коэффициент искажения по оси  $Ox$  и  $Oz$  принят равным 1, а по оси  $Oy$  — 0,5.

## § 28. ПОСТРОЕНИЕ ПЛОСКИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР В АКСОНОМЕТРИИ

Основанием ряда геометрических тел является плоская геометрическая фигура: многоугольник или окружность. Чтобы построить геометрическое тело в аксонометрии, надо уметь строить прежде всего его основание, т. е. плоскую геометрическую фигуру. Для примера рассмотрим построение плоских фигур в прямоугольной изометрической и диметрической проекции. Построение многоугольников в аксонометрии можно выполнять методом координат, когда каждую вершину многоугольника строят в аксонометрии как отдельную точку (построение точки методом координат рассмотрим

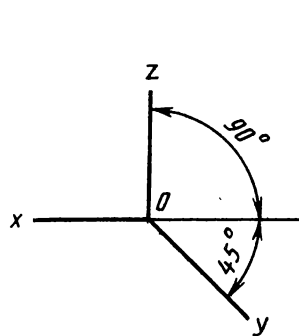


Рис. 242

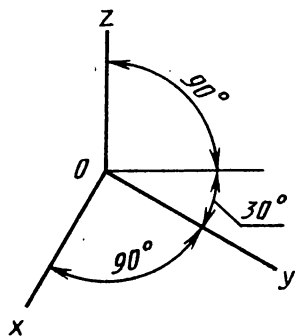


Рис. 243

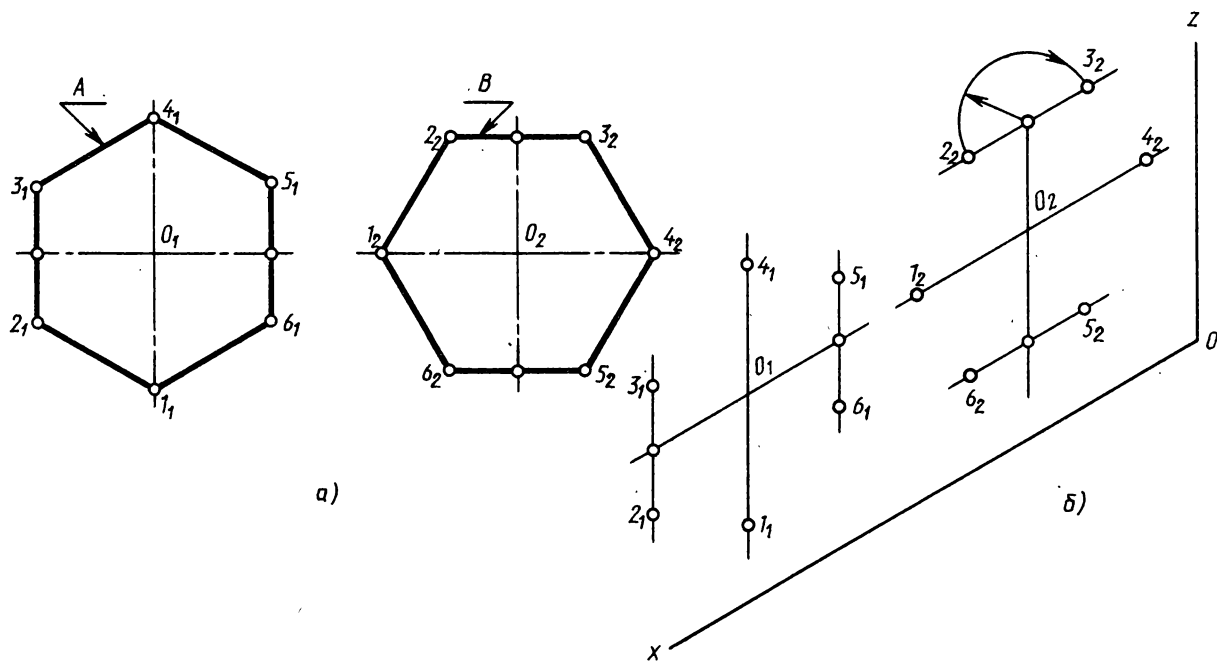


Рис. 246

рено в § 26), затем построенные точки соединяют отрезками прямых линий и получают ломаную замкнутую линию в виде многоугольника. Эту задачу можно решить иначе. В правильном многоугольнике построение начинают с оси симметрии, а в неправильном многоугольнике проводят дополнительную прямую, которая называется базой, параллельно одной из осей координат на ортогональном чертеже.

**Построение правильного шестиугольника в изометрической проекции** начинается с определения положения осей симметрии фигуры относительно осей координат той плоскости проекций, в которой лежит шестиугольник. Предположим, что два шестиугольника *A* и *B* (рис. 246) на ортогональном чертеже находятся в плоскости *V* и их оси симметрии располагаются параллельно осям *Oz* и *Ox*. В аксонометрии в плоскости *xOz* проводят оси симметрии шестиугольников параллельно осям *Oz* и *Ox*. Центры шестиугольников располагают произвольно, так как рассматривается построение вершин относительно осей симметрии. На ортогональном чертеже шестиугольника *A* на оси симметрии, параллельной *Oz*, лежат вершины *1* и *4*, а на чертеже шестиугольника *B* на этой же оси расположены середины сторон *2 3* и *5 6*. Расстояния между вершинами *1* и *4* и серединами сторон *2 3* и *5 6* измеряют от точек  $O_1$  и  $O_2$  на эпюре. Эти расстояния в изометрии откладывают от точек  $O_1$  и  $O_2$  (рис. 246, б).

На второй оси симметрии шестиугольника *A*, расположенной параллельно оси *Ox*, лежат се-

редины сторон *2 3* и *5 6*, а шестиугольника *B* — вершины *1* и *4*. Расстояния между вершинами и серединами сторон измеряют на ортогональном чертеже и соответственно переносят в изометрию. Далее через середины сторон в изометрии проводят прямые линии параллельно направлению оси *Oz* для шестиугольника *A* и параллельно направлению оси *Ox* для шестиугольника *B*. На этих прямых откладывают отрезки, которые равны стороне шестиугольника, и получают точки (вершины)  $2_1, 3_1, 5_1, 6_1, 2_2, 3_2, 5_2$  и  $6_2$ . Для этого на ортогональном чертеже измеряют расстояния от середины сторон до ближайшей вершины и переносят в аксонометрию, где откладывают от соответствующих точек в обе стороны. Построенные точки последовательно соединяют отрезками прямых линий и получают изображения шестиугольников в аксонометрии. На рис. 247 построены шестиугольники в плоскостях *V*, *H* и *W*.

В плоскости *H* оси симметрии располагаются параллельно оси *Ox* и *Oy*, а в плоскости *W* — параллельно осям *Oz* и *Oy*.

Построение неправильного многоугольника в изометрической проекции начинают с выбора базовой линии, лежащей в плоскости многоугольника и параллельной одной из осей координат. Этой прямой могут быть сторона многоугольника, диагональ или прямая, проведенная через вершину любого угла в плоскости многоугольника параллельно одной из осей координат плоскости, в которой лежит фигура.

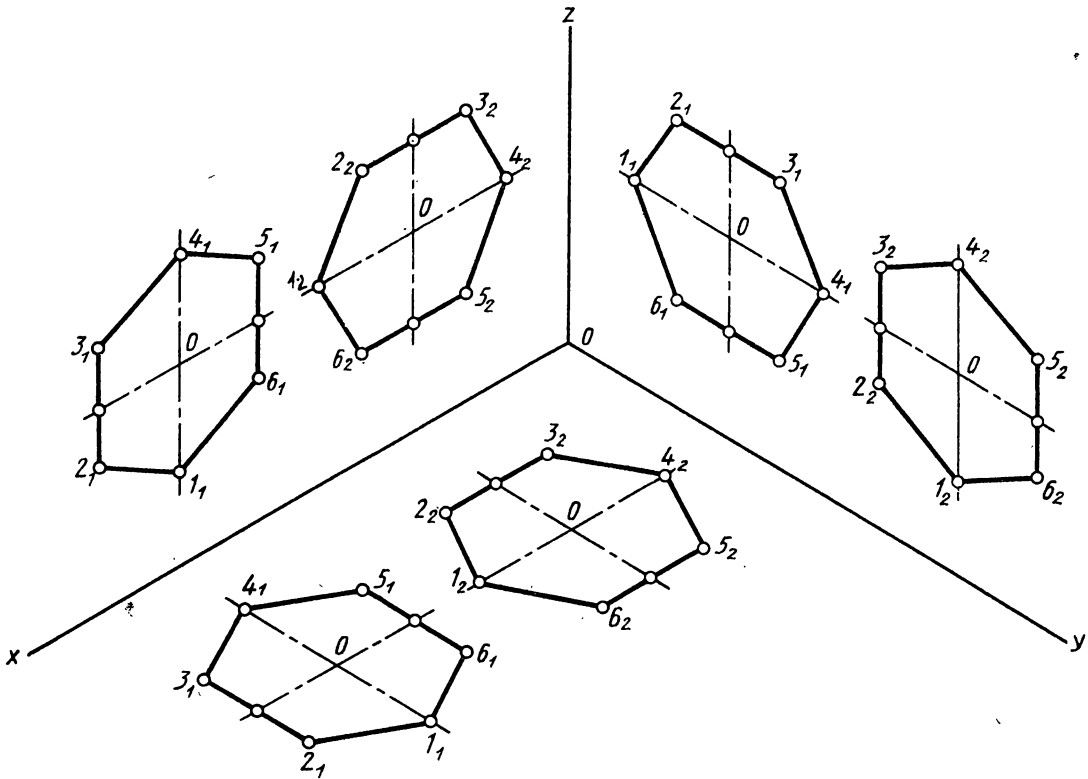


Рис. 247

Так, на рис. 248, а ортогонального чертежа через вершину  $C$  проведена базовая прямая, которая для плоскостей  $xOz$  и  $zOy$  (рис. 248, б и в) располагается параллельно направлению оси  $Oz$ , а для плоскости  $xOy$  (рис. 248, г) — оси  $Oy$ .

На этом же ортогональном чертеже через вершины остальных углов многоугольника перпендикулярно к этой прямой проведены линии до пересечения в точках 1, 2 и 3. Начинают построение заданной фигуры в аксонометрии с проведения прямой  $C3$  в каждой плоскости параллельно направлению той оси, которая

выбрана по условию. На прямой  $C3$  произвольно выбирается точка, которая будет вершиной  $C$ . От точки  $C$  откладывают расстояния до точек 1, 2 и 3, измеренные на ортогональном чертеже, и через эти точки проводят прямые параллельно направлению второй оси плоскости. Строят вершины  $A$ ,  $B$  и  $D$  многоугольника. Для этого на ортогональном чертеже измеряют расстояния от точек 1, 2 и 3 до вершин  $A$ ,  $B$  и  $D$  и откладывают их в аксонометрии. Полученные точки последовательно соединяют отрезками прямых, получают заданный многоугольник в аксонометрии.

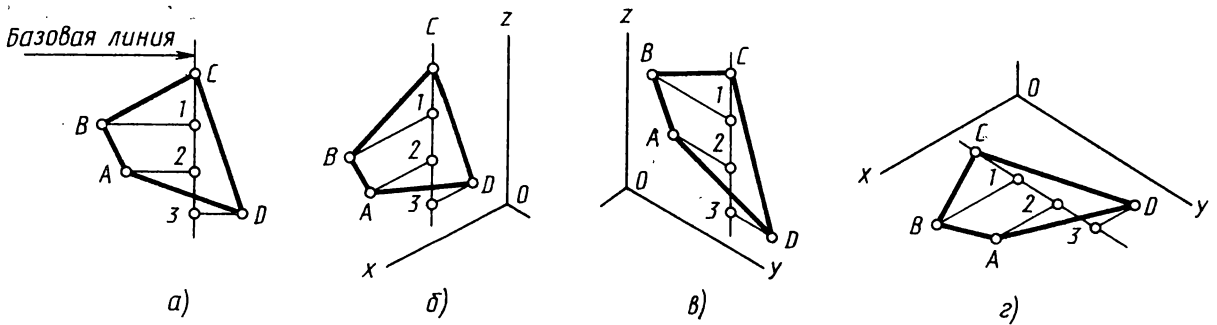


Рис. 248

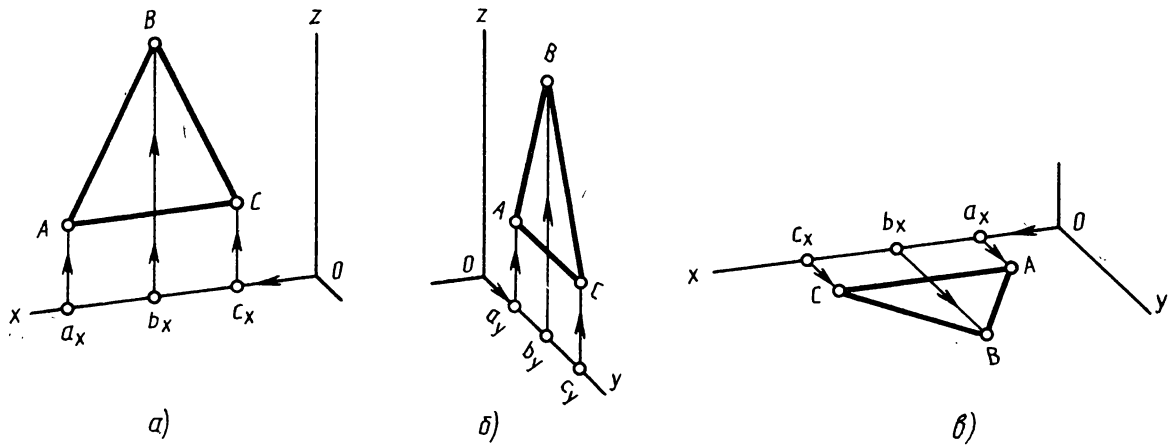


Рис. 249

**Построение многоугольника в прямоугольной диметрической проекции** выполняют так же, как в прямоугольной изометрической проекции, но отрезки, параллельные оси  $Oy$  в диметрии, уменьшают в два раза, учитывая коэффициент искажения по оси  $Oy$ .

Рассмотрим построение треугольника  $ABC$  в прямоугольной диметрии по координатам его вершин.

Треугольник, расположенный в плоскости  $V$ , с координатами вершин  $X_A = 45$ ,  $Y_A = 0$ ,  $Z_A = 15$ ,  $X_B = 30$ ,  $Y_B = 0$ ,  $Z_B = 45$ ,  $X_C = 15$ ,  $Y_C = 0$ ,  $Z_C = 15$  построен на рис. 249, а. Его построение начинают с нахождения вторичных осевых проекций вершин. Для этого от точки  $O$  по оси  $Ox$  откладывают координаты  $X_A$ ,  $X_B$ ,  $X_C$  вершин треугольника и получают точки  $a_x$ ,  $b_x$ ,  $c_x$ . От них на прямых, параллельных оси  $Oz$ , откладывают координаты  $Z_A$ ,  $Z_B$ ,  $Z_C$  и получают аксонометрические изображения вершин треугольника. Затем вершины соединяют.

Построение треугольников с координатами вершин  $X_A = 0$ ,  $Y_A = 15$ ,  $Z_A = 15$ ,  $X_B = 0$ ,  $Y_B = 30$ ,  $Z_B = 45$ ,  $X_C = 0$ ,  $Y_C = 45$ ,  $Z_C = 15$ , лежащих в плоскости  $W$  (рис. 249, б) и в плоскости  $H$  (рис. 249, в), аналогично. При этом по оси  $Oy$  и в том, и в другом случае откладывают половину координаты  $Y$ , учитывая коэффициент искажения. Форма треугольника в этих плоскостях искажается.

**Изображение окружности в прямоугольной изометрической проекции** во всех трех плоскостях проекций представляет собой одинаковые по форме эллипсы.

Направление малой оси эллипса совпадает с направлением аксонометрической оси, перпендикулярной той плоскости проекций, в которой лежит изображаемая окружность. Так, если изображаемая окружность лежит в плос-

кости  $H$  или в плоскости, параллельной  $H$ , направление малой оси будет совпадать с направлением оси  $Oz$  (рис. 250). Если окружность расположена в плоскости  $V$  или в плоскости, параллельной ей, направление малой оси будет совпадать с направлением оси  $Oy$ . Если окружность расположена в плоскости  $W$  или в плоскости, параллельной ей, направление малой оси будет совпадать с осью  $Ox$ .

Большую ось эллипса проводят перпендикулярно малой оси. Величина малой оси эллипса берется равной  $0,71d$ , а величина большой оси —  $1,22d$ , где  $d$  — диаметр изображаемой окружности.

При построении эллипса, изображающего окружность небольшого диаметра, достаточно построить восемь точек, принадлежащих эллипсу (рис. 250). Четыре из них являются концами осей эллипса ( $A, B, C, D$ ), а четыре других ( $N_1, N_2, N_3, N_4$ ) расположены на пря-

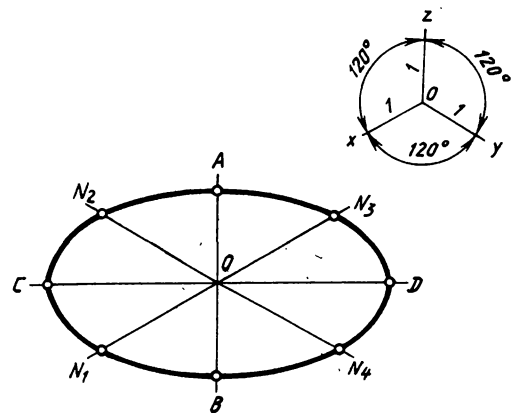


Рис. 250

мых, параллельных аксонометрическим осям, на расстоянии, равном радиусу изображаемой окружности от центра эллипса.

**Замена эллипса овалом в прямоугольной изометрической проекции** применяется для того, чтобы упростить построение.

Овал состоит из четырех сопрягающихся дуг: двух больших и двух малых. Для его построения необходимо определить четыре точки, через которые проходят большие дуги, и четыре центра дуг. На рис. 251 показаны три случая расположения овала относительно аксонометрических осей. В плоскости  $xOy$  построение доведено до конца, в двух других плоскостях построение остановлено на определенном этапе.

Построение овала начинают с проведения через центр овала (точка  $O$ ) прямых, параллельных осям  $Ox$  и  $Oz$  для плоскости  $xOz$ ;  $Oz$  и  $Oy$  для плоскости  $zOy$ ;  $Ox$  и  $Oy$  для плоскости  $xOy$ . Затем проводят малую и большую оси овала. Расположение осей овала относительно аксонометрических осей и взаимное расположение большой и малой осей остаются такими же, как у эллипса, а размеры осей определяют построениями.

Из центра  $O_1$  описывают окружность радиусом, равным радиусу изображаемой окружности. В пересечении окружности с проведенными параллельно аксонометрическим осям прямыми получают четыре точки, через которые пройдут большие дуги, а на прямой, на которой находится малая ось овала, получают точки 1 и 2, которые являются центрами больших дуг.

Радиус большой дуги  $R$  равен расстоянию от точки 1 или 2 до точек, в которых проведенная окружность пересекла прямые, параллельные аксонометрическим осям (рис. 251, плоскость  $xOz$ ).

Дальнейшее построение овала (проведение малых дуг) показано на рис. 251 в плоскости  $zOy$ . Проведя большие дуги, построили малую ось овала  $AB$ . Из центра  $O_1$  радиусом, равным половине отрезка  $AB$ , проводят дуги до пересечения с большой осью овала, получают точки 3 и 4. Эти точки будут центрами малых дуг овала.

Нахождение точек сопряжения больших и малых дуг показано на рис. 251 в плоскости  $xOy$ . Точки сопряжения находятся на прямых,

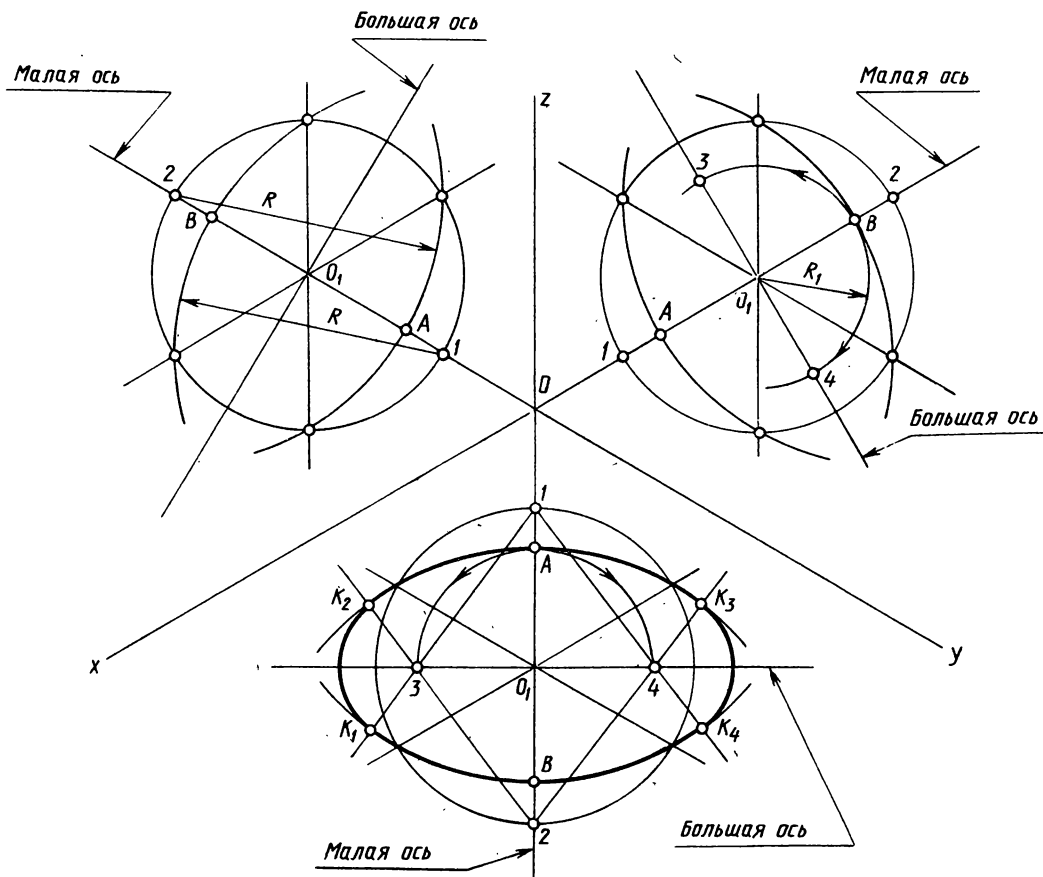


Рис. 251

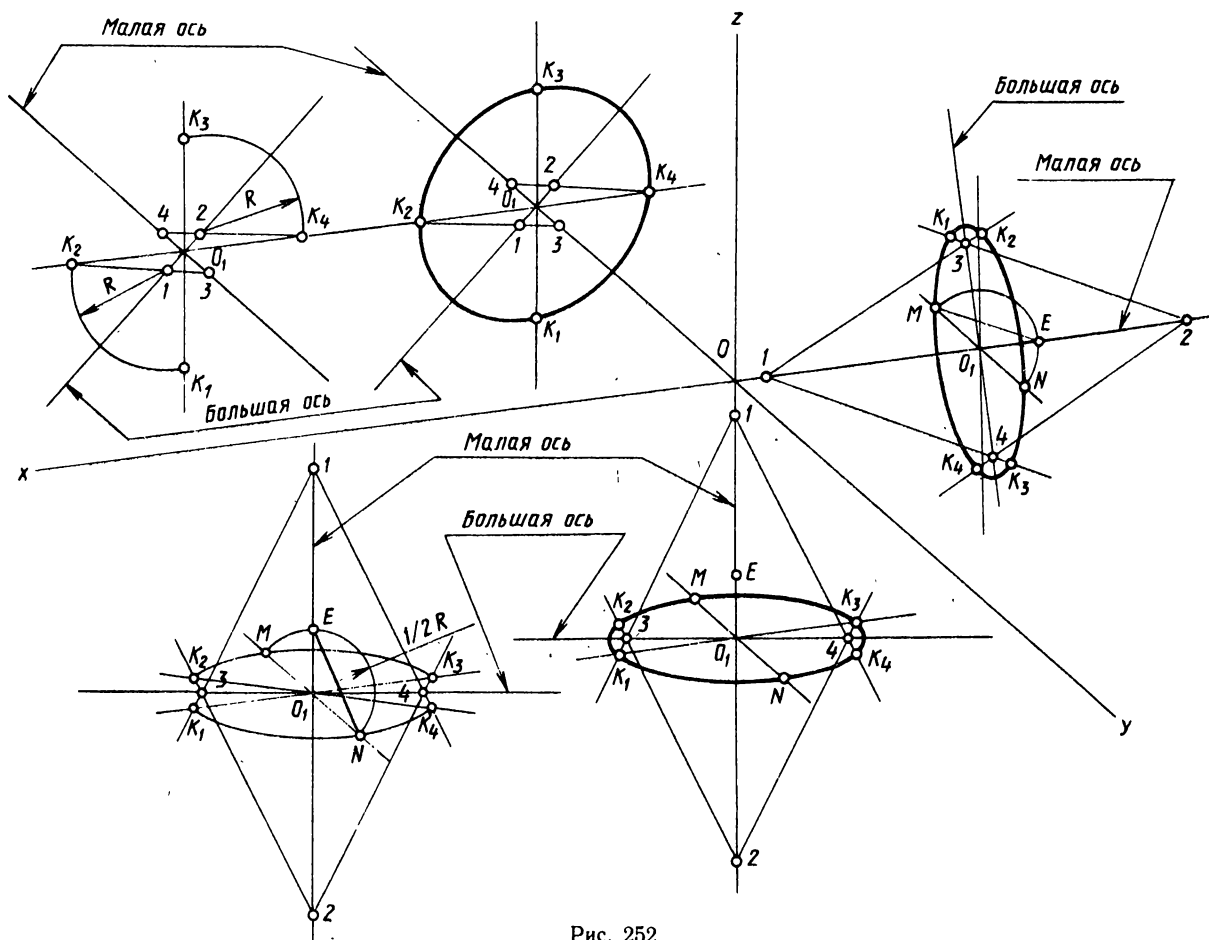


Рис. 252

проведенных через центры больших и малых дуг  $13$ ,  $14$ ,  $23$  и  $24$  в пересечении их с большими дугами. Найдя точки сопряжения  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  и  $K_4$ , обводят сначала большие, а затем малые дуги овала.

**Замена эллипса овалом в прямоугольной диметрической проекции.** В прямоугольной диметрии так же, как и в изометрии, малая ось эллипса параллельна той аксонометрической оси, которая перпендикулярна плоскости проекций, где расположена изображаемая окружность. В плоскости  $xOz$  малая ось располагается в направлении оси  $Oy$ , в плоскости  $xOy$  — в направлении оси  $Oz$ , в плоскости  $zOy$  — в направлении оси  $Ox$ . Большую ось эллипса проводят перпендикулярно малой оси. Построение начинают с центра овала (точки  $O_1$ ). Затем через точку  $O_1$  проводят малую и большую оси и прямые, параллельные аксонометрическим осям, которые определяют данную плоскость. В плоскости  $xOz$  эти прямые проводят параллельно осям  $Oz$  и  $Ox$ , в плоскости

$xOy$  — осям  $Ox$  и  $Oy$ , в плоскости  $zOy$  — осям  $Oz$  и  $Oy$ .

Рассмотрим построение овала в плоскости  $xOz$  (рис. 252). Из точки  $O_1$  на прямых, параллельных осям  $Oz$  и  $Ox$ , откладывают отрезки, равные радиусу заданной окружности, получают точки  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  и  $K_4$ , которые будут точками касания дуг овала. Затем строят центры  $1$  и  $2$  малых дуг. Для этого от точки  $O_1$  в обе стороны по большой оси откладывают отрезки, равные  $0,1D$ , где  $D$  — диаметр заданной окружности. Из центра  $1$  проводят дугу от точки  $K_1$  до точки  $K_2$ , а из центра  $2$  — от точки  $K_3$  до точки  $K_4$ . Известно, что точки касания лежат на прямых, соединяющих центры дуг. Значит, если точку касания  $K_2$  соединить прямой линией с центром  $1$  и продолжить эту прямую до пересечения ее с малой осью, то получим центр большой дуги (точка  $3$ ). Второй центр (точка  $4$ ) лежит на прямой, проведенной через точки  $K_4$  и  $2$  (рис. 252). Из центров  $3$  и  $4$  проводят большие дуги овала от точки  $K_2$  до

точки  $K_3$  и от точки  $K_1$  до точки  $K_4$ . Затем овал обводят циркулем с мягким грифелем. На рис. 252 на плоскости  $xOz$  показано слева построение центров 1, 2, 3 и 4, а справа — построенный и обведенный овал.

На рис. 252 в плоскости  $xOy$  приведено построение овала способом, предложенным преподавателем МИЭМ Ю. С. Удруговым. Из точки  $O_1$  радиусом, равным  $1/2$  радиуса изображаемой окружности, учитывая коэффициент искажения по оси  $Oy$ , описывают дугу. На прямой, параллельной оси  $Oy$ , получают отрезок  $MN$ , равный  $1/2$  диаметра изображаемой окружности, и точку  $E$  на малой оси. Для нахождения центров больших дуг овала 1 и 2 от точки  $O_1$  вверх и вниз по направлению малой оси откладывают отрезки, равные двум отрезкам  $EN$ . Для нахождения центров малых дуг овалов 3 и 4 от точки  $O_1$  влево и вправо откладывают отрезки, равные отрезку  $EN$ . Большие дуги проводят из центра 1 через точку  $N$  и из центра 2 через точку  $M$ . Точки касания  $K_1, K_2, K_3$  и  $K_4$  лежат на прямых, проведенных через точки 1 и 3, 1 и 4, 2 и 3, 2 и 4. Малые дуги проводят из точки 3 от точки  $K_1$  до точки  $K_2$  и из точки 4 — от точки  $K_3$  до точки  $K_4$ . Построение всех необходимых для вычерчивания овала точек в плоскости  $xOy$  показано на рис. 252 слева, а справа изображен построенный и обведенный овал.

В плоскости  $zOy$  построение овала выполняют так же, как и в плоскости  $xOy$ . Направление малой оси в этой плоскости перпендикулярно оси  $Ox$ .

Косоугольные аксонометрические проекции рекомендуется применять в тех случаях, когда окружности на изображаемых деталях расположены так, что все они находятся в положении, параллельном какой-либо плоскости проекций. Тогда детали располагают так, чтобы окружности изображались в аксонометрической плоскости без искажения, т. е. как окружности. В косоугольных аксонометрических проекциях изображают также детали, имеющие такое взаимное расположение граней, что при изображении в прямоугольных аксонометрических проекциях они сильно искажаются. В этих случаях подбирают такую косоугольную проекцию, которая дает изображение детали без искажения.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Как располагаются большие и малые оси эллипсов в прямоугольных аксонометрических проекциях?
2. Что называют вторичной проекцией?
3. На каких прямых линиях можно построить восемь точек, принадлежащих эллипсу, изображающему окружность, расположенную в плоскостях  $V, H$  и  $W$ , в прямоугольной изометрической проекции?
4. Чему равна величина большой и малой оси эллипса в изометрии?

### ГЛАВА VIII

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕЛА В ОРТОГОНАЛЬНЫХ И АКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЯХ. РАЗВЕРТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ

### § 29. МНОГОГРАННИКИ

Геометрическое тело, ограниченное со всех сторон плоскостями, называется многогранником. К наиболее часто используемым в практике многогранникам относятся призма и пирамида. Боковую поверхность призмы и пирамиды можно рассматривать как поверхность, образованную движением прямой линии (образующей) по замкнутой ломаной линии (многоугольнику), которая называется направляющей (рис. 253, *a* и 254, *a*).

При образовании поверхности призмы образующая скользит по направляющей, оставаясь параллельной заданному направлению (рис. 253, *b*). При образовании поверхности пирамиды образующая при движении проходит че-

рез одну и ту же точку — вершину пирамиды (рис. 254, *b*).

Если полученную призматическую поверхность пересечь двумя параллельными плоскостями так, чтобы пересеклись все грани поверхности, то фигуры сечения будут основаниями призмы, а часть поверхности, заключенная между ними, будет боковой поверхностью призмы (рис. 253, *в*).

Если на расстоянии от вершины полученного многогранного угла провести плоскость, пересекающую все грани угла, то фигура сечения будет основанием пирамиды. Отсеченная часть многогранного угла станет боковой поверхностью пирамиды (рис. 254, *в*), а вершина угла — вершиной пирамиды.

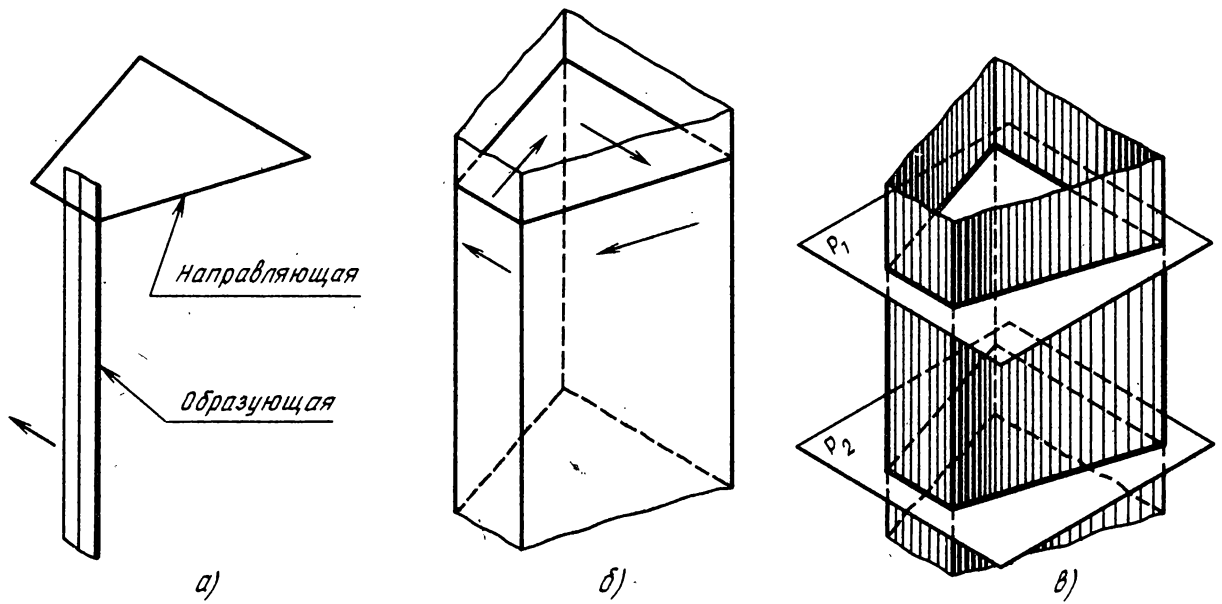


Рис. 253

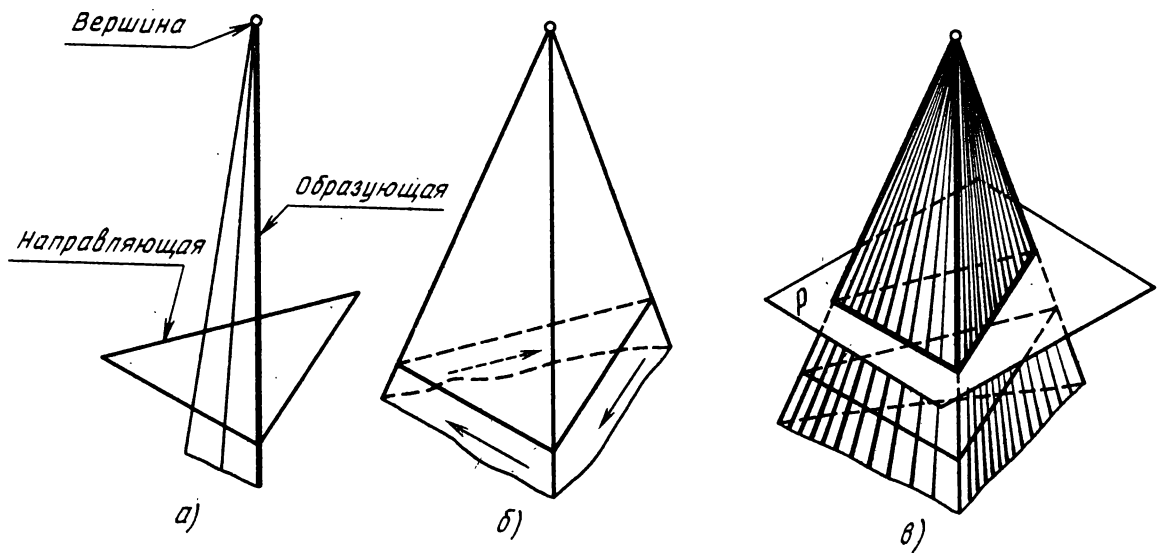


Рис. 254

### Призма

При проектировании многогранника на плоскость чертежа необходимо уметь мысленно разделять его на составные части и правильно определять порядок их изображения. При проектировании многогранника его грани проектируются как плоскости, ребра — как прямые различного положения, а вершины — как точки. У правильного полного многогранника стороны многоугольника основания равны между собой, также равны между собой и боковые ребра.

Призмой называется многогранник, основаниями которого являются многоугольники, а боковыми гранями — четырехугольники (прямоугольники или параллелограммы). Элементы призмы показаны на рис. 255, а.

Если основаниями призмы являются правильные многоугольники, то такая призма называется правильной (рис. 255, а).

Если основаниями призмы являются непра-

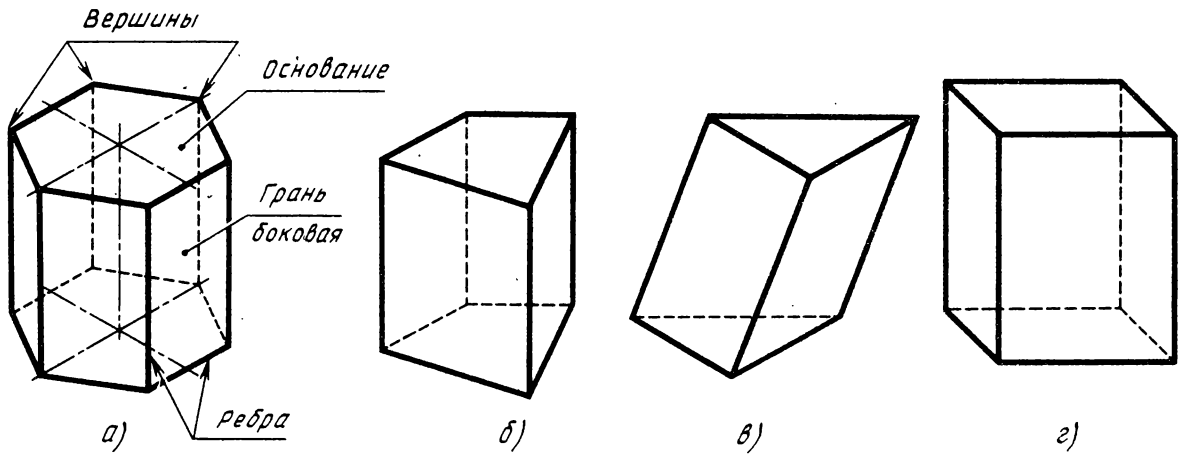


Рис. 255

вильные многоугольники, то такая призма называется *неправильной* (рис. 255, б).

Если все боковые ребра и грани призмы одинаковой высоты, а основания параллельны, то призма называется *полной*. Если боковые ребра призмы перпендикулярны к основаниям, то призма называется *прямой* (рис. 255, а, б, г). Если ребра наклонены к основанию, то призма называется *наклонной* (рис. 255, в). Если основаниями призмы являются прямоугольники, то такая призма называется *параллелепипедом* (рис. 255, г).

### Ортогональные проекции призмы

Рассмотрим на примере правильной прямой пятиугольной призмы ортогональные проекции призмы. На рис. 256 показано проецирование призмы на три плоскости проекций.

Для построения ортогонального чертежа сначала проводят оси координат  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$  (рис. 257). Затем проводят осевые и центровые линии и строят горизонтальную проекцию призмы. Для этого на плоскости  $H$  строят правильный пятиугольник. Поскольку призма прямая, ее ребра и грани располагаются перпендикулярно к основаниям, и на горизонтальной проекции два основания сольются в одно, причем видимым будет верхнее основание. Все боковые грани спроецируются в отрезки прямых линий (1 2, 2 3 и т. д.), которые, в свою очередь, совпадут со сторонами основания. Боковые ребра призмы спроецируются в точки как прямые, перпендикулярные к плоскости проекций, и совпадут с вершинами основания (точки 1, 2, 3; 4, 5). Итак, горизонтальная проекция данной призмы изобразилась в виде правильного пятиугольника, в который спрое-

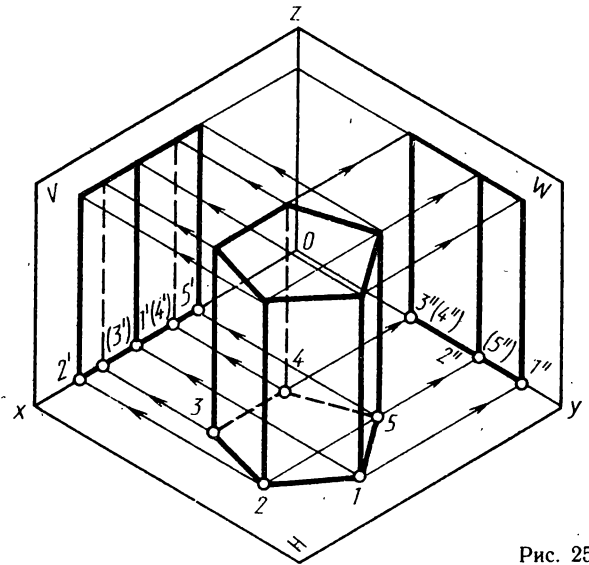


Рис. 256

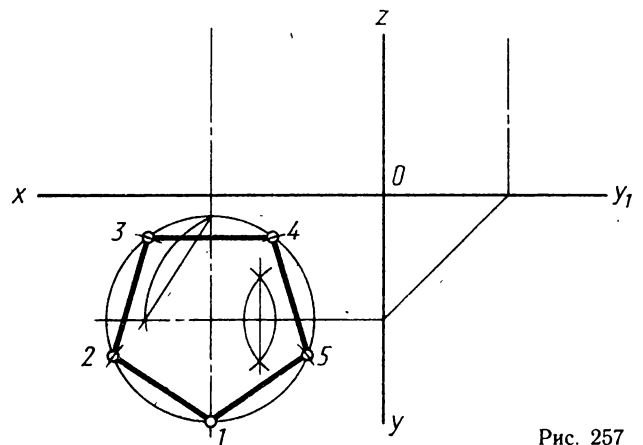


Рис. 257

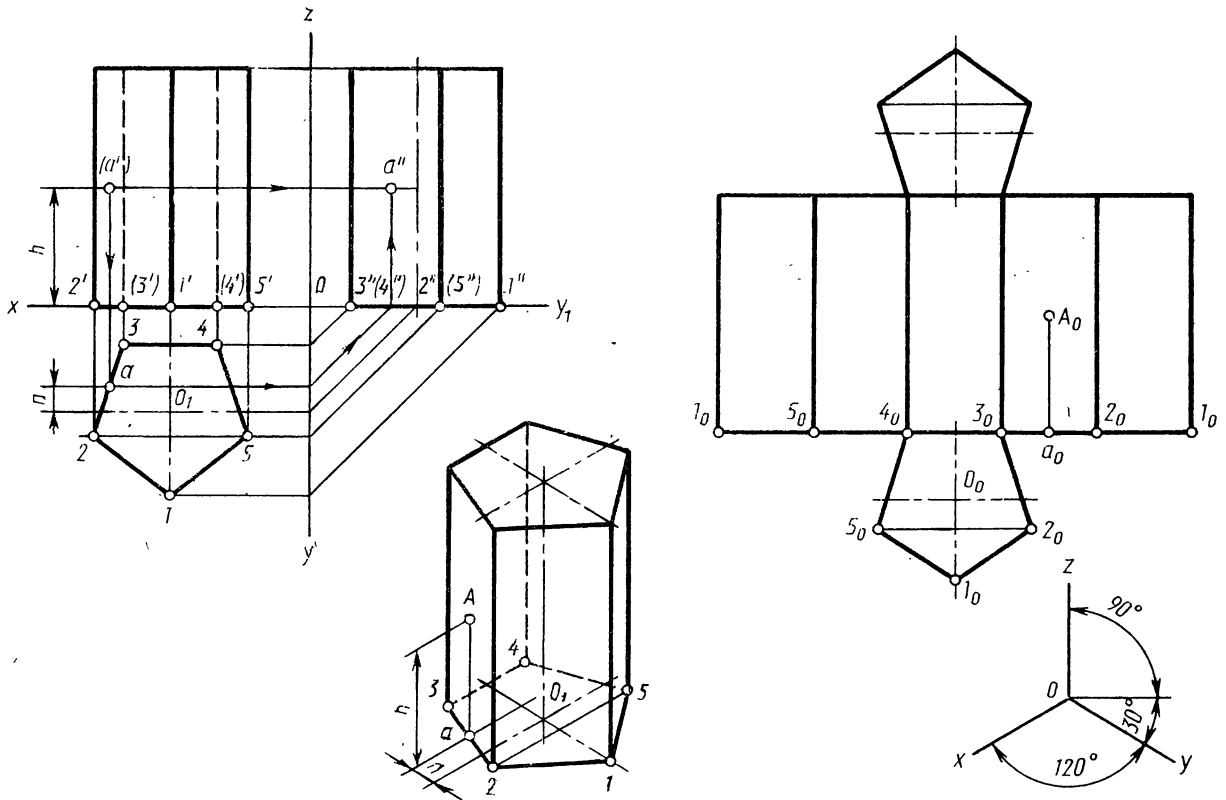


Рис. 258

цировались не только два основания, но и боковые грани и ребра. Так как основания призмы параллельны плоскости  $H$ , то их горизонтальная проекция изобразилась в натуральную величину.

Для построения фронтальной проекции призмы из горизонтальной проекции каждой вершины основания проводят линии проекционной связи параллельно оси  $Oy$  до оси  $Ox$  (рис. 258). Таким образом, с горизонтальной проекции перенесены на фронтальную расстояния между вершинами  $1...5$ , измеренные параллельно  $Ox$ . Из этих точек ( $1''...5''$ ) параллельно оси  $Oz$  проводят направления пяти ребер боковой поверхности и на них откладывают высоту призмы. Так как верхнее основание призмы параллельно плоскости  $H$ , а нижнее расположено в плоскости  $H$ , то на фронтальную плоскость  $V$  эти основания спроецируются как отрезки, один из которых будет лежать на оси  $Ox$  (нижнее основание), а второй будет находиться на расстоянии от оси  $Ox$ , равном высоте призмы (верхнее основание). Боковые грани призмы спроецируются в виде прямоугольников. Фронтальная проекция грани, параллельной плоскости  $V$ , будет проецироваться в натуральную величину. Остальные грани

проецируются с искажением, так как расположены не параллельно плоскости  $V$ .

На фронтальной плоскости проекций видными гранями будут грани с основаниями  $1\ 2$  и  $1\ 5$ , а остальные будут невидимыми.

Ребра, проведенные из точек  $1, 2$  и  $5$ , будут видимыми, а из точек  $3$  и  $4$  — невидимыми; поэтому их проекции на плоскости  $V$  изображают штриховой линией (рис. 258).

Для построения профильной проекции призмы надо провести линии проекционной связи от точек  $1...5$  горизонтальной проекции и высоту призмы перенести с фронтальной проекции. На профильной плоскости проекций грани с основаниями  $1\ 2$  и  $2\ 3$  будут видимыми, а с основаниями  $1\ 5$  и  $5\ 4$  — невидимыми. Грань с основанием  $3\ 4$  спроецируется в прямую линию, так как расположена перпендикулярно плоскости  $W$ . Профильные проекции ребер, проведенные из точек  $3''$  и  $4''$ , совпадут. Таким образом, в одну прямую линию спроецируются два ребра и грань, расположенная между ними. На профильную плоскость проекций все грани призмы проецируются с искажением, так как ни одна грань не параллельна плоскости  $W$ .

## Развертка поверхности призмы

При построении развертки поверхности этого многогранника все его грани располагают в одной плоскости. В результате построения развертки получают плоскую фигуру, в которой все грани многогранника сохраняют свою форму, натуральные размеры и последовательность расположения.

Рассмотрим построение развертки поверхности пятиугольной призмы (рис. 258).

Для построения развертки боковой поверхности проводят горизонтальную прямую линию, на которой откладывают пять отрезков, каждый из которых равен ширине грани или стороне пятиугольного основания. Можно взять величину этого отрезка с ортогонального чертежа, где сторона основания проецируется без искажения. Получают точки  $1_0 \dots 5_0$ . Затем из этих точек вверх проводят перпендикуляры (ребра боковой поверхности призмы), на которых откладывают высоту призмы, взятую с фронтальной или профильной проекции.

Далее строят два основания. Для этого через середину стороны боковой грани  $3_0 4_0$  (или любой другой грани) проводят центровую линию, на которую с горизонтальной проекции переносят расстояние от стороны  $3 4$  до центра  $O_1$  и вершины  $1$  основания. Строят точку  $O_0$  и проводят вторую центровую линию основания. Для нахождения точек  $2_0$  и  $5_0$  на горизонтальной проекции точки  $2$  и  $5$  соединяют прямой линией, измеряют расстояние от точки пересечения этой линии с центральной до стороны  $3 4$  и переносят это расстояние на соответствующую центровую линию на развертке, проводят параллельно стороне  $3_0 4_0$  прямую, на которую с горизонтальной проекции переносят расстояние от осевой линии до точек  $2$  и  $5$ . Полученные точки  $1_0 \dots 5_0$  соединяют отрезками, получают основание. Таким же образом строят второе основание.

### Построение призмы в аксонометрии

Рассмотрим построение призмы в изометрии (рис. 258). Построение начинают с проведения аксонометрических осей, на которых строят нижнее основание. Для упрощения построения начало координат (точку  $O$ ) располагают в центре основания призмы (точка  $O_1$ ). Высота призмы совпадает с осью  $Oz$ , а центровые линии — с осями  $Ox$  и  $Oy$ . Сторона  $3 4$  на горизонтальной плоскости проекций параллельна оси  $Ox$ . В изометрии это сохранится. Сторона  $3 4$  будет находиться от точки  $O_1$  на расстоянии, равном расстоянию от точки  $O_1$  до стороны  $3 4$  на горизонтальной плоскости проекций,

в изометрии это расстояние откладывают по оси  $Oy$ . Затем на плоскости  $H$  по центральной линии измеряют расстояние от точки  $O_1$  прямой, соединяющей вершины  $2$  и  $5$ , и соответственно переносят его в изометрию. Через отложенную на центральной линии точку проводят прямую параллельно оси  $Ox$  и на ней откладывают расстояния между вершинами  $2$  и  $5$ , взятые с горизонтальной проекции. Вершина  $1$  основания лежит на центральной линии, параллельной оси  $Oy$ . В изометрии от точки  $O_1$  по соответствующей центральной линии откладывают расстояние до вершины  $1$ , взятое с горизонтальной проекции. Полученные точки (вершины углов) соединяют отрезками. Для построения боковых граней призмы из каждой вершины нижнего основания параллельно оси  $Oz$  проводят прямые, на которых откладывают высоту призмы, взятую с фронтальной или профильной проекций. Полученные точки соединяют отрезками и получают верхнее основание.

### Построение точки, лежащей на поверхности призмы

Точка, лежащая на боковой грани призмы, задана одной проекцией на ортогональном чертеже, требуется построить две другие ее проекции. Сначала строят проекцию точки на той плоскости проекций, где грань, на которой лежит заданная точка, проецируется в линию. Рассмотрим это на примере точки  $A$  (рис. 258), которая задана проекцией  $a'$ . Так как на плоскости  $V$  грань, на которой лежит точка  $A$ , невидима, обозначение точки  $a'$  взято в скобки. На плоскость  $H$  эта грань проецируется в отрезок, совпадающий со стороной основания  $2 3$ . Из точки  $a'$  проводят вниз линию проекционной связи до пересечения с отрезком  $2 3$ , получают точку  $a$  — горизонтальную проекцию точки  $A$ .

Для нахождения профильной проекции точки  $A$  проводят линии проекционной связи от горизонтальной и фронтальной проекций (точки  $a$  и  $a'$ ) до их взаимного пересечения на плоскости  $W$ , получают точку  $a''$ , которая и будет искомой профильной проекцией точки  $A$ .

Для нахождения точки  $A$  в изометрии построение начинают с нахождения вторичной горизонтальной проекции, т. е. строят вторичную проекцию на стороне  $2 3$ . На плоскости  $H$  через горизонтальную проекцию  $a$  точки  $A$  параллельно оси  $Ox$  проводят дополнительную прямую линию, чтобы определить расстояние от точки  $a$  до центральной линии основания, в данном случае оно равно  $l$ . В изометрии параллельно оси  $Ox$  проводят дополнительную прямую на

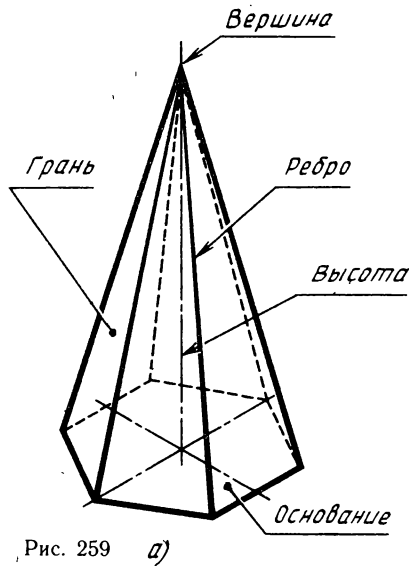
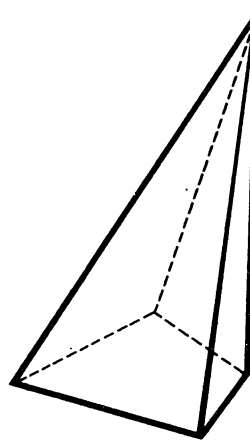
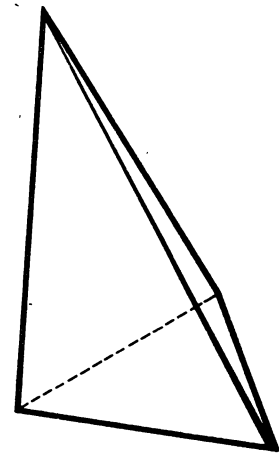


Рис. 259 а)



б)



в)

*Ортогональные проекции правильной полной пирамиды*

расстоянии  $n$  от центральной линии, параллельной оси  $Ox$ . В пересечении этой линии и отрезка  $23$  получают точку  $a$ . Так как точка  $A$  лежит на какой-то высоте от нижнего основания, то от точки  $a$  параллельно оси  $Oz$  проводят прямую линию и на ней от точки  $a$  откладывают отрезок  $h$ , взятый с фронтальной (или профильной) проекции. Полученная точка и будет искомой точкой  $A$ .

Чтобы построить точку  $A$  на развертке, на горизонтальной проекции измеряют расстояние от точки  $2$  до точки  $a$  и откладывают его на развертке от точки  $2_0$  на стороне  $2_0 3_0$ , находят точку  $a_0$ . От точки  $a_0$  вверх, параллельно ребрам, проводят прямую, на которой, отложив расстояние  $h$ , взятое с фронтальной (или профильной) проекции, получают точку  $A_0$ .

**Пирамида**

Пирамидой называется многогранник, в основании которого лежит многоугольник, а боковые грани являются треугольниками, имеющими общую вершину.

Элементы пирамиды показаны на рис. 259, а. Если все боковые грани имеют форму треугольников с одной общей вершиной, то такая пирамида называется полной пирамидой.

Если в основании пирамиды лежит правильный многоугольник и ее высота проходит через центр основания, то такая пирамида называется правильной пирамидой (рис. 259, а).

Во всех остальных случаях пирамида называется неправильной пирамидой (рис. 259, б и в).

На рис. 260 показано проецирование пирамиды. Порядок выполнения ортогонального чертежа такой же, как и чертежа призмы.

Сначала проводят оси координат, осевые и центровые линии, а потом на центровых линиях строят горизонтальную проекцию пирамиды, начиная построение с многоугольника, лежащего в основании (рис. 261). Основание пирамиды расположено в плоскости  $H$ . Все боковые грани спроецируются в треугольники. Горизонтальная проекция  $s$  вершины  $S$  совпадает с центром основания — точкой  $O_1$ . Таким образом, на горизонтальной проекции пирамиды боковые грани будут видимыми, но спроецируются они с искажением, так как располагаются наклонно относительно плоскости  $H$ . Плоскость основания будет невидимой, так как закрыта боковыми гранями пирамиды.

При построении фронтальной проекции пирамиды ее основание как плоскость, перпендикулярная к плоскости  $V$ , спроецируется в отрезок, который совпадает с осью  $Ox$ , так как основание лежит в плоскости  $H$ . Боковые грани пирамиды проецируются в треугольники с искажением, так как расположены наклонно относительно плоскости  $V$ . Грани  $1S2$  и  $1S3$  будут видимыми, а грань  $2S3$  — невидимой.

На профильную плоскость проекций основание пирамиды тоже спроецируется в отрезок, лежащий на оси  $Oy$ . Проекция боковых граней  $1S2$  и  $1S3$  на плоскости  $W$  совпадают, а грань  $2S3$  проецируется в прямую линию, так как она расположена перпендикулярно плоскости  $W$ . Видимой гранью боковой поверхности будет грань  $1S2$ .

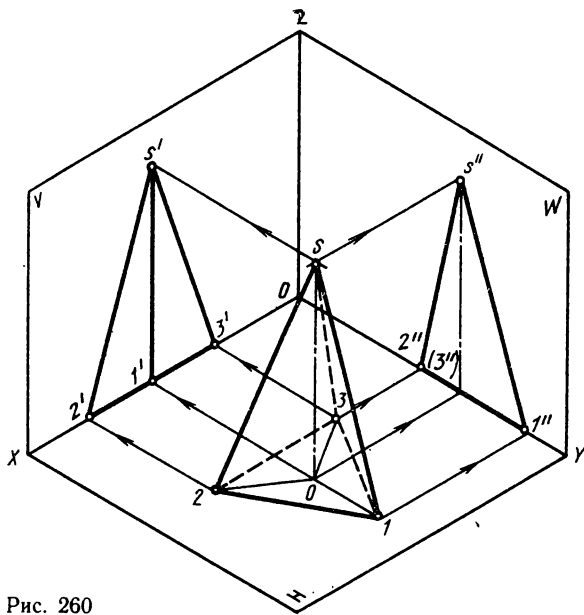


Рис. 260

*Построение правильной полной пирамиды в аксонометрии*

Построение пирамиды в изометрии (рис. 261) начинают с проведения аксонометрических осей  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$ . Высоту пирамиды располагают на

оси  $Oz$ . Вторичная проекция вершины будет находиться в точке  $O_1$ . От точки  $O_1$  по оси  $Oy$  откладывают расстояние до вершины  $1$  основания и до середины стороны основания  $23$ , взятое с горизонтальной проекции пирамиды, где оно измеряется от горизонтальной проекции  $s$  вершины  $S$ . Через середину стороны  $23$  проводят прямую линию параллельно оси  $Ox$  и на ней в обе стороны откладывают отрезки, равные половине стороны основания. Этот размер берется с горизонтальной проекции основания. От точки  $O_1$  по оси  $Oz$  откладывают высоту пирамиды, которую берут с фронтальной или профильной проекции, где она изображается без искажения, так как параллельна оси  $Oz$ . Видимой боковой гранью пирамиды будет ближняя грань  $1S2$ . Две другие грани боковой поверхности и основание невидимы.

*Развертка поверхности правильной полной пирамиды*

Так как боковые ребра правильной пирамиды равны между собой и все грани равнобедренные треугольники, то развертку боковой поверхности пирамиды начинают строить с проведения дуги радиусом, равным размеру ребра боковой поверхности пирамиды (рис. 261). На фронтальную и горизонтальную плоскости про-

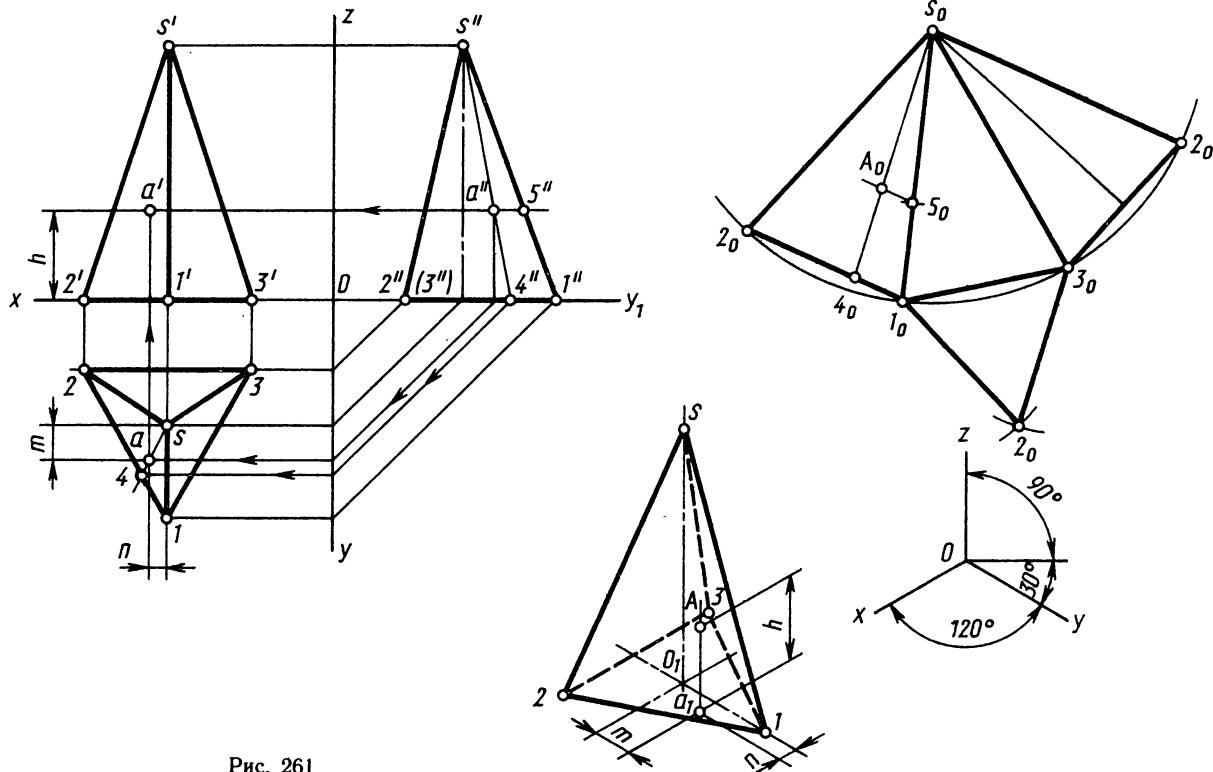


Рис. 261

екций ребра пирамиды проецируются с искажением, так как расположены наклонно относительно плоскостей  $H$  и  $V$ . На профильной плоскости проекций ребра  $S_2$  и  $S_3$  тоже проецируются с искажением, так как расположены наклонно к плоскости  $W$ , а ребро  $S_1$  проецируется в натуральную величину, потому что располагается параллельно плоскости  $W$ . Радиусом, равным длине ребра  $S_1$  ( $s''1''$ ), описывают дугу. На ней от произвольно выбранной точки откладывают три хорды, равные стороне основания. Размер стороны основания берут с горизонтальной проекции пирамиды. Затем для построения основания на развертке из точек  $1_0$  и  $3_0$  радиусом, равным стороне основания, проводят дуги до взаимного пересечения в точке  $2_0$ .

#### *Построение точки, лежащей на поверхности пирамиды*

Точка  $A$  лежит на боковой поверхности пирамиды, задана ее профильная проекция (рис. 261). Требуется построить фронтальную и горизонтальную проекции этой точки, построить ее на изометрическом изображении пирамиды и на развертке.

Поскольку боковая грань, на которой лежит точка  $A$ , располагается наклонно ко всем трем плоскостям проекций, то ни на одну из этих плоскостей она не спроецируется в линию, как это было у правильной пятиугольной призмы. Построить две проекции заданной точки можно только с помощью дополнительных построений. Известно, что точка принадлежит плоскости, если она принадлежит прямой, лежащей в данной плоскости. Поэтому в плоскости  $1S_2$  проводят прямую через точку  $A$ . Профильную проекцию этой прямой можно провести в любом направлении через проекцию  $a''$  точки  $A$ . На эюре эта проекция проведена через проекцию  $s''$  вершины  $S$  до пересечения со стороной основания  $1''2''$  в точке  $4''$ . Для построения проекций точки  $A$  нужно построить проекции дополнительной прямой  $S_4$  на плоскостях  $V$  и  $H$ . Для построения ее горизонтальной проекции от точек  $4''$  и  $a''$  с профильной проекции на горизонтальную проводят линии проекционной связи: из точки  $4''$  — до пересечения со стороной  $1_2$  в точке  $4$ ; из точки  $a''$  — до пересечения с построенной прямой  $s_4$  в точке  $a$ , которая будет горизонтальной проекцией точки  $A$ . Имея две проекции точки  $A$ , фронтальную проекцию  $a'$  точки  $A$  находят с помощью линий проекционной связи.

При построении точки  $A$  в изометрической проекции необходимо сначала построить на

основании пирамиды ее вторичную горизонтальную проекцию (рис. 261). Для этого на плоскости  $H$  определяются координаты  $X_A = n$  и  $Y_A = m$  относительно горизонтальной проекции  $s$  вершины  $S$ . Эти размеры ( $n$  и  $m$ ) откладывают в изометрии от точки  $O_1$  (рис. 261), получают вторичную горизонтальную проекцию  $a_1$  точки  $A$ .

Через построенную точку  $a_1$  параллельно оси  $Oz$  проводят линию, на которой откладывают расстояние  $h$ , взятое с фронтальной или профильной проекции. Полученная точка  $A$  и будет изображением точки  $A$  в изометрии.

Для построения точки  $A$  на развертке необходимо сначала построить на грани  $1_0S_02_0$  дополнительную прямую  $S_04_0$  (рис. 261). Для этого на горизонтальной проекции измеряют расстояние от точки  $1$  до точки  $4$  и откладывают это расстояние на развертке от точки  $1_0$ . Полученную точку  $4_0$  соединяют с вершиной  $S_0$  прямой линией. Это будет вспомогательная прямая, лежащая в плоскости боковой грани  $1_0S_02_0$ . Затем на профильной проекции через точку  $a''$  проводят проекцию прямой, параллельной стороне основания  $1_2$ , до пересечения с ребром в точке  $5''$ . Эту точку строят на развертке. Для этого на профильной проекции измеряют расстояние от точки  $1''$  до точки  $5''$  и соответственно переносят на развертку. Далее через точку  $5_0$  параллельно стороне основания  $1_02_0$  проводят дополнительную прямую до пересечения с прямой  $4_0S_0$  в точке  $A_0$ . Это и будет искомая точка.

#### *Ортогональные проекции неправильной полной пирамиды*

На рис. 262 изображена неправильная полная треугольная пирамида. В основании пирамиды лежит неправильный треугольник, расположенный в плоскости  $H$ . Вершина  $S$  пирамиды расположена таким образом, что ее горизонтальная проекция находится вне горизонтальной проекции основания. На плоскости  $H$  боковые грани  $2S_3$  и  $1S_3$  будут видимыми, а грань  $1S_2$  будет невидимой. На плоскости  $V$  боковые грани  $1S_3$  и  $3S_2$  будут видимыми, а грань  $1S_2$  будет невидимой. Основание пирамиды проецируется в отрезок, лежащий на оси  $Ox$ , так как оно расположено в плоскости  $H$ .

На профильной плоскости проекций основание пирамиды спроецируется в отрезок, совпавший с осью  $Oy$ . Боковые грани  $1S_2$  и  $1S_3$  будут видимыми, а грань  $2S_3$  будет невидимой.

*Развертка поверхности неправильной полной пирамиды*

Развертка поверхности неправильной пирамиды будет состоять из неправильных треугольников боковой поверхности и неправильного треугольника, лежащего в основании, совмещенных в одну плоскость, причем их взаимное расположение на развертке должно соответствовать взаимному расположению на ортогональных проекциях. Так как у неправильной пирамиды стороны основания разные и ребра боковой поверхности не равны между собой, сначала находят натуральную величину всех боковых ребер (рис. 262). Для этого используют один из методов определения натуральной величины отрезка прямой общего положения. В данном случае использован метод вращения. Боковые ребра вращают вокруг оси, проведенной через вершину пирамиды  $S$  перпендикулярно плоскости  $H$ . На чертеже фронтальная проекция оси вращения  $i'$  проведена через фронтальную проекцию вершины  $s'$  перпендикулярно оси  $Ox$ . Горизонтальные проекции ребер  $s1$ ,  $s2$  и  $s3$  поворачивают до положения, параллельного оси  $Ox$ . При этом горизонтальные проекции точек  $1$ ,  $2$  и  $3$  займут

положение  $1_1$ ,  $2_1$  и  $3_1$ . От этих точек проводят линии проекционной связи на фронтальную плоскость проекций для получения их фронтальных проекций  $1'_1$ ,  $2'_1$  и  $3'_1$ . Затем фронтальные проекции точек соединяют с фронтальной проекцией вершины  $S$  прямыми линиями, которые и будут натуральной величиной ребер ( $1'_1s'$ ,  $2'_1s'$  и  $3'_1s'$ ).

Стороны основания  $12$ ,  $23$  и  $13$  спроецировались в натуральную величину на горизонтальную плоскость проекций. Зная натуральные величины всех элементов пирамиды, приступают к построению развертки ее поверхности. При построении развертки боковой поверхности используют способ построения треугольников по трем заданным сторонам. Построение можно начать с любой грани боковой поверхности, например с грани  $1S3$  (рис. 262). Сначала на свободном месте чертежа проводят произвольную прямую и на ней откладывают натуральную величину стороны основания  $1_03_0$ , взятую с горизонтальной проекции. Затем из точки  $1_0$  радиусом, равным натуральной величине ребра  $S1$  ( $s'1'_1$ ), а из точки  $3_0$  радиусом, равным натуральной величине ребра  $S3$  ( $s'3'_1$ ), делают засечки до пересечения в точке  $S_0$ , которая будет вершиной развертки боковой поверхности пирамиды. Далее строят боковую

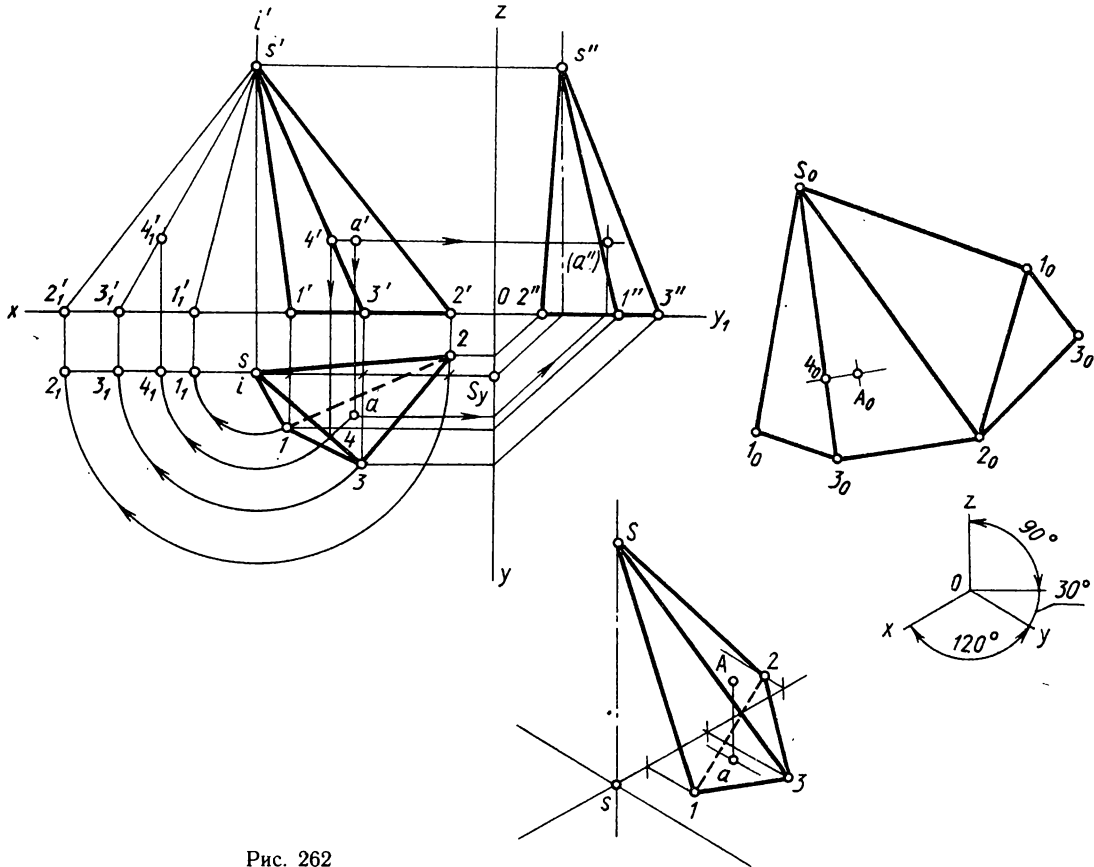


Рис. 262

грань  $3S2$ . Для этого на фронтальной проекции циркулем измеряют натуральную величину ребра  $S2$  ( $s'2'_1$ ) и на развертке этим радиусом из вершины  $S_0$ , а из точки  $3_0$  радиусом  $32$ , взятым с горизонтальной проекции, делают засечки до пересечения в точке  $2_0$ . Соединив точку  $2_0$  прямой с вершиной  $S_0$ , получим вторую грань  $3_0S_02_0$  боковой поверхности пирамиды. Третья грань и основание строятся тем же способом.

### *Построение полной неправильной пирамиды в аксонометрии*

На рис. 262 пирамида построена в прямоугольной изометрической проекции. Построение следует начинать с ее основания. Поскольку в основании лежит неправильный треугольник, стороны которого не параллельны ни одной из осей координат, то сначала определяют координаты вершин основания ( $1, 2, 3$ ) относительно горизонтальной проекции  $s$  вершины  $S$ . Для этого на линию проекционной связи, идущую через горизонтальную проекцию  $s$  параллельно оси  $Ox$ , проводят прямую из вершины  $2$  параллельно оси  $Oy$  (рис. 262). Через вершины  $1$  и  $3$  проводят прямые не надо, так как здесь имеются линии проекционной связи, идущие от этих точек параллельно оси  $Oy$ . Таким образом, координаты горизонтальных проекций вершин получились заданными графически.

На свободном месте чертежа проводят две прямые, параллельные аксонометрическим осям  $Ox$  и  $Oy$  прямоугольной изометрической проекции, и в точке их пересечения задают вторичную горизонтальную проекцию  $s$  вершины  $S$ . Сама вершина находится на прямой, параллельной оси  $Oz$ , на которой откладывают высоту пирамиды, взятую с фронтальной или профильной проекции. Далее строят основание пирамиды. Прямую, проведенную на ортогональном чертеже в плоскости  $H$  через горизонтальную проекцию  $s$  вершины  $S$  параллельно оси  $Ox$ , принимают за базовую линию. Расстояния, измеренные по этой линии от точки  $s$  до точек пересечения с линиями проекционной связи, идущими параллельно оси  $Oy$  через точки  $1, 2$  и  $3$ , переносят в аксонометрию. Там их откладывают от вторичной горизонтальной проекции вершины  $s$  на линии, проходящей параллельно аксонометрической оси  $Ox$ . Из полученных точек проводят прямые, параллельные аксонометрической оси  $Oy$ , и на них откладывают расстояния до точек  $1, 2$  и  $3$ , взятые с горизонтальной проекции. Построенные вершины основания соединяют между со-

бой и с вершиной  $S$  прямыми. Основание пирамиды и боковая грань  $1S2$  в изометрии будут невидимыми.

### *Построение точки, лежащей на боковой поверхности пирамиды*

Построение ортогональных проекций точки, лежащей на боковой поверхности неправильной пирамиды, может быть выполнено так же, как и на правильной пирамиде.

На рис. 262 точка  $A$  лежит на боковой грани пирамиды  $3S2$  и задана ее фронтальной проекцией  $a'$ . Требуется построить профильную и горизонтальную проекции этой точки, построить ее в изометрии и на развертке.

При построении проекции точки  $A$  в ортогональных проекциях нужно помнить о том, что все боковые грани, и в том числе грань  $3S2$ , на которой лежит точка  $A$ , проецируются на все плоскости проекций как треугольники. Для построения горизонтальной проекции точки в плоскости грани  $3S2$  проводят вспомогательную прямую (горизонталь). Ее фронтальную проекцию проводят через точку  $a'$  параллельно основанию до пересечения с фронтальной проекцией ребра  $s'3'$  в точке  $4'$ . Затем эту вспомогательную прямую строят на горизонтальной проекции, для чего сначала находят горизонтальную проекцию точки  $4$ , а потом через эту точку параллельно горизонтальной проекции стороны основания  $32$  проводят горизонтальную проекцию вспомогательной прямой, на которую опускают линию проекционной связи от фронтальной проекции  $a'$  точки  $A$ . Профильную проекцию  $a''$  точки  $A$  можно построить, используя для этого только линии проекционной связи.

Чтобы построить точку  $A$  на развертке, необходимо сначала построить точку  $4_0$  на ребре  $S_03_0$  развертки боковой поверхности (рис. 262). Для этого строят точку  $4'_1$  на отрезке  $s'3'_1$ , который является натуральной величиной ребра  $3S$ . Затем измеряют расстояние от  $s'$  до точки  $4'_1$  и переносят его на соответствующее ребро развертки, где через точку  $4_0$  параллельно стороне  $3_02_0$  проводят вспомогательную прямую, на которой от точки  $4_0$  откладывают расстояние до точки  $A_0$ , взятое с горизонтальной проекции, так как на плоскость  $H$  отрезок  $4a$  проецируется в натуральную величину.

Построение точки  $A$  в изометрической проекции начинают с построения ее вторичной проекции (рис. 262). Затем от вторичной гори-

горизонтальной проекции  $a$  точки  $A$  параллельно оси  $Oz$  проводят прямую, на которой откладывают расстояние от основания пирамиды до точки  $A$ , взятое с фронтальной или профильной проекции.

### § 30. ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ

Кривые поверхности образуются в результате перемещения подвижной линии по неподвижной кривой. Линия, по которой происходит перемещение, называется направляющей. Линия, которая перемещается, называется образующей. Как направляющая, так и образующая могут иметь различную форму. В зависимости от формы образующей и закона ее перемещения получают поверхности различной формы.

На рис. 263, *a* и *б* показано образование цилиндрической поверхности. Направляющая в этом случае кривая линия, по которой параллельно самой себе перемещается прямая линия (образующая). На рис. 263, *в* показано образование конической поверхности. Прямая линия (образующая) движется по неподвижной кривой линии (направляющей) так, что все время проходит через неподвижную точку.

Если в качестве направляющей взять окружность и перемещать по ней параллельно самой себе образующую прямую линию, расположенную перпендикулярно плоскости, в которой лежит направляющая, то каждая точка образующей опишет в пространстве окружность (рис.

264, *a*; точки  $A$  и  $B$ ). Таких окружностей, описанных точками, которые лежат на образующей, множество. Все они имеют одинаковый радиус и располагаются параллельно направляющей. Если их центры соединить линией, то получится прямая  $i$  — ось, вокруг которой и параллельно которой движется образующая.

При образовании конической поверхности (рис. 264, *б*) направляющая является окружностью, а вершина конуса  $S$  лежит на перпендикуляре, проведенном через центр этой окружности. Диаметры окружностей, которые описывают точки образующей при движении по направляющей, будут уменьшаться по мере приближения их к точке  $S$ . Центры же этих окружностей будут лежать на прямой  $i$ , являющейся осью, вокруг которой вращается образующая. В этом случае перемещение образующей можно рассматривать как вращение вокруг неподвижной оси.

Поверхности, которые образуются вращением образующей вокруг неподвижной оси, называются поверхностями вращения. При образовании поверхностей вращения образующая может быть не только прямой линией (рис. 265, *a*).

Окружности, которые описывают точки, лежащие на криволинейной образующей, в плоскостях, перпендикулярных оси вращения, называются параллелями. Параллель наибольшего диаметра называется экватором, а наименьшего диаметра — горлом поверхности вращения (рис. 265, *б*).

Если через ось  $i$  вращения поверхности

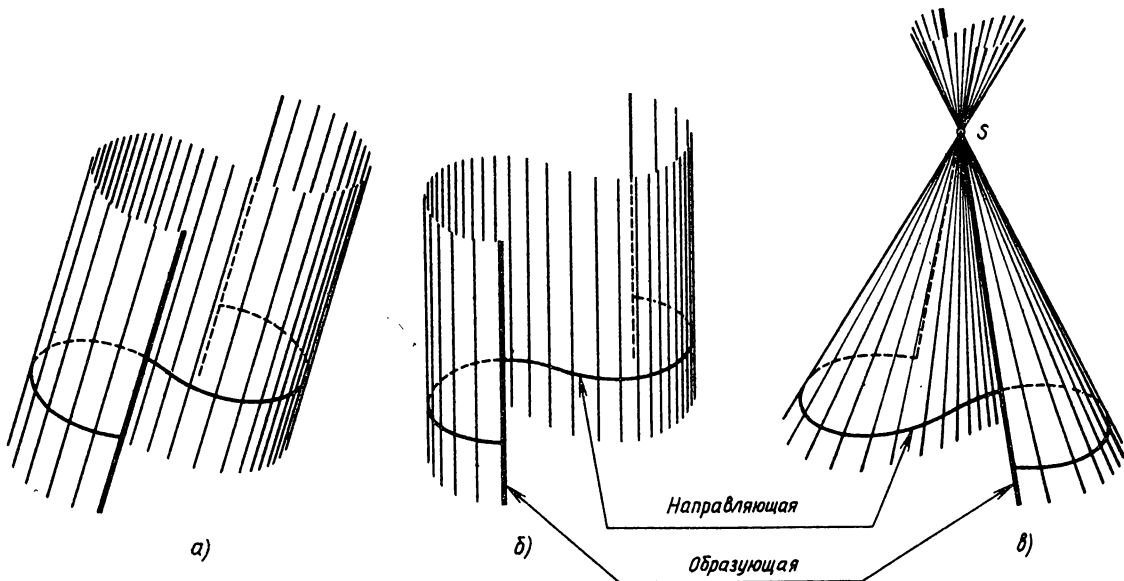


Рис. 263

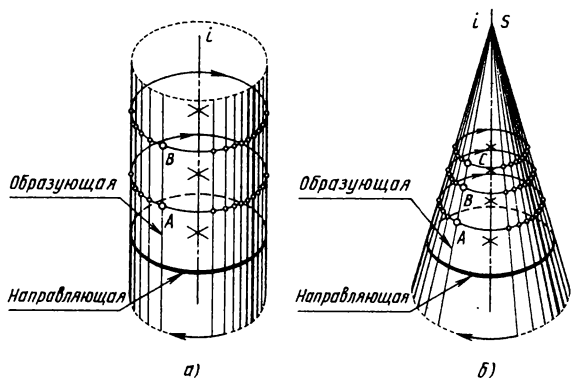


Рис. 264

провести плоскость, то она пересечет эту поверхность по образующей — меридиану. Меридиан, лежащий в плоскости параллельной фронтальной плоскости проекций, называется фронтальным меридианом, а меридиан, лежащий в плоскости параллельной профильной плоскости проекций — профильным меридианом (рис. 265, б).

Если провести плоскости перпендикулярно оси поверхности вращения, то они пересекут ее по параллелям.

Меридианы и параллели часто используются в построениях.

Поверхности вращения делятся на развертываемые и неразвертываемые. К развертываемым поверхностям относятся такие поверх-

ности вращения, как цилиндр и конус, где образующие — прямые линии. К неразвертываемым поверхностям относятся поверхности вращения, образованные кривыми линиями, например тор и шар.

Неразвертываемую поверхность вращения можно развернуть только приближенно, разбив ее предварительно на несколько небольших участков, которые заменяют участками развертываемых поверхностей.

В технике широко используются тела вращения — цилиндр, конус, шар, тор.

Построение ортогональных проекций тел вращения выполняют в следующей последовательности: 1 — проведение осей координат; 2 — проведение осевых и центровых линий; 3 — построение горизонтальной проекции; 4 — построение фронтальной и профильной проекций.

### Цилиндр

Цилиндр — геометрическое тело, ограниченное цилиндрической поверхностью и двумя плоскостями.

Цилиндрическая поверхность вращения образуется при вращении прямой линии (образующей) вокруг неподвижной оси, параллельной образующей (рис. 266, а и б).

Если часть цилиндрической поверхности отсечь двумя перпендикулярными к оси вращения плоскостями (рис. 266, в), то отсеченная часть цилиндрической поверхности будет боковой

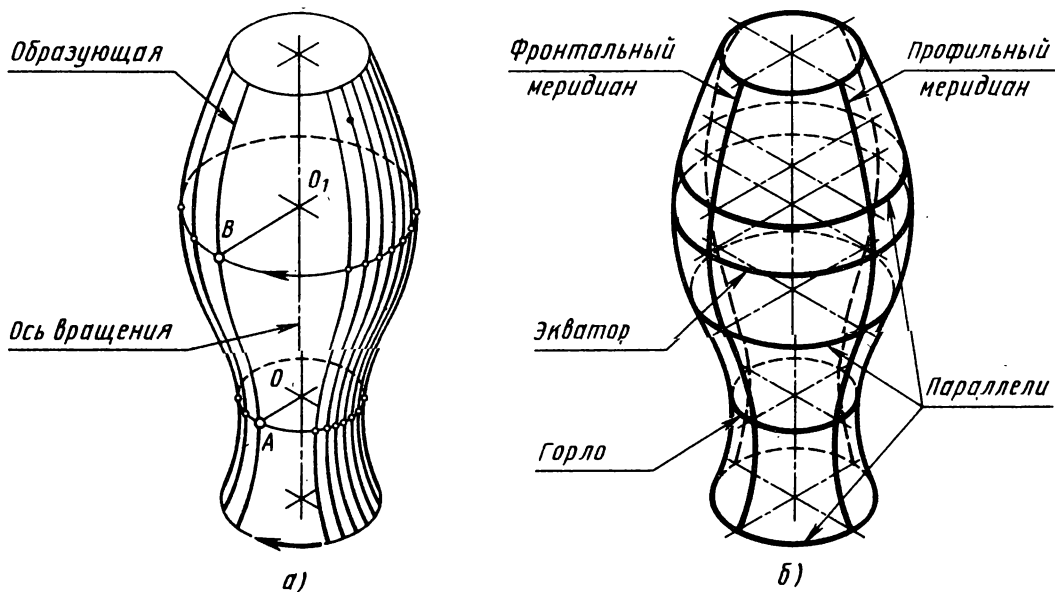


Рис. 265

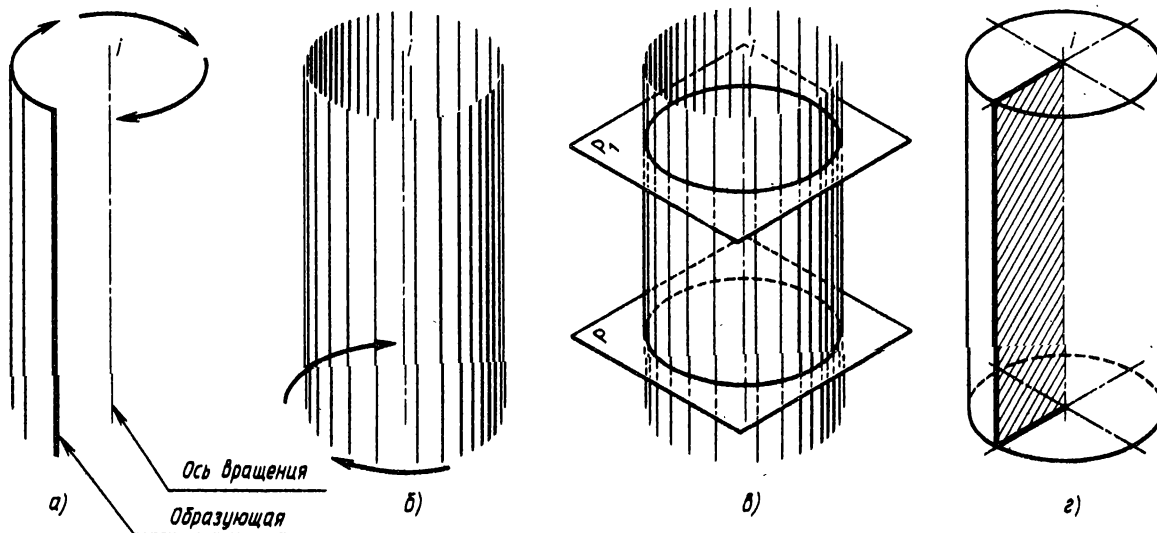


Рис. 266

поверхностью цилиндра, а круги, расположенные в секущих плоскостях, — верхним и нижним основаниями цилиндра. Полученное таким образом геометрическое тело называется полным прямым круговым цилиндром. Высота прямого кругового цилиндра равна отрезку оси, заключенному между основаниями.

Образование прямого кругового цилиндра можно представить как вращение прямоугольника вокруг одной его стороны, которая является одновременно осью вращения, а параллельная ей сторона является образующей. Две другие стороны прямоугольника при вращении образуют плоскости оснований цилиндра (рис. 266, г).

#### Ортогональные проекции полного прямого кругового цилиндра

Горизонтальная проекция полного прямого кругового цилиндра будет кругом (рис. 267, а), поскольку основания цилиндра при проецировании совпадут. При этом верхнее основание будет видимым, а нижнее — невидимым. Боковая цилиндрическая поверхность перпендикулярна к основаниям, и поэтому она спроецируется в окружность, все точки которой совпадут с очерковыми линиями проекций оснований. Следовательно, на горизонтальной проекции в одну и ту же окружность спроецировались очерки двух оснований цилиндра и его боковая поверхность.

На фронтальной плоскости проекций цилиндр спроецируется в прямоугольник, верхняя сторона которого является фронтальной проекцией

верхнего основания, а нижняя сторона (лежащая на оси  $Ox$ ) — проекцией нижнего основания. Две другие стороны этого прямоугольника представляют собой фронтальные проекции двух крайних образующих цилиндрической поверхности, проходящих через точки  $1'$ ,  $2'$ .

Профильная проекция цилиндра представляет собой такой же прямоугольник, что и фронтальная, но проекции крайних образующих проходят через точки  $3''$  и  $4''$ .

Образующие цилиндра, которые на фронтальной проекции изобразились крайними, на профильной проекции, изобразятся совпадающими с осью вращения и друг с другом. При этом образующая, проходящая через точку 2, будет невидимой, а образующая, проходящая через точку 1, — видимой.

Образующие цилиндра, которые на профильной проекции изобразились крайними, на фронтальной проекции изобразятся совпадающими с осью вращения и друг с другом. При этом образующая, проходящая через точку 4, будет невидимой, а образующая, проходящая через точку 3, — видимой.

На фронтальной проекции видимой будет та часть цилиндра, которая на горизонтальной проекции располагается вниз от центральной линии  $12$ .

На профильной проекции видимой будет та часть цилиндра, которая на горизонтальной проекции располагается слева от центральной линии  $34$ .

Крайние образующие, проходящие через точки 1, 2, 3, 4, на горизонтальной проекции изобразятся точками и будут лежать в пересечении центральных линий и окружности.

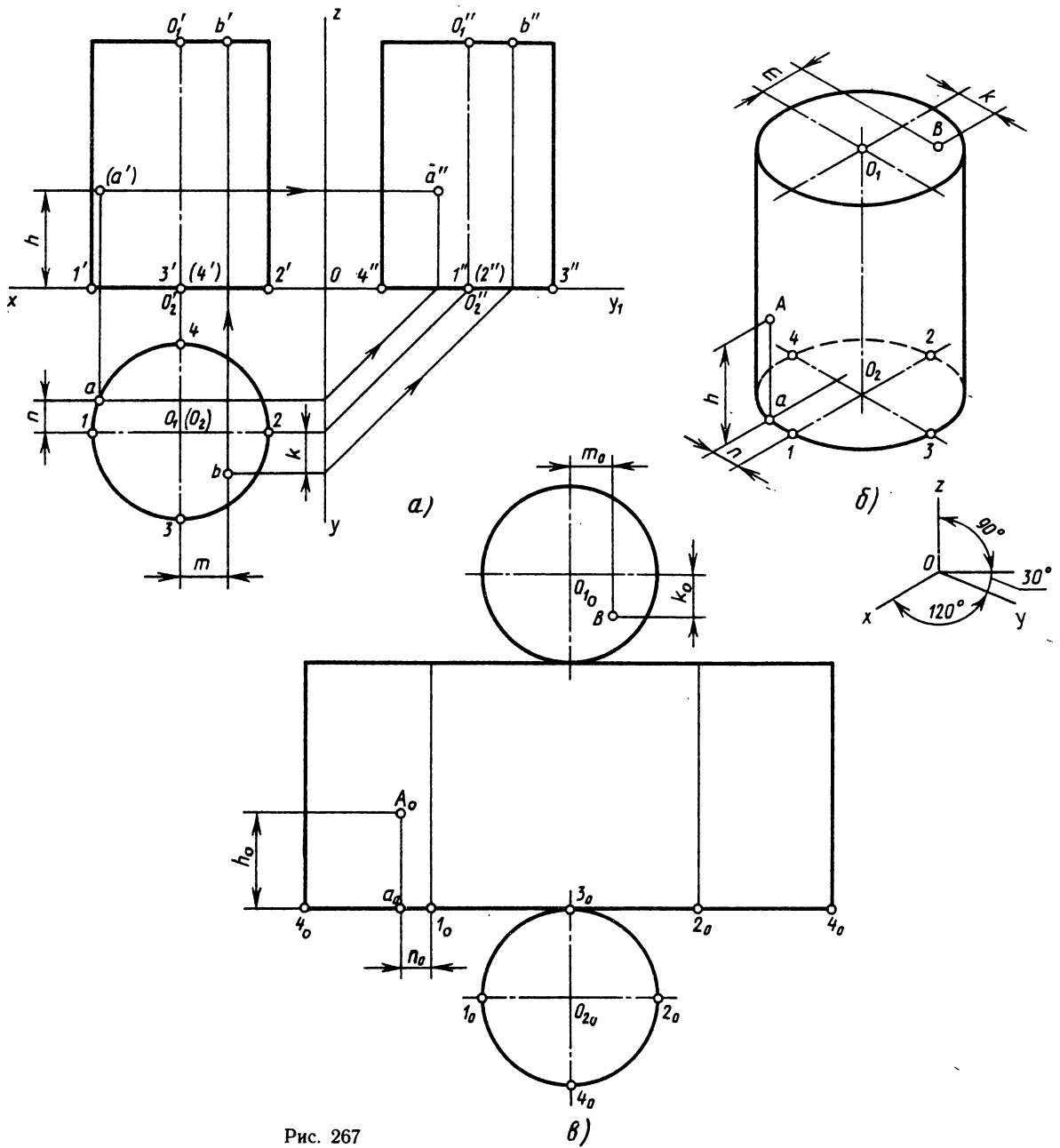


Рис. 267

### Развертка поверхности цилиндра

Развертка поверхности цилиндра представляет собой развернутую боковую поверхность цилиндра и его оснований, совмещенных в одной плоскости (рис. 267, в).

Для ее построения проводят прямую линию, на которой откладывают отрезок, равный длине окружности основания ( $2\pi R$ ). Из концов отрез-

ка проводят перпендикулярные отрезки, равные высоте цилиндра, и полученные точки соединяют. К боковой поверхности цилиндра пристраивают два основания, как показано на рис. 267, в.

Развертку боковой поверхности цилиндра можно выполнить приближенно, разделив окружность основания на 12 равных частей и отложив на прямой 12 хорд. Далее построение ведет как описано выше.

### Построение цилиндра в аксонометрии

На рис. 267, б показано построение прямого кругового полного цилиндра в прямоугольной изометрической проекции. Сначала проводят центровые линии нижнего основания параллельно аксонометрическим осям  $Ox$  и  $Oy$ . Затем из точки  $O_2$  проводят ось параллельно оси  $Oz$  и откладывают высоту цилиндра, взятую с фронтальной или профильной проекции. Через полученную точку  $O_1$  проводят центровые линии параллельно осям  $Ox$  и  $Oy$ . На осях, проведенных из точек  $O_1$  и  $O_2$ , строят овалы, которые являются изображениями оснований цилиндра в прямоугольной изометрии (см. § 28).

### Построение точки, лежащей на поверхности цилиндра

Точка, лежащая на боковой поверхности цилиндра, задана одной проекцией, требуется построить две другие ее проекции. Начинают построение на той плоскости проекций, на которую боковая поверхность, с лежащей на ней точкой, проецируется в линию (окружность).

На поверхности цилиндра (рис. 267, б) заданы две точки  $A$  и  $B$ . Точка  $A$ , лежащая на боковой поверхности цилиндра, задана фронтальной проекцией  $a'$  как невидимая. Требуется построить ее горизонтальную и профильную проекции. Сначала строят горизонтальную проекцию точки  $A$ . Для этого от фронтальной проекции  $a'$  точки  $A$  проводят линию проекционной связи до пересечения с горизонтальной проекцией цилиндра — окружностью. Эта линия пересекает окружность дважды. Так как точка  $A$  задана фронтальной проекцией как невидимая, то на горизонтальной проекции из двух точек выбирается та, которая лежит ближе к оси  $Ox$ . Профильную проекцию  $a''$  точки  $A$  строят с помощью линий проекционной связи, проведенных с фронтальной и горизонтальной проекций. Так как на горизонтальной проекции цилиндра проекция  $a$  точки  $A$  лежит слева от центральной линии параллельной оси  $Oy$ , то на профильной проекции точка  $A$  будет видимой.

Точка  $B$  задана горизонтальной проекцией  $b$  как видимая. Следовательно, она лежит на верхнем основании цилиндра. Верхнее основание проецируется в отрезок и на фронтальной, и на профильной проекции. Для построения фронтальной и профильной проекций точки  $B$  ( $b'$  и  $b''$ ) достаточно с горизонтальной проекции провести линии проекционной связи до пересечения с проекцией верхнего основания на фронтальной и профильной проекциях.

Для построения точки  $A$  в прямоугольной изометрической проекции сначала строят вто-

ричную проекцию  $a$  точки  $A$  по размеру  $n$ , взятому с горизонтальной проекции. От точки  $a$  параллельно оси  $Oz$  проводят прямую, на которой от точки  $a$  откладывают расстояние  $h$ , взятое с фронтальной или профильной проекции, получают точку  $A$ .

Для построения точки  $B$  в прямоугольной изометрии на верхнем основании от центра  $O_1$  откладывают по центральной линии параллельной оси  $Ox$  расстояние  $m$ , взятое с горизонтальной проекции, проводят прямую, на которой параллельно оси  $Oy$  откладывают расстояние  $k$ , взятое также с горизонтальной проекции, получают точку  $B$ .

Для построения точки  $A$  на развертке боковой поверхности цилиндра от образующей  $I_0$  откладывают длину дуги или хорду  $Ia$  ( $n_0$ ), от точки  $a_0$  на прямой, параллельной образующей  $I_0$ , откладывают расстояние  $h$ , взятое с фронтальной или профильной проекции.

Точка  $B$  построена по координатам  $m$  и  $k$ , взятым с горизонтальной проекции.

### Конус

Конус — геометрическое тело, ограниченное конической поверхностью и плоскостью.

Коническая поверхность вращения образуется вращением вокруг оси прямой линии (образующей), которая пересекает эту ось. Точка пересечения образующей и оси вращения называется вершиной конической поверхности (рис. 268, а и б).

Если часть конической поверхности отсечь плоскостью, перпендикулярной оси вращения, то отсеченная часть конической поверхности будет боковой поверхностью полного прямого кругового конуса (рис. 268, в), а круг, расположенный в секущей плоскости, — основанием конуса. Перпендикуляр, опущенный из вершины  $S$  на основание, будет высотой конуса.

Образование полного прямого кругового конуса можно представить как вращение прямоугольного треугольника вокруг одного из его катетов. При этом гипотенуза будет образующей, а второй катет при вращении образует основание конуса (рис. 268, г).

### Ортогональные проекции полного прямого кругового конуса

Горизонтальная проекция полного прямого кругового конуса — круг (рис. 269, а), в который спроецировалась боковая поверхность конуса как видимая. Основание конуса при проецировании совпадает с проекцией боковой поверхности и будет невидимым.

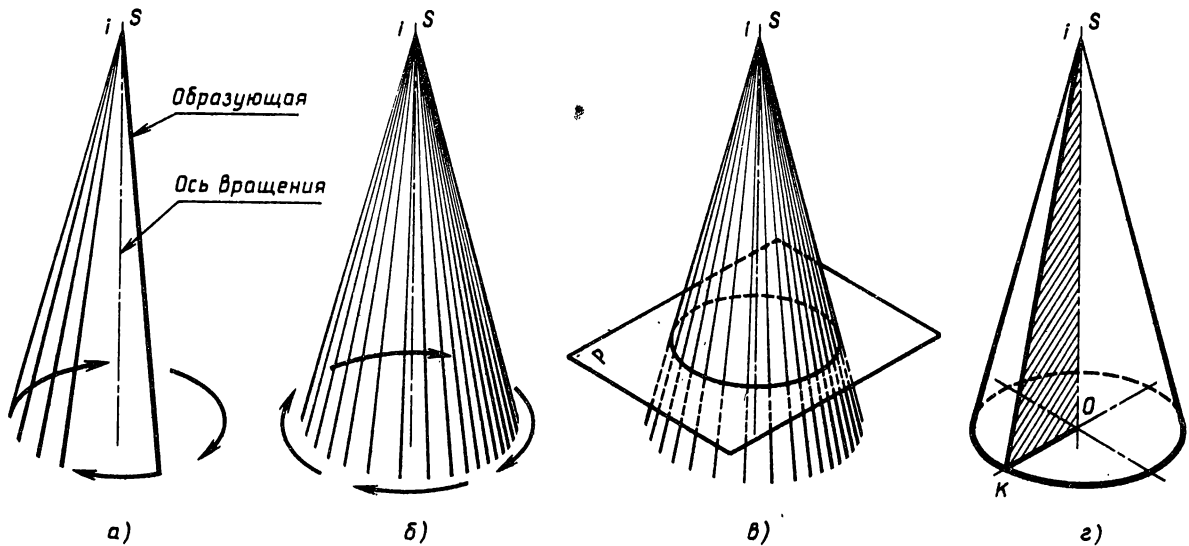


Рис. 268

Фронтальная и профильные проекции конуса изобразятся как равнобедренные треугольники, нижние стороны которых являются проекциями основания конуса. При проецировании они совпадут с осями  $Ox$  и  $Oy$ , так как конус стоит на плоскости  $H$ .

Две другие стороны треугольника ( $1'S'$  и  $2'S'$ ) на фронтальной плоскости проекций будут проекциями крайних образующих конуса. На горизонтальной плоскости проекций проекции этих образующих совпадают с диаметром основания, параллельным оси  $Ox$ , на профильной плоскости проекций их проекции совпадают с осевой линией. Видимой будет образующая  $S1$ .

Две стороны треугольника ( $3''S''$  и  $4''S''$ ) на профильной проекции представляют собой профильные проекции крайних образующих конуса. На горизонтальной плоскости проекций эти образующие при проецировании совпадают с диаметром основания, параллельным оси  $Oy$ , на фронтальной плоскости проекций проекции этих образующих совпадают с осью вращения. Видимой будет образующая  $S3$ .

#### Развертка поверхности конуса

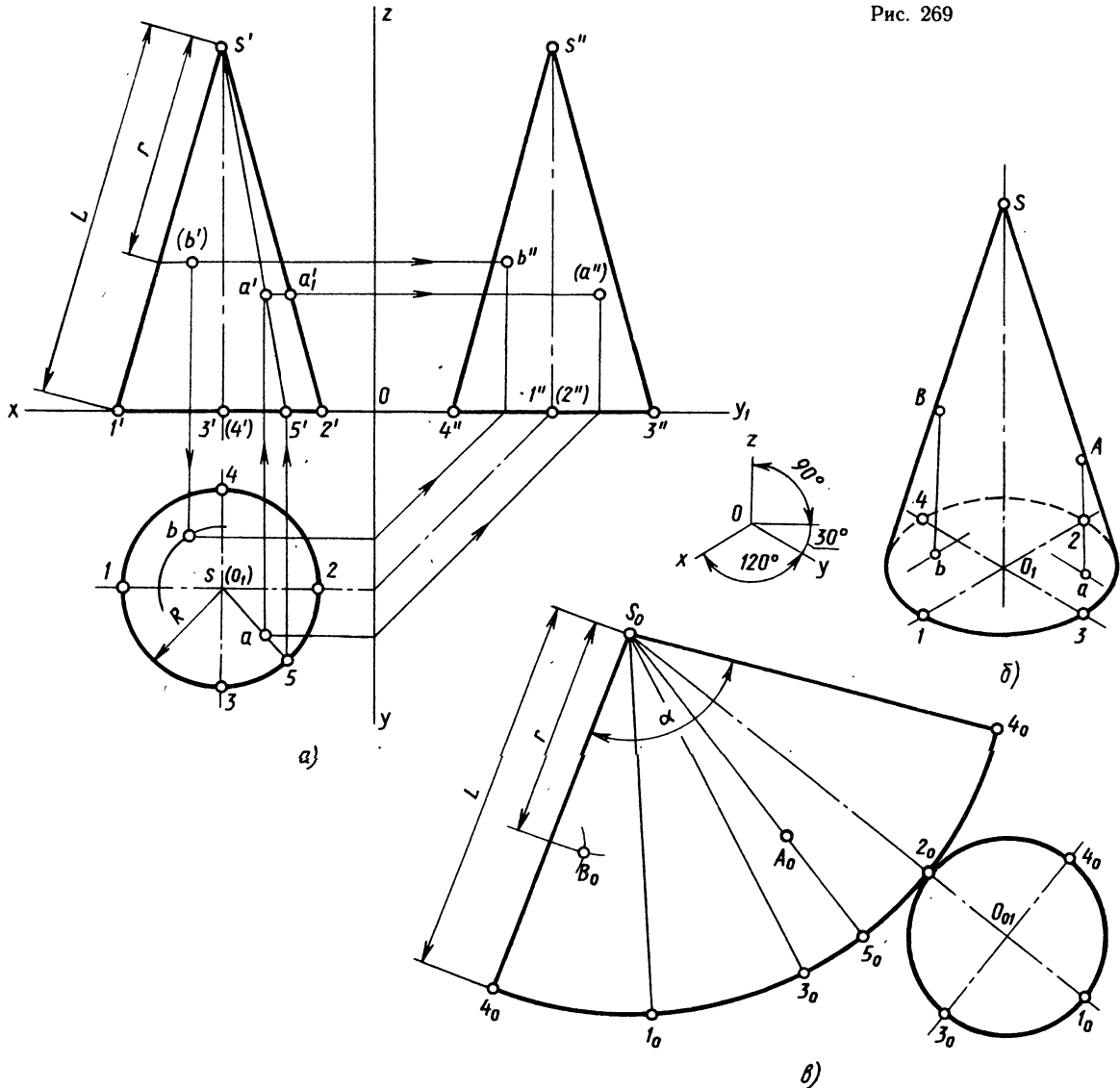
Развертка боковой поверхности конуса представляет собой круговой сектор, у которого радиус равен длине образующей конуса, а длина дуги сектора равна длине окружности основания конуса. Если радиус окружности основания обозначить буквой  $R$ , а длину образующей боковой поверхности —  $L$ , то угол сектора  $\alpha$  можно определить по формуле:  $\alpha = \frac{360^\circ R}{L}$ .

На рис. 269, в показано построение развертки поверхности конуса. Сначала проводят дугу радиусом, равным длине образующей ( $L$ ), которую берут с фронтальной или профильной проекции крайних образующих, потому что на эти плоскости проекций крайние образующие проецируются без искажения, так как они располагаются параллельно плоскостям проекций. Затем строят угол  $\alpha$ , который определяют по приведенной выше формуле, получают сектор, являющийся развернутой боковой поверхностью конуса. К любой точке дуги сектора пристраивается основание конуса.

Развертку боковой поверхности конуса можно выполнить приближенно, разделив окружность основания конуса на 12 равных частей и отложив по дуге радиуса 12 хорд. Далее построение ведут, как описано выше.

#### Построение конуса в аксонометрии

На рис. 269, б показано построение прямого кругового конуса в прямоугольной изометрической проекции. Построение начинают с проведения центровых линий основания параллельно аксонометрическим осям  $Ox$ ,  $Oy$  и оси вращения, параллельной оси  $Oz$ . На центровых линиях строят окружность основания, которая в изометрии изображается как эллипс. Для упрощения построения эллипс заменяют овалом, выполняя его способом, описанным в § 28. Затем от точки  $O_1$  по оси вращения (параллельной оси  $Oz$ ) откладывают высоту конуса, взятую с фронтальной или профильной проекции. Точ-



ка  $S$  будет вершиной конуса. Вершину конуса соединяют касательными с основанием.

*Построение точки, лежащей на поверхности конуса*

Точка, лежащая на боковой поверхности конуса, задана горизонтальной проекцией  $a$ , требуется построить ее фронтальную и профильную проекции. Для этого через горизонтальные проекции вершины  $S$  и точки  $A$  ( $s$  и  $a$ ) проводят образующую до пересечения с основанием конуса (рис. 269, а; точка 5). Затем строят фронтальную проекцию этой образующей. С помощью линии проекционной связи определяют

фронтальную проекцию  $5'$  точки 5. Соединив прямой точки  $s'$  и  $5'$ , получают фронтальную проекцию образующей, на которой лежит точка  $A$ . С горизонтальной проекции проводят линию проекционной связи до пересечения с построенной образующей. Точка пересечения будет фронтальной проекцией  $a'$  точки  $A$ . Профильную проекцию  $a''$  точки  $A$  строят с помощью линий проекционной связи, проведенных с горизонтальной и фронтальной проекции.

Точка  $B$ , лежащая на боковой поверхности конуса, задана фронтальной проекцией  $b'$  как невидимая (рис. 269, а), требуется построить ее горизонтальную и профильную проекции.

В данном случае для построения проекций точки  $B$  используют вспомогательную окруж-

ность (параллель), проходящую через точку  $B$ . На фронтальной проекции эта окружность изобразится отрезком, заключенным между крайними образующими, и будет проходить через фронтальную проекцию  $b'$  точки  $B$ . Построим горизонтальную проекцию этой окружности. Радиусом, равным расстоянию от оси вращения (на фронтальной проекции) до крайней образующей, измеренному по отрезку, который проходит через точку  $b'$ , проведем окружность на горизонтальной проекции. Опустив на эту окружность линию связи из точки  $b'$ , получим две точки пересечения. Так как точка  $B$  на фронтальной проекции задана невидимой, на горизонтальной проекции ее проекция находится выше диаметра  $1\ 2$ , т. е. на той части конуса, которая на фронтальной проекции невидима.

На горизонтальной плоскости проекций точка  $B$  будет видимой, т. к. при проецировании конуса на горизонтальную плоскость проекций боковая поверхность будет видимой.

Профильную проекцию  $b''$  точки  $B$  строят с помощью линий проекционной связи, проведенных с горизонтальной и фронтальной проекции. Здесь она будет видимой, так как лежит в левой части горизонтальной проекции конуса, а эта часть конуса на профильной проекции видима.

Построение точек  $A$  и  $B$  в изометрической проекции (рис. 269, б) выполняют в следующей последовательности: строят вторичные горизонтальные проекции этих точек и от них параллельно оси  $Oz$  откладывают расстояния, взятые с фронтальной или профильной проекции, от основания конуса до проекций этих точек.

Для построения точки  $A$  на развертке (рис. 269, в) строят образующую, на которой лежит эта точка. Для этого на дугу сектора переносят хорду, в данном случае хорду  $3\ 5$ . Если хорда большая, то ее делят пополам или на три части и переносят на развертку частями. Чем меньше хорда, тем точнее построение. Строящаяся точка  $5_0$  лежит между точками  $3_0$  и  $2_0$ . Так как точка  $5_0$  ближе к точке  $3_0$ , производить построения следует от точки  $3_0$ . Построенную на развертке точку  $5_0$  соединяют с точкой  $S_0$  (вершиной конической поверхности) прямой. Она будет образующей, на которой лежит точка  $A$ . Так как образующая, на которой лежит точка  $A$ , расположена наклонно к плоскости  $V$ , то на фронтальную плоскость проекции она проецируется с искажением, поэтому чтобы найти расстояние от вершины  $S$  до точки  $A$ , применяют способ вращения. Для этого образующую конуса  $S5$  поворачивают в положение, параллельное плоскости  $V$ . При этом проекция образующей  $s'5'$  сольется с фронтальной проекцией  $s'2'$  крайней образую-

щей. Точка  $A$  при вращении опишет дугу, которая на фронтальной проекции спроецируется в отрезок  $a'a'_1$ . Итак, при вращении образующей  $S5$  ее фронтальная проекция совпала с фронтальной проекцией образующей  $S2$ . Расстояние от вершины  $S$  до точки  $A$  будет равно расстоянию от точки  $s'$  до точки  $a'_1$ .

Для построения точки  $B$  на развертке радиусом  $r$ , взятым с фронтальной проекции, из точки  $S_0$  проводят дугу, на которой от точки ее пересечения с образующей  $S_0A_0$  откладывают длину дуги, измеренную на горизонтальной проекции от центральной линии  $34$  до точки  $b$ .

## Тор

Поверхность тора образуется при вращении окружности или ее части вокруг неподвижной оси, расположенной в той же плоскости, что и окружность (рис. 270). На горизонтальной проекции тора крайней очерковой линией всегда будет экватор, на фронтальной проекции — фронтальный меридиан, на профильной проекции — профильный меридиан. Форма меридианов повторяет форму образующей. Построение точек на поверхности тора осуществляется с помощью параллелей, которые проводят через заданную точку.

Если расстояние от оси вращения до центра образующей окружности больше радиуса этой окружности, то полученная поверхность называется кольцом. На рис. 270 показаны элементы такой поверхности и две ортогональные проекции с построенными на них проекциями точки  $A$  ( $a$  и  $a'$ ).

Если вращать часть окружности меньшую, чем ее половина, вращение происходит вокруг оси, совпадающей с хордой, которая отсекает часть окружности, то получится поверхность тора, показанная на рис. 271. На этом рисунке изображены элементы этой поверхности и две ортогональные проекции с построенными на них проекциями точки  $A$  ( $a$  и  $a'$ ).

Если вращать часть окружности большую, чем ее половина, то получится поверхность тора, показанная на рис. 272, вращение происходит вокруг оси, совпадающей с хордой, которая отсекает часть окружности. На этом рисунке показаны элементы этой поверхности и две ортогональные проекции с построенными на них проекциями точек  $A$  и  $B$ .

Если половину окружности вращать вокруг оси, совпадающей с диаметром этой окружности, то получится сферическая поверхность (или поверхность шара).

На рис. 273 показаны элементы этой поверхности. В ортогональных проекциях и в аксо-

Рис. 270

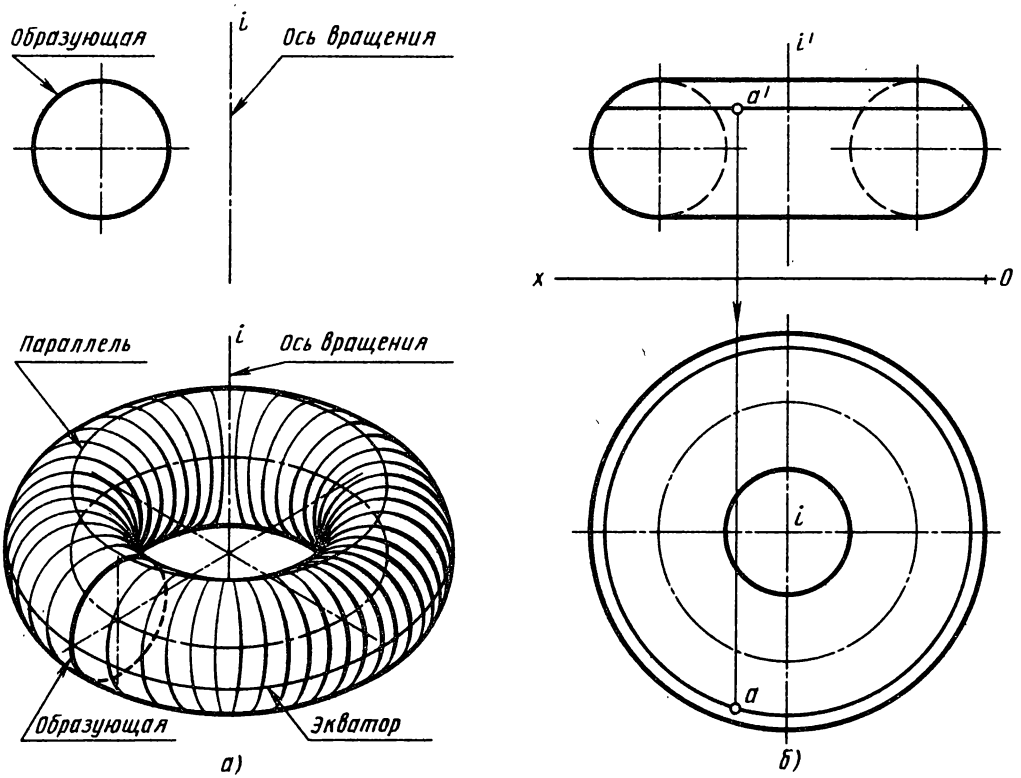
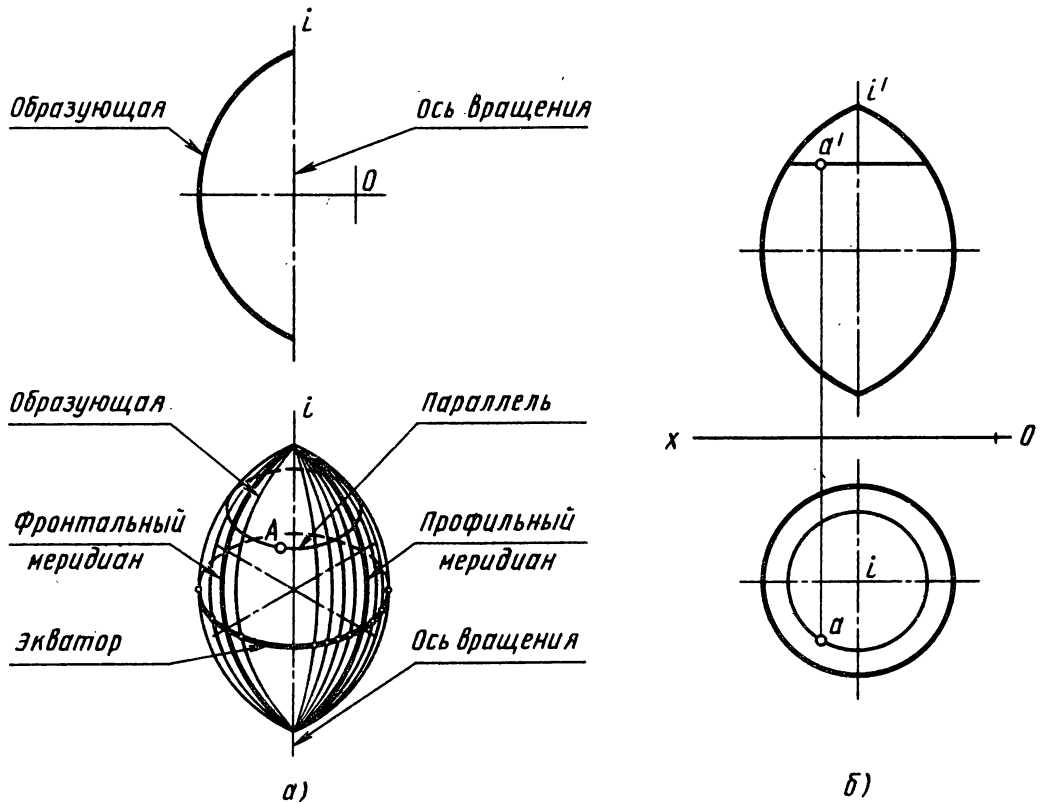


Рис. 271



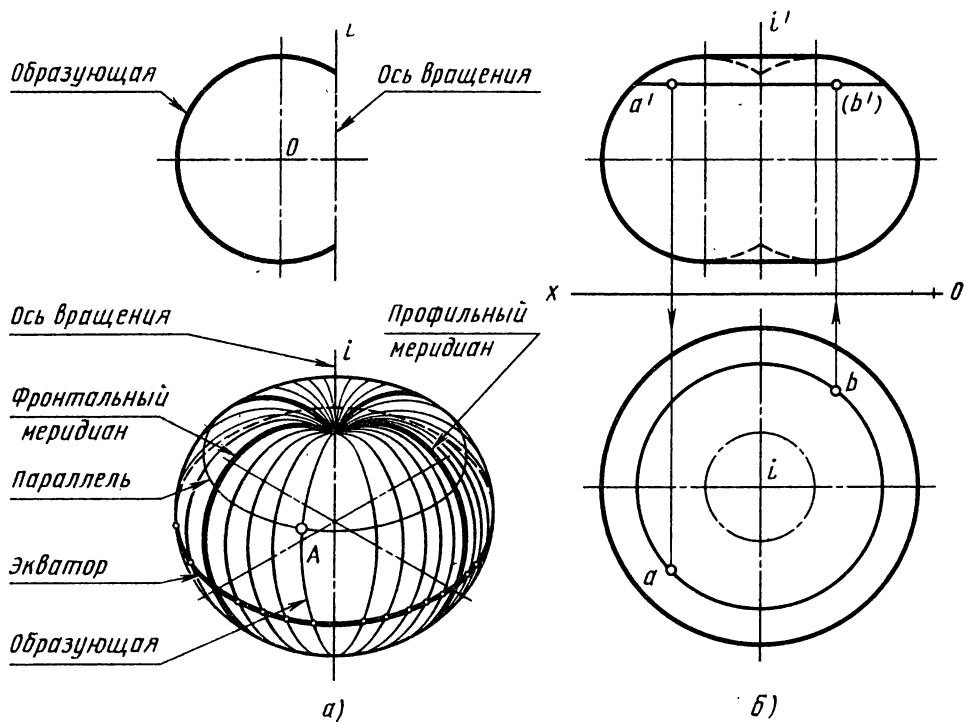


Рис. 272

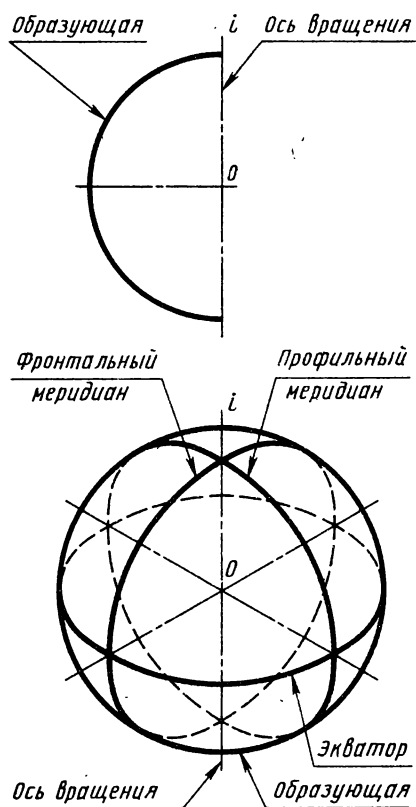


Рис. 273

нометрии шар изображается как круг. В аксонометрии на поверхности шара показывают экватор и два меридиана (фронтальный и профильный). Сферическая поверхность представляет собой частный случай торовой поверхности.

### Шар

Шар — геометрическое тело, полученное вращением полукруга вокруг диаметра, кото-

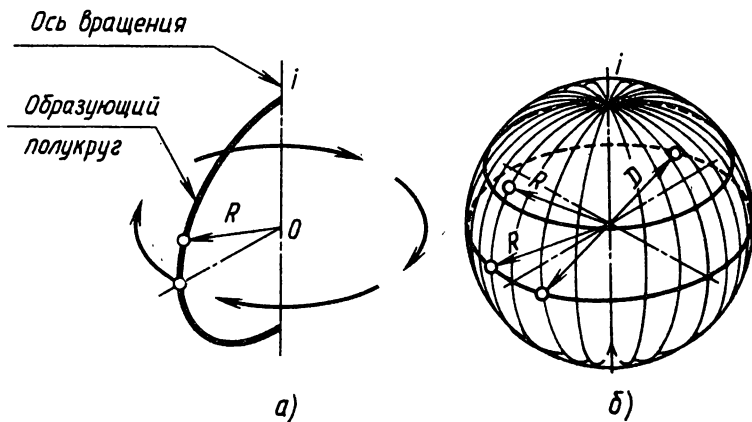


Рис. 274

ый одновременно является осью вращения (рис. 274, а). Каждая точка поверхности шара удалена от центра шара на одинаковое расстояние. Если любую точку, принадлежащую поверхности, соединить с центром шара, то этот отрезок будет радиусом шара (рис. 274, б). А если через центр шара прямой линией соединить две точки, принадлежащие поверхности шара, то этот отрезок будет диаметром шара. Экватор и все меридианы шара имеют одинаковые диаметры. Параллели же будут иметь разные диаметры. Чем ближе к экватору, тем больше диаметр параллели, и наоборот. На трех ортогональных проекциях диаметры очерковых окружностей одинаковые.

### Ортогональные проекции шара

Как уже говорилось, шар на ортогональных проекциях и в прямоугольной аксонометрии изображается как круг. В ортогональных проекциях на горизонтальной плоскости проекций очерковой линией шара будет экватор, который на фронтальную плоскость проекций проецируется в отрезок, совпадающий с центральной линией  $1'2'$  (рис. 275), а на профильной проекции проекция экватора совпадает с центральной линией  $3''4''$ . На фронтальной плоскости проекций очерковой линией шара будет фронтальный меридиан, который на горизонтальную плос-

кость проекций проецируется в отрезок, совпадающий с центральной линией  $12$ , а на профильной проекции он совпадает с центральной линией, параллельной оси  $Oz$ .

На профильной плоскости проекций очерковой линией шара будет профильный меридиан, который на горизонтальной проекции изображится отрезком, совпадающим с центральной линией  $34$ , а на фронтальной плоскости проекций он совпадает с центральной линией, параллельной оси  $Oz$ .

### Построение шара в аксонометрии

Очерковой линией шара в прямоугольной аксонометрии будет окружность, радиус которой берется с ортогональных проекций данного шара и умножается на соответствующий коэффициент увеличения изображения в аксонометрии. Если шар изображается в прямоугольной диметрии, то радиус умножается на 1,06, если в прямоугольной изометрии — на 1,22 (рис. 275). Для наглядности в аксонометрии на поверхности полного шара показывают экватор и два главных меридиана.

### Развертка поверхности шара

Сферическая поверхность относится к неразвертываемым поверхностям, и поэтому развертка поверхности шара может быть выполнена только приближенными способами. Рассмотрим один из способов выполнения развертки шара.

Для выполнения развертки поверхности шара поверхность делят меридианами на равные части. На рис. 276, а шар разделен на 12 равных частей. Представим себе, что все 12 частей поверхности шара отогнуты от полюсов и поставлены в вертикальное положение (рис. 276, б и в). Сферическая поверхность условно развернется как цилиндрическая поверхность, состоящая из 12 вертикально расположенных секций (рис. 276, г). Если эти секции разместились в одной плоскости, то получится приближенная развертка поверхности шара (рис. 276, г). Для построения 12 меридианов очерковые окружности шара на горизонтальной и профильной проекциях делят на 12 равных частей. На горизонтальной проекции меридианы спроецируются в отрезки, проходящие через центр проекции шара. Фронтальные проекции этих меридианов будут кривыми, и их строят с помощью параллелей, проведенных через точки деления фронтального меридиана.

Для построения развертки достаточно знать размеры одной секции. На рис. 276, а выделена одна такая секция, на проекциях которой отме-

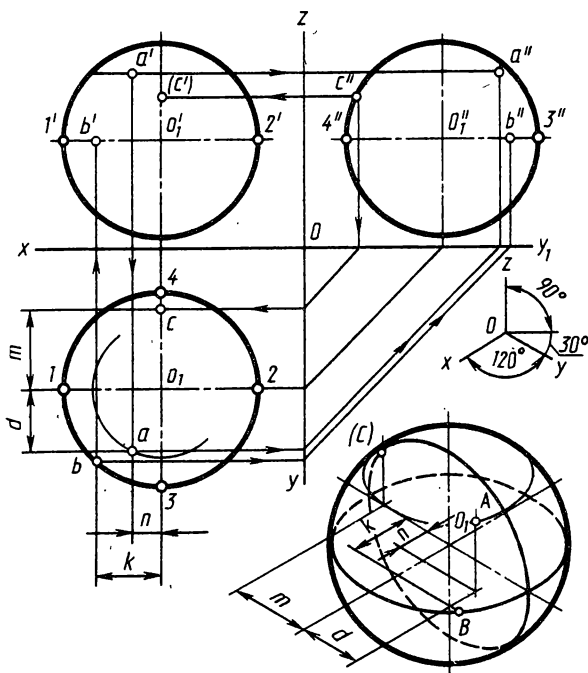


Рис. 275

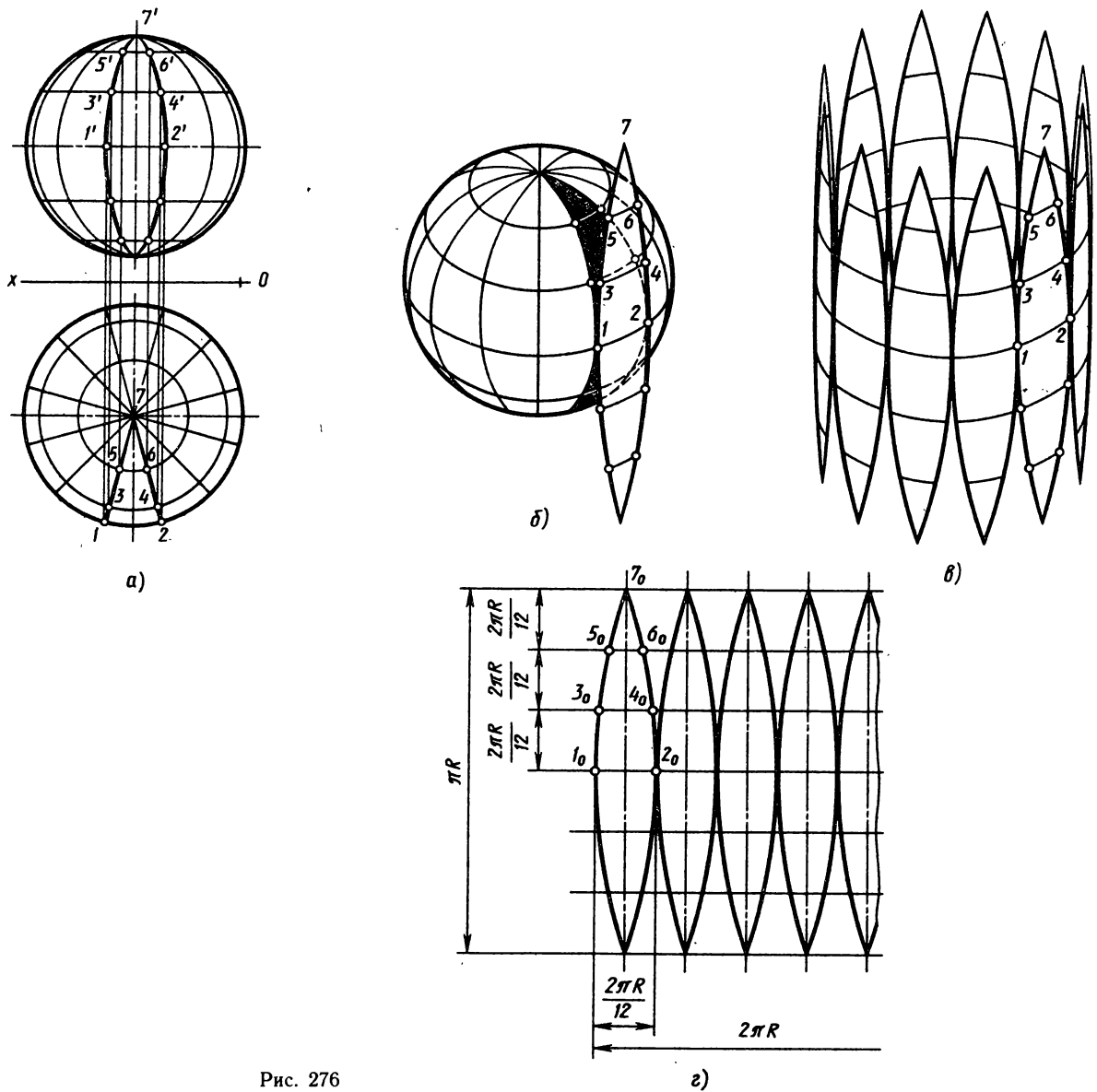


Рис. 276

чены точки пересечения двух меридианов, являющихся её сторонами, с параллелями. Так как экватор делит секцию на две одинаковые части (верхнюю и нижнюю), то точки взяты только на той части секции, которая расположена выше экватора.

Самый широкий участок секции расположен по экватору. Его ширина равна  $\frac{2\pi R}{12}$ , т. е.  $\frac{1}{12}$  части экватора. Длина выпрямленной секции равна  $\pi R$ , т. е. длине половины развернутого меридиана.

При развертке поверхности шара экватор развернется в отрезок, длина которого будет равна  $2\pi R$ . Построение начинают с проведения прямой, на которой откладывают 12 отрез-

ков, равных  $\frac{2\pi R}{12}$ . На рис. 276, в показано построение только части развертки поверхности шара, так как все секции одинаковы.

Через середину построенных отрезков проводят оси симметрии перпендикулярно экватору. Затем вверх и вниз от экватора откладывают длину развернутых участков меридианов, заключенных между параллелями. Их длина равна  $\frac{2\pi R}{12}$ . Через полученные точки параллельно экватору проводят прямые линии, на которых откладывают отрезки развернутых параллелей ( $3_0 4_0$ ,  $5_0 6_0$ ). Эти отрезки равны  $\frac{1}{12}$  длины окружности, в которую проецируется со-

ответствующая параллель на горизонтальной проекции. Построенные точки соединяют плавной кривой линией и обводят по лекалу.

Эту же развертку можно выполнить, заменив развернутые дуги хордами, измеренными на ортогональных проекциях.

### Построение точек, лежащих на поверхности шара

Построение точек на поверхности шара в ортогональных проекциях и аксонометрии выполняется с помощью параллелей, проведенных через заданные точки. Рассмотрим это на рис. 275. Точка  $A$  задана фронтальной проекцией как видимая. Для построения ее горизонтальной проекции через фронтальную проекцию  $a'$  точки  $A$  проводят фронтальную проекцию параллели. Затем строят горизонтальную проекцию этой параллели. Для этого радиусом, равным расстоянию от вертикальной центральной линии до точки, в которой фронтальная проекция параллели пересекает очерковую линию шара, проводят окружность. Точка  $A$  лежит в верхней части видимой половины шара, значит, ее горизонтальная проекция будет видимой и находится ниже центральной линии  $12$  в пересечении горизонтальной проекции параллели с линией проекционной связи, проведенной от точки  $a'$ . На фронтальной проекции видимой является та половина шара, которая на горизонтальной проекции располагается ниже центральной линии  $12$ . А на горизонтальной проекции видимой будет та половина шара, которая на фронтальной проекции расположена выше центральной линии  $1'2'$ . Профильную проекцию точки  $A$  строят с помощью линий проекционной связи, проведенных с фронтальной проекции от точки  $a'$  и с горизонтальной проекции от точки  $a$ . На профильной проекции видимой будет та половина шара, которая на фронтальной и горизонтальной проекциях находится слева от вертикальной центральной линии. Именно в этой половине шара и расположена точка  $A$ . Значит, она будет видимой.

Точка  $B$  задана горизонтальной проекцией, которая лежит на горизонтальной проекции экватора (см. рис. 275). Для построения точек  $b'$  и  $b''$  достаточно с горизонтальной проекции  $b$  на фронтальную и профильную проекции провести линии проекционной связи до пересече-

ния с проекциями экватора в точках  $b'$  и  $b''$ . Точка  $B$  будет видимой на всех проекциях.

Точка  $C$ , которая лежит на профильном меридиане, задана профильной проекцией, (см. рис. 275). Профильный меридиан на фронтальной и горизонтальной проекциях шара изображается как отрезок прямой линии, совпадающей с вертикальной центральной линией, поэтому достаточно провести линии проекционной связи от точки  $c''$  до центровых линий, чтобы получить точки  $c$  и  $c'$ . На горизонтальной проекции часть профильного меридиана, где лежит точка  $c$ , будет видимой, так как точка  $C$  лежит в верхней части шара, видимой на горизонтальной проекции. Значит, горизонтальная проекция  $c$  точки  $C$  будет видимой. Фронтальная проекция  $c'$  точки  $C$  будет невидимой, так как расположена на профильной проекции в левой половине проекции шара, а на горизонтальной проекции — в верхней половине, а эта половина на фронтальной проекции невидима.

При построении точек, лежащих на поверхности шара, в аксонометрии сначала строятся в плоскости экватора вторичные горизонтальные проекции точек  $A$  и  $C$  по координатам  $X$  и  $Y$ , взятым с горизонтальной проекции. На рис. 275 это размеры  $m$ ,  $n$ ,  $k$  и  $d$ . Параллельно оси  $Oz$  от вторичных проекций точек  $A$  и  $C$  в аксонометрии откладываются расстояния по высоте, взятые с фронтальной или профильной проекции. Так как точка  $B$  лежит на экваторе, то она строится по координате  $X$ , взятой с горизонтальной проекции.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Как проецируются боковые ребра прямой правильной призмы на фронтальную и горизонтальную плоскости проекций, если ее основание лежит в плоскости  $H$ ?
2. Как проецируется основание пирамиды на плоскость проекций  $H$ ,  $V$  и  $W$ , если оно расположено в плоскости  $H$ ?
3. Как образуются цилиндрические, конические поверхности и поверхности шара и тора?
4. Где располагаются на профильной и горизонтальной проекциях крайние образующие фронтальной проекции конуса и цилиндра?
5. С помощью каких вспомогательных линий можно построить проекции точки, заданной одной проекцией на боковой поверхности конуса и шара?
6. Что представляет собой изображение шара в ортогональных проекциях и в аксонометрии?
7. Как называются очерковые окружности проекций шара на горизонтальной, фронтальной и профильной плоскостях проекций?
8. При каком положении боковое ребро пирамиды, стоящей на плоскости  $H$ , проецируется в натуральную величину на плоскость  $V$  или  $W$ ?

## ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ ПРОЕЦИРУЮЩИМИ ПЛОСКОСТЯМИ. ПОСТРОЕНИЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ, ЛИНИЙ СРЕЗА, АКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ И РАЗВЕРТОК ПОВЕРХНОСТЕЙ УСЕЧЕННЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ

Многие детали, применяемые в технике, имеют различные срезы, выполненные, например, фрезерованием, строганием, обрезкой и т. п. Выработка умения строить срезы в ортогональных проекциях, в аксонометрии и на развертках является одной из важных задач обучения черчению. Так как форма любой детали представляет собой совокупность геометрических тел, вопросы построения срезов рассматривают сначала на геометрических телах.

С теоретической точки зрения линия среза — это линия пересечения поверхности геометрического тела с секущей плоскостью, а фигура среза (срез) — это плоская фигура, одновременно принадлежащая геометрическому телу и плоскости, которая его пересекает. Контур фигуры пересечения зависит от формы геометрического тела и от положения секущей плоскости, рассекающей его.

При построении геометрических тел со срезами условимся, что отсеченная плоскостью часть геометрического тела отбрасывается, а оставшуюся усеченную часть геометрического тела ограничивает фигура среза (срез).

Приемы построения срезов, изученные на геометрических телах, будут использоваться в дальнейшем при изучении построения сечений, рассматриваемых в § 51.

### § 31. ПЕРЕСЕЧЕНИЕ МНОГОГРАННИКОВ ПРОЕЦИРУЮЩЕЙ ПЛОСКОСТЬЮ

Если многогранник рассечь плоскостью, то линия пересечения поверхности многогранника с плоскостью будет замкнутой плоской ломаной линией, т. е. многоугольником. Каждая вершина этого многоугольника есть точка, в которой плоскость пересекла его ребро. Каждая сторона многоугольника есть отрезок прямой линии, по которой плоскость пересекла грань многогранника. Значит для того, чтобы построить линию пересечения плоскости с по-

верхностью многогранника, необходимо построить линии пересечения плоскости с гранями. А это есть не что иное, как построение линии пересечения двух плоскостей: секущей плоскости с плоскостью грани. Для построения линии пересечения двух плоскостей, т. е. одной стороны многоугольника, достаточно построить две ее точки. Этими точками будут точки пересечения прямой с плоскостью, где прямая — ребро многогранника. Итак, построение линии пересечения многогранника с плоскостью сводится к нахождению точек пересечения ребер многогранника с секущей плоскостью. Затем эти точки соединяют отрезками и получают стороны многоугольника, лежащего в плоскости пересекающей многогранник.

#### Пересечение призмы проецирующей плоскостью

Форма линии пересечения зависит от формы призмы и от направления секущей плоскости. На рис. 277 показаны примеры пересечения треугольной призмы плоскостями различного положения.

#### *Ортогональные проекции усеченной призмы*

На рис. 278 изображена шестиугольная правильная прямая призма, лежащая одной гранью на плоскости проекций  $H$ . Основания призмы расположены параллельно плоскости проекций  $W$ . Призма пересечена фронтально-проецирующей плоскостью  $P$ , которая задана следом  $P_V$  (рис. 279). Требуется построить ортогональные проекции усеченной призмы, натуральную величину фигуры среза, усеченную призму в изометрии и развертку боковой поверхности усеченной призмы. Будем считать, что плоскость  $P$  отсекает левую часть призмы, которую на проекциях и развертке изобразим тонкими линиями. Оставшуюся (правую) часть называют усеченной призмой и обводят сплошной основной линией.

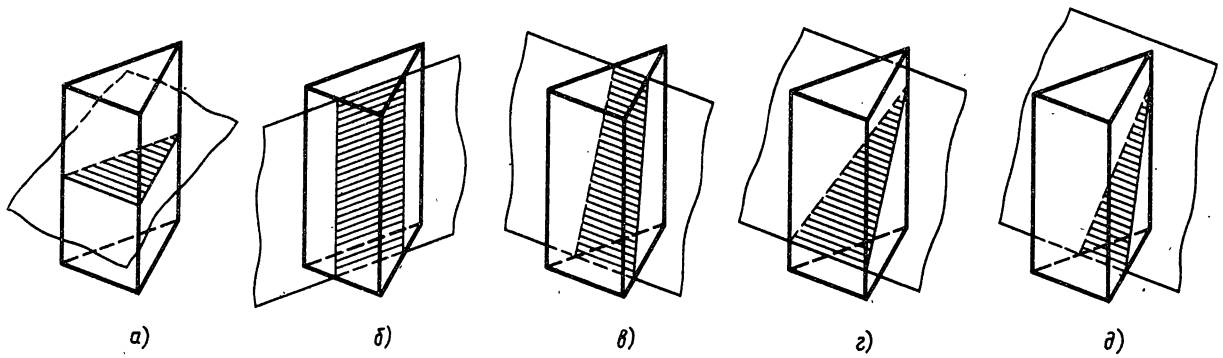


Рис. 277

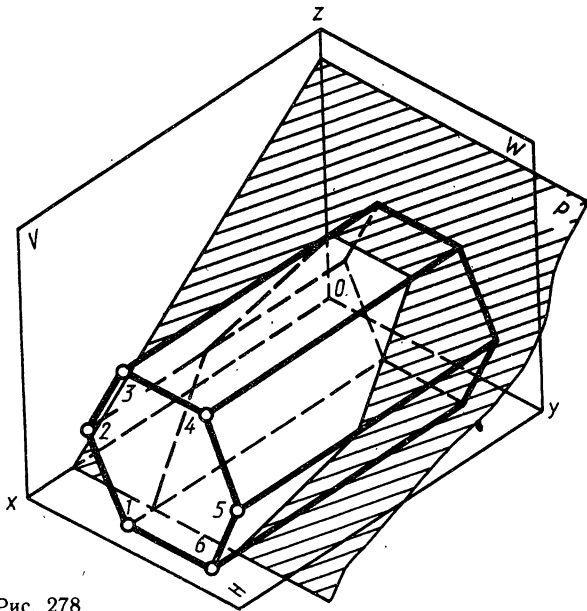


Рис. 278

Так как плоскость  $P$  перпендикулярна плоскости проекции  $V$ , то она спроецируется на эту плоскость в прямую линию. На эту же линию спроецируется и фигура среза, лежащая в плоскости  $P$ . Длина отрезка от точек  $6'$  ( $1'$ ) до точек  $4'$  ( $3'$ ) будет натуральной длиной фигуры среза. На профильной плоскости проекций боковые грани призмы проецируются в отрезки, совпадающие со сторонами шестиугольника, лежащего в основании, а ребра боковой поверхности проецируются в точки, совпадающие с вершинами углов основания. Фигура среза на профильной проекции совпадает с проекцией основания и изображается как правильный шестиугольник, так как линии среза принадлежат боковым граням призмы, которые проецируются на профильную плоскость проекций отрезками. Отрезки  $34$ ,  $25$  и  $16$  проецируются на профильную плоскость

проекции без искажения, так как они параллельны оси  $Oy$ , т. е. плоскости  $W$ . Значит на профильной проекции видна натуральная ширина среза.

На горизонтальную плоскость проекций срез проецируется с искажением, так как плоскость  $P$ , в которой лежит фигура среза, наклонена к плоскости проекций  $H$ . Отрезки  $13$  и  $64$  проецируются с искажением. Отрезки  $16$ ,  $25$  и  $34$  параллельны оси  $Oy$ , на профильной проекции, следовательно, параллельны плоскости  $H$ , поэтому проецируются без искажения. Значит ширина среза и здесь спроецировалась в натуральную величину.

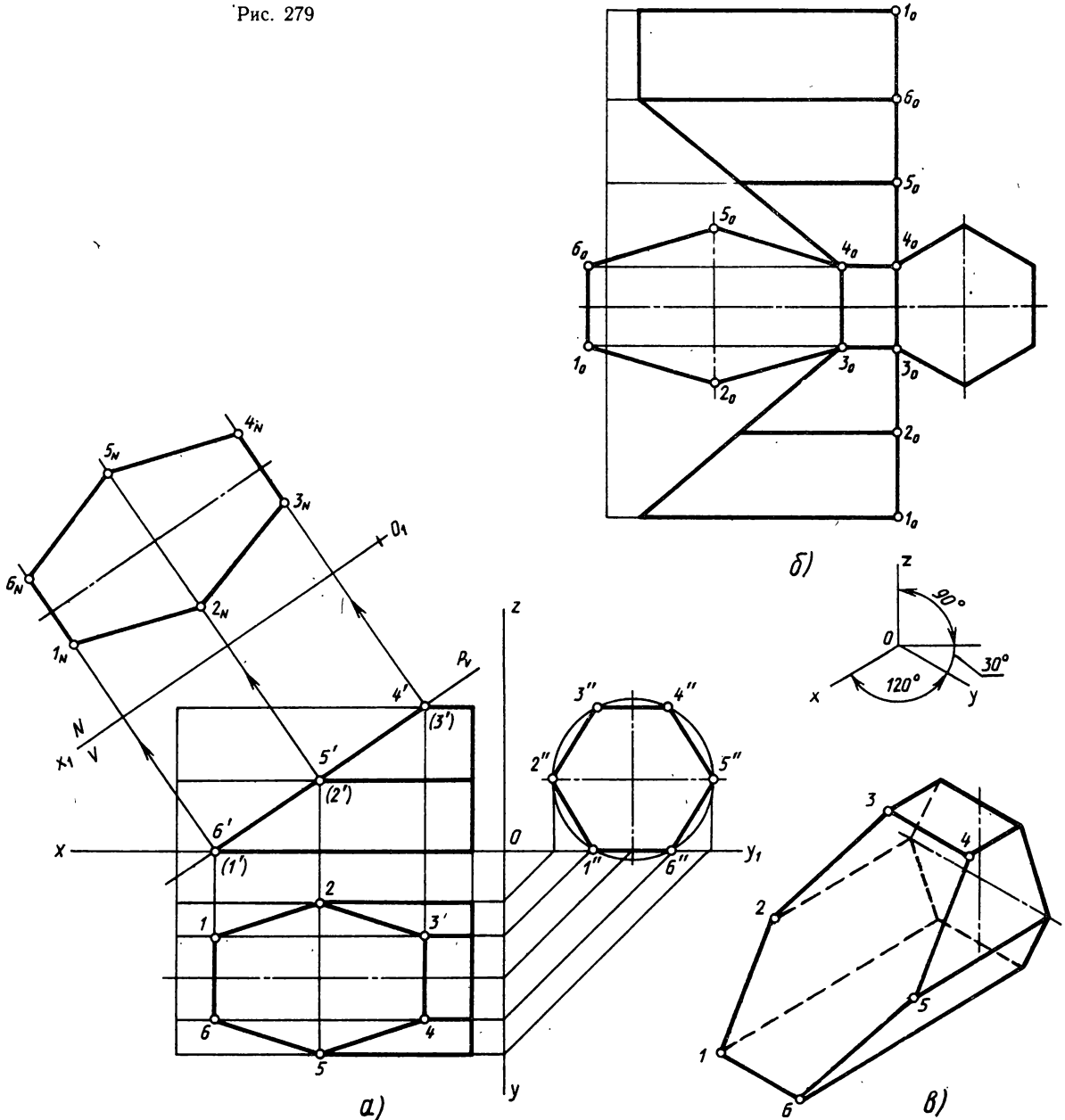
Ни на одной из трех плоскостей проекций фигура среза не проецируется в натуральную величину, так как плоскость, в которой она лежит, не параллельна ни одной из плоскостей проекций. Для того чтобы построить ее натуральную величину, необходимо расположить фигуру среза параллельно какой-либо плоскости проекции. На рис. 279, *a* это выполнено способом перемены плоскостей проекций, где плоскость  $H$  заменена на плоскость  $N$ , параллельную плоскости  $P$ . Для этого на фронтальной плоскости проекций параллельно фронтальному следу  $P_V$  плоскости  $P$  на некотором расстоянии от него проведена новая ось  $O_1x_1$ . В этой системе плоскостей проекций плоскость  $P$ , с лежащей в ней фигурой среза, расположена параллельно плоскости  $N$ , и новая проекция среза будет иметь натуральную величину. Из точек  $6'$ ,  $2'$ ,  $4'$  перпендикулярно оси  $O_1x_1$  проводят линии проекционной связи, переносящие на плоскость  $N$  расстояния по длине среза. Затем от оси  $O_1x_1$  откладывают отрезки, взятые с горизонтальной проекции призмы от оси  $Ox$  до точек  $1...6$ , точки  $1_N...6_N$  соединяют отрезками, получают натуральную величину среза.

*Построение усеченной призмы в аксонометрии*

На рис. 279, в показана усеченная призма в изометрической проекции. Построение начинают с основания призмы. Проводят центральные линии основания в плоскости  $zOy$  параллельно осям  $Oy$  и  $Oz$ . Затем на центральной линии, параллельной оси  $Oy$ , откладывают отрезок 25, а на центральной линии, параллельной оси  $Oz$ , — расстояние между серединами сторон 3'' 4'' и 1'' 6''. Через точки, построенные на центральной линии, параллельной оси  $Oz$ , проводят прямые (направление будущих сторон

основания), параллельные оси  $Oy$ , и на них строят стороны основания, размер которых берут с профильной проекции. Концы построенных двух сторон соединяют отрезками с точками, отложенными на центральной линии, параллельными оси  $Oy$ . Получили основание призмы. От вершины каждого угла основания параллельно оси  $Oy$  проводят прямые, на которых откладывают соответствующие длины усеченных ребер, взятые с фронтальной или горизонтальной проекции. Построенные точки соединяют отрезками и получают фигуру среза.

Рис. 279



### Развертка поверхности усеченной призмы

Сначала проводят прямую, на которой откладывают шесть отрезков, равных стороне основания (ширина грани), размер отрезка берется с профильной проекции (рис. 279, б). Затем из полученных точек  $1_0...6_0$  проводят прямые, перпендикулярные этой прямой. На проведенных перпендикулярах откладывают длины соответствующих усеченных ребер, которые измеряют на фронтальной или горизонтальной проекции. Построенные точки соединяют отрезками и получают ломаную линию среза. Затем пристраивают основание, а к одной из линий среза — натуральную величину среза

### Пересечение пирамиды проецирующей плоскостью

При пересечении пирамиды плоскостью форма и размеры фигуры среза зависят не только от числа граней пирамиды, но и от положения секущей плоскости в пространстве. На рис. 280 показаны примеры пересечения пирамиды плоскостями различного положения.

### Ортогональные проекции усеченной пирамиды

На рис. 281 изображена правильная четырехугольная пирамида, основание которой лежит в плоскости  $H$ . Пирамиду пересекает фронтально-проецирующая плоскость  $P$ , которая задана следами  $P_V$  и  $P_H$ . Требуется построить ортогональные проекции, натуральную величину среза, усеченную пирамиду в пря-

моугольной диметрии и развертку боковой поверхности усеченной пирамиды.

На горизонтальную плоскость проекций основание проецируется без искажения, так как оно лежит в плоскости  $H$ , а боковая поверхность проецируется в треугольники с искажением, так как они наклонены к плоскости  $H$ . На фронтальной и профильной проекциях боковые грани тоже изобразились с искажением, ребра  $S1$  и  $S3$  на фронтальной проекции и ребра  $S2$  и  $S4$  на профильной проекции — без искажения, так как они параллельны соответствующим плоскостям проекций.

Поскольку плоскость  $P$  пересекла все четыре ребра боковой поверхности пирамиды, то фигура среза будет четырехугольником. На фронтальную плоскость проекций среза проецируется в отрезок, совпадающий со следом плоскости  $P_V$ , потому что лежит в плоскости  $P$ , перпендикулярной к плоскости  $V$ . Отрезок  $a'b'$  отображает длину среза без искажения.

На горизонтальной и профильной проекциях фигура среза представляет собой четырехугольник, где отрезки  $cd$  и  $c'd''$  отображают ширину среза без искажения.

Итак, на всех трех ортогональных проекциях фигура среза изображается с искажением. Чтобы получить натуральную величину среза, необходимо расположить плоскости проекций или совместить с одной из них. На рис. 281, а применен способ совмещения. Для этого плоскость  $P$  поворачивают вокруг следа  $P_H$  и совмещают ее с плоскостью проекций  $H$ . При вращении плоскости  $P$  в пространстве каждая вершина среза опишет дугу окружности. Эти дуги проецируются на горизонтальную плоскость проекций как прямые линии, параллельные оси  $Ox$

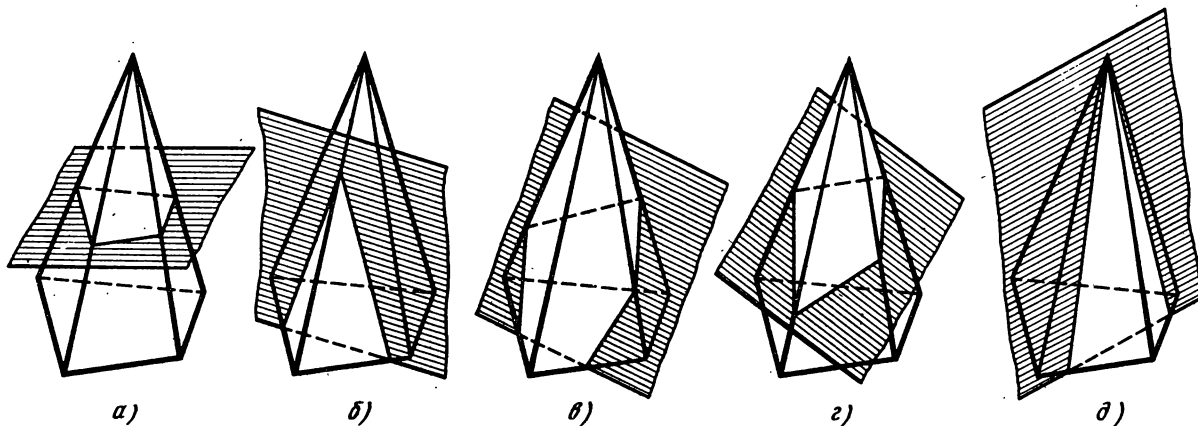
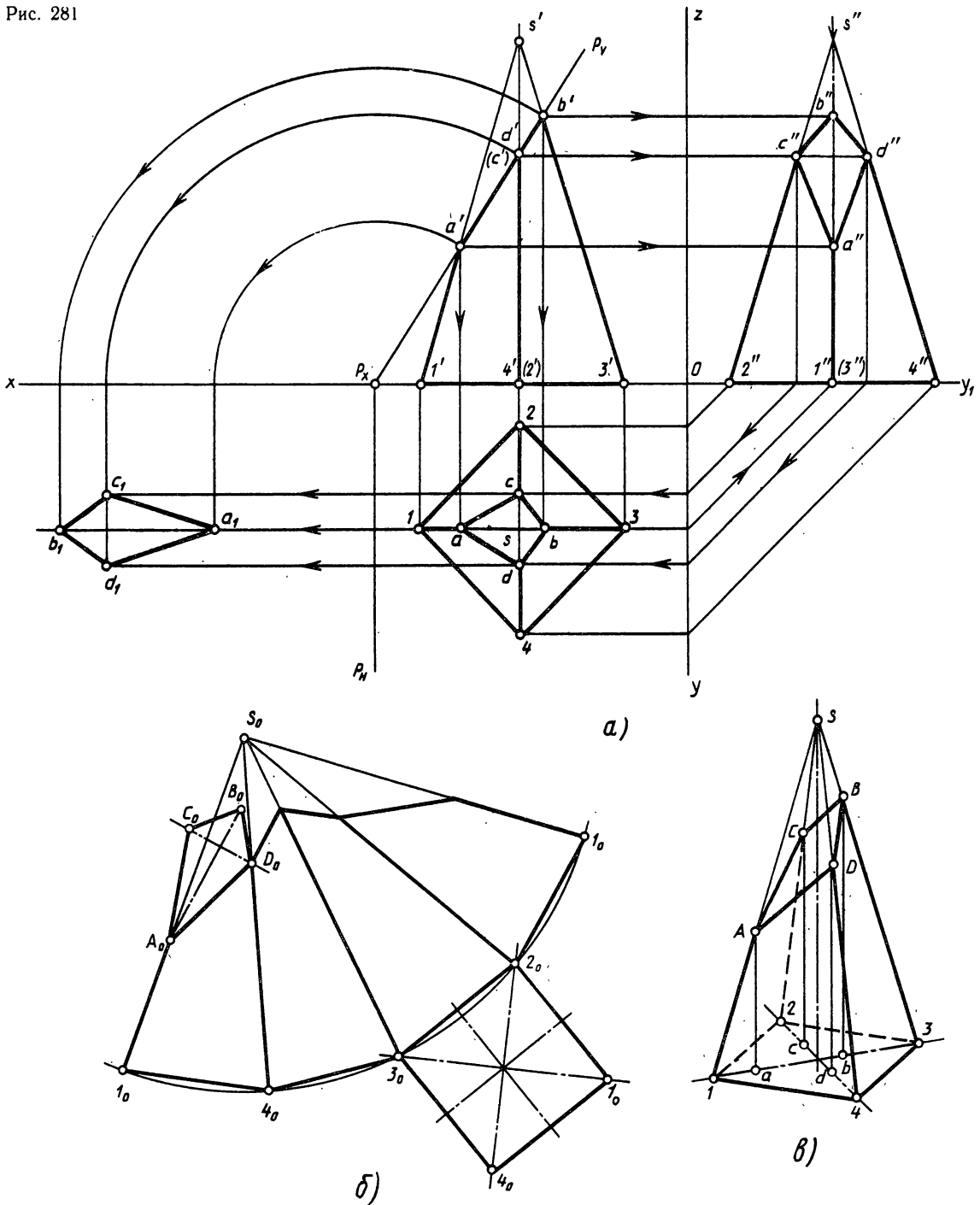


Рис. 280



(перпендикулярные  $P_H$ ), а на фронтальную — как дуги окружностей, центр которых находится в точке схода следов  $P_x$ . При совмещении плоскости  $P$  с плоскостью  $H$  фронтальный след  $P_V$  совпадает с осью  $Ox$ . Проведенными дугами натуральная величина отрезка  $a'b'$  перенесена на

ось  $Ox$ . Из полученных точек опускают перпендикуляры до пересечения их с горизонтальными проекциями соответствующих дуг, между которыми заключена натуральная ширина среза, и получают точки  $a_1, b_1, c_1$  и  $d_1$ , соединив их, получают натуральную величину среза.

## Построение усеченной пирамиды в аксонометрии

На рис. 281, *в* пирамида построена в прямоугольной диметрической проекции.

Построение начинают с центровых линий основания и высоты пирамиды параллельно направлению аксонометрических осей  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$ . По центральной линии, параллельной направлению  $Ox$ , откладывают расстояние между вершинами углов 13, взятое с горизонтальной проекции. По центральной линии, параллельной направлению оси  $Oy$ , откладывают половину расстояния между вершинами углов 24, взятого с горизонтальной проекции, учитывая коэффициент искажения по оси  $Oy$ . Соединив построенные точки отрезками, получают основание пирамиды. Из точки пересечения центровых линий основания параллельно направлению оси  $Oz$  проводят высоту пирамиды, размер которой берут с фронтальной или профильной проекции. Вершину  $S$  соединяют с вершинами основания 1, 2, 3 и 4 прямыми тонкими линиями, являющимися ребрами боковой поверхности полной пирамиды. Для построения сечения строят вторичные горизонтальные проекции  $a, b, c, d$  точек  $A, B, C, D$ . От построенных точек проводят прямые параллельно высоте пирамиды до пересечения с соответствующими боковыми ребрами в точках  $A, C, B, D$ . Соединив построенные точки отрезками, получают линию среза. От вершин углов среза до вершин углов основания ребра боковой поверхности обводят в зависимости от видимости сплошной основной или штриховой линией. Также обводятся и стороны основания пирамиды.

## Развертка поверхности усеченной пирамиды

Для построения развертки поверхность пирамиды мысленно разрезают по одному из боковых ребер, трем сторонам нижнего основания и трем сторонам фигуры среза и развертывают в одну плоскость (рис. 281, *б*). Основания треугольников боковой поверхности расположатся как хорды по дуге, радиус которой равен длине бокового ребра пирамиды. Произвольно выбирают вершину  $S_0$  развертки боковой поверхности пирамиды и радиусом  $s'1'$ , или  $s'3'$ , или  $s''2''$ , или  $s''4''$ , равным длине ребра, описывают дугу. На проведенной дуге из произвольно выбранной точки откладывают четыре отрезка, равные сторонам основания пирамиды, получают точки  $1_0 \dots 4_0$ . Затем эти точки соединяют отрезками между собой и с вершиной  $S_0$  тонкими прямыми линиями. Боковая поверхность данной пирамиды разрезана по ребру 1. От точек  $1_0 \dots 4_0$  к вершине  $S_0$  откладывают натуральные длины величины соответствующих

усеченных ребер пирамиды  $1'a'$  и  $3'b'$ , взятые с фронтальной проекции и  $2''c''$ ,  $4''d''$  — с профильной проекций. Далее к любой стороне основания боковой поверхности пристраивается основание пирамиды, а к любой стороне линии среза — натуральная величина среза. Чтобы пристроить на развертке натуральную величину среза к отрезку  $A_0D_0$ , из точки  $A_0$  проводят дугу радиусом, равным отрезку  $a_1c_1$ , взятым с натуральной величины среза, а из точки  $D_0$  — радиусом, равным  $d_1c_1$  до взаимного пересечения в точке  $C_0$ . Аналогично строят точку  $B_0$ .

## § 32. ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ ПРОЕЦИРУЮЩЕЙ ПЛОСКОСТЬЮ

При пересечении тела вращения плоскостью контур пересечения будет представлять собой замкнутую кривую линию, форма которой зависит от формы тела вращения и положения секущей плоскости относительно оси вращения. Это может быть окружность, эллипс, парабола, гипербола, а также различные сложные сочетания кривых линий. Чтобы построить линию пересечения поверхности вращения с секущей плоскостью, необходимо построить ряд точек, которые будут принадлежать и поверхности тела вращения, и плоскости. Построение следует начинать с характерных точек. К таким точкам относятся: габаритные точки, определяющие наибольшие размеры линии пересечения по высоте и ширине; точки, лежащие на крайних образующих и образующих, проекции которых совпадают с осевыми линиями. По расположению этих точек можно представить характер искомой линии пересечения.

Построив характерные точки, строят промежуточные точки, используя для этого в качестве вспомогательных линий прямые — образующие или окружности (меридианы и параллели). Строя линию пересечения, необходимо знать, по какой кривой пересекаются тела вращения — цилиндр, конус, шар и тор.

### Пересечение цилиндра проецирующей плоскостью

Если прямой круговой цилиндр расечь плоскостью, параллельной его основаниям, то линия пересечения боковой поверхности с этой плоскостью будет окружностью (рис. 282, *а*).

Если цилиндр расечь наклонной плоскостью так, чтобы пересеклись все его образующие, то линия пересечения боковой поверхности с этой плоскостью будет эллипсом, величина и

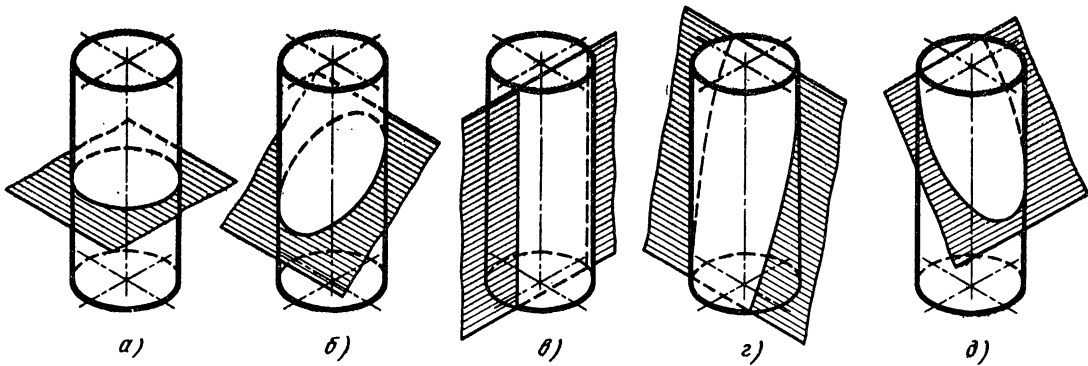


Рис. 282

форма которого зависят от угла наклона секущей плоскости к плоскостям оснований цилиндра (рис. 282, б).

Если цилиндр рассечь плоскостью, перпендикулярной к его основаниям, линия пересечения боковой поверхности с этой плоскостью будет прямоугольником (рис. 282, в).

Если цилиндр рассечь наклонной плоскостью так, что она пересечет основания и боковую поверхность, то линия пересечения будет частью эллипса, отсеченной двумя хордами оснований (рис. 282, г).

Если секущая плоскость пересечет одно основание и часть боковой поверхности, то линия пересечения боковой поверхности с этой плоскостью будет частью эллипса отсеченного одной хордой основания (рис. 282, д).

### Ортогональные проекции усеченного цилиндра

На рис. 283 изображен прямой круговой цилиндр, лежащий на плоскости  $H$ , с основаниями, параллельными профильной плоскости проекций  $W$ . Этот цилиндр рассечен фронтально-проецирующей плоскостью, заданной на рис. 283 двумя следами  $P_V$  и  $P_H$ . Требуется построить линию среза цилиндра на ортогональных проекциях, натуральную величину среза, усеченный цилиндр в изометрии и развертку поверхности усеченного цилиндра.

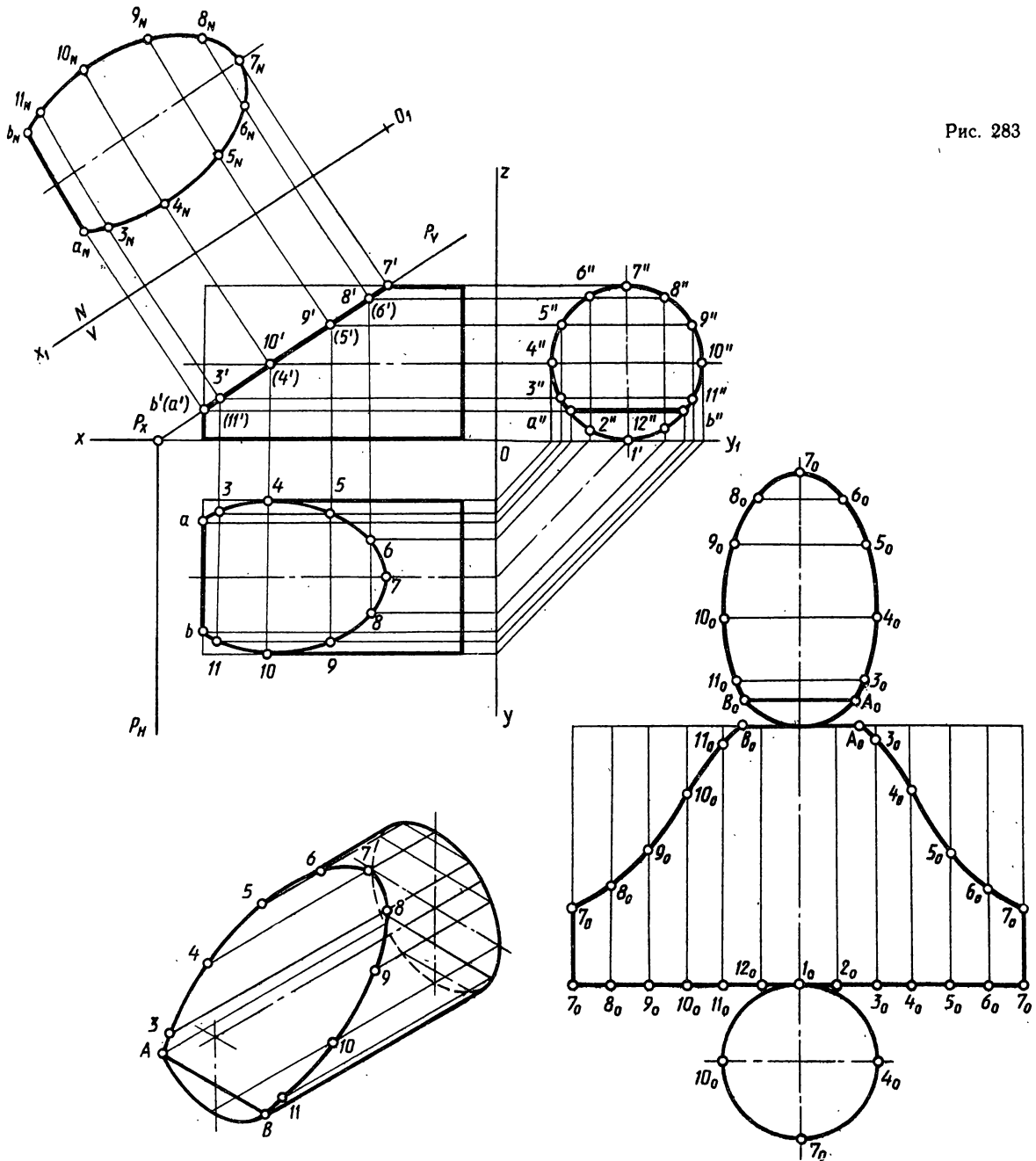
Для построения развертки боковой поверхности цилиндра, усеченного плоскостью, и для определения положения промежуточных точек при построении проекций линии среза на поверхности цилиндра проводят дополнительные образующие. На рис. 283 проведено 12 образующих. Для этого на профильной проекции основания цилиндра делят на 12 равных частей и через точки деления строят фронтальные и горизонтальные проекции этих

образующих. Прежде чем начать построение линии среза, надо представить себе эту линию. Ранее говорилось о том, что если секущая плоскость пересечет одно основание цилиндра и часть боковой поверхности, то линия пересечения будет частью эллипса.

На плоскость  $V$  линия среза, лежащая в фронтально-проецирующей плоскости, проецируется в отрезок, совпадающий с фронтальной проекцией секущей плоскости  $P$ , т. е. совпадает со следом  $P_V$ , и является натуральной величиной длины среза. Отрезки, определяющие ширину среза, направлены перпендикулярно плоскости  $V$  и проецируются на нее в точки.

На горизонтальной и профильной проекциях фигура среза изобразилась с искажением по длине, а размеры среза по ширине, измеряемой отрезками  $ab$ ;  $11, 3$ ;  $10, 4$ ;  $5, 9$ ;  $6, 8$ ; в натуральную величину, так как они параллельны плоскостям  $H$  и  $W$ . На профильной проекции фигура среза изобразится как часть круга, а на горизонтальной — как часть плоскости, очерченная эллипсом. Эллипс имеет две оси: большую, расположенную по длине среза (от точки 7 до первой образующей), и малую, расположенную по ширине среза (от точки 4 до точки 10). Малая ось эллипса, полученного при пересечении цилиндра, равна его диаметру.

Сначала строят характерные точки  $a, b, 7, 4$  и  $10$ . Для этого с фронтальной проекции на горизонтальную проводят линии проекционной связи от точки  $7'$ , лежащей здесь на верхней крайней образующей, до горизонтальной проекции этой образующей, совпадающей с осью цилиндра. Фронтальные проекции точек 4 и 10 лежат на фронтальных проекциях двух образующих, совпадающих с осью цилиндра, а на горизонтальной проекции эти образующие будут крайними. От точек  $4'$  и  $10'$  опускают линии проекционной связи на плоскость  $H$  до пересечения их с крайними образующими в



точках 4 и 10. Расстояние между точками  $A$  и  $B$  переносят линиями проекционной связи на горизонтальную проекцию с профильной от точек  $a''$  и  $b''$ .

Затем на горизонтальной проекции строят промежуточные точки, лежащие на других образующих, в том месте, где на фронтальной проекции их пересек след плоскости  $P_V$ . Боковая поверхность цилиндра пересеклась с плоскостью  $P$  по кривой линии (части эл-

липса), а основание — по отрезку прямой линии  $AB$  как линия пересечения двух плоскостей (секущей плоскости  $P$  и плоскости основания).

Для построения натуральной величины среза, фигуры среза, сечение располагают параллельно какой-либо плоскости проекций. На рис. 283 это выполнено способом перемены плоскостей проекций. Для этого берется новая плоскость  $N$ , перпендикулярная к плоскости

проекций  $V$  и параллельная плоскости  $P$ . Проекция среза на плоскости  $N$  изобразится без искажения. На чертеже параллельно следу  $P_V$  проводят линию пересечения плоскости  $V$  с плоскостью  $N$ , т. е. новую ось  $O_1x_1$  на произвольном расстоянии от следа  $P_V$ . Затем от точек  $a, b, 3 \dots 11$  перпендикулярно оси  $O_1x_1$  проводят линии проекционной связи, переносящие расстояния по длине среза с фронтальной проекции на новую плоскость  $N$ . Для построения отрезков, определяющих ширину среза, на горизонтальной проекции измеряют расстояния от оси  $Ox$  до точек  $a, b, 3, 4, 5$  и так далее и соответственно откладывают их в новой системе плоскостей от оси  $O_1x_1$ . Точки  $3_N \dots 11_N$  соединяют плавной кривой линией и обводят по лекалу, а точки  $a_N$  и  $b_N$  соединяют прямой.

#### Построение усеченного цилиндра в аксонометрии

На рис. 283 изображен усеченный цилиндр в прямоугольной изометрической проекции. Построение начинают с проведения центровых линий основания параллельно направлению аксонометрических осей  $Oy$  и  $Oz$ . Затем строят основание цилиндра, лежащее в профильной плоскости проекций, на которое переносят точки деления окружности основания на 12 равных частей с профильной проекции. Для этого по центральной линии, идущей параллельно оси  $Oz$ , на профильной проекции измеряют расстояние между линиями, параллельными оси  $Oy_1$ , и откладывают их на центральной линии в изометрии. Через эти точки проводят прямые параллельно оси  $Oy$  до пересечения с эллипсом, т. е. основанием. От точек, построенных на эллипсе, проводят 12 образующих параллельно оси  $Ox$ . На этих образующих откладывают длины усеченных образующих, взятых с фронтальной или горизонтальной проекции. Точки  $A, B, 3 \dots 11$  соединяют плавной кривой линией от руки и обводят по лекалу. Точки  $A$  и  $B$  соединяют прямой и к отрезку  $AB$  достраивают часть основания. Для этого находят центр второго основания. Он лежит на оси вращения цилиндра, проходящей через центр уже построенного основания, параллельно направлению оси  $Ox$  на расстоянии, равном высоте цилиндра. Строят недостающую часть основания.

При построении развертки поверхности усеченного цилиндра сначала строят развертку боковой поверхности полного цилиндра, которая представляет собой прямоугольник. Высота прямоугольника равна высоте цилиндра (в данном случае длине) (рис. 283). Длина прямоугольника строится приближенно. Для этого на профильной проекции измеряют хорду между двумя любыми соседними точками деления окружности основания и откладывают это расстояние 12 раз по нижней стороне развертки боковой поверхности цилиндра. Затем из всех полученных точек проводят образующие, на которых от нижней части развертки вверх откладывают расстояния, равные длинам усеченных образующих, взятых с фронтальной или горизонтальной проекций. Для построения точек  $A_0$  и  $B_0$  (на верхней линии развернутой боковой поверхности) на профильной проекции измеряют хорды  $2''a''$  и  $12''b''$  и откладывают их на развертке. Построенные на развертке боковой поверхности цилиндра точки соединяют от руки плавной кривой линией и обводят по лекалу. Далее пристраивают полное основание к любой образующей боковой поверхности снизу, а сверху — часть основания, оставшуюся после рассечения цилиндра плоскостью  $P$ , и натуральную величину среза.

#### Пересечение конуса проецирующей плоскостью

На рис. 284 показаны примеры пересечения конуса плоскостями различного положения, где каждому наглядному изображению соответствует фронтальная проекция конуса со следом секущей плоскости.

Если прямой круговой конус рассечь плоскостью, параллельной основанию, то линия пересечения боковой поверхности конуса с плоскостью будет окружностью (рис. 284, а).

Если конус рассечь наклонной плоскостью так, чтобы пересеклись все его образующие, то линия пересечения боковой поверхности конуса с плоскостью будет эллипсом (рис. 284, б).

Если конус рассечь плоскостью, проходящей через его вершину, то, будет ли плоскость перпендикулярна или наклонна к основанию, линия пересечения боковой поверхности конуса с плоскостью будет треугольником (рис. 284, в).

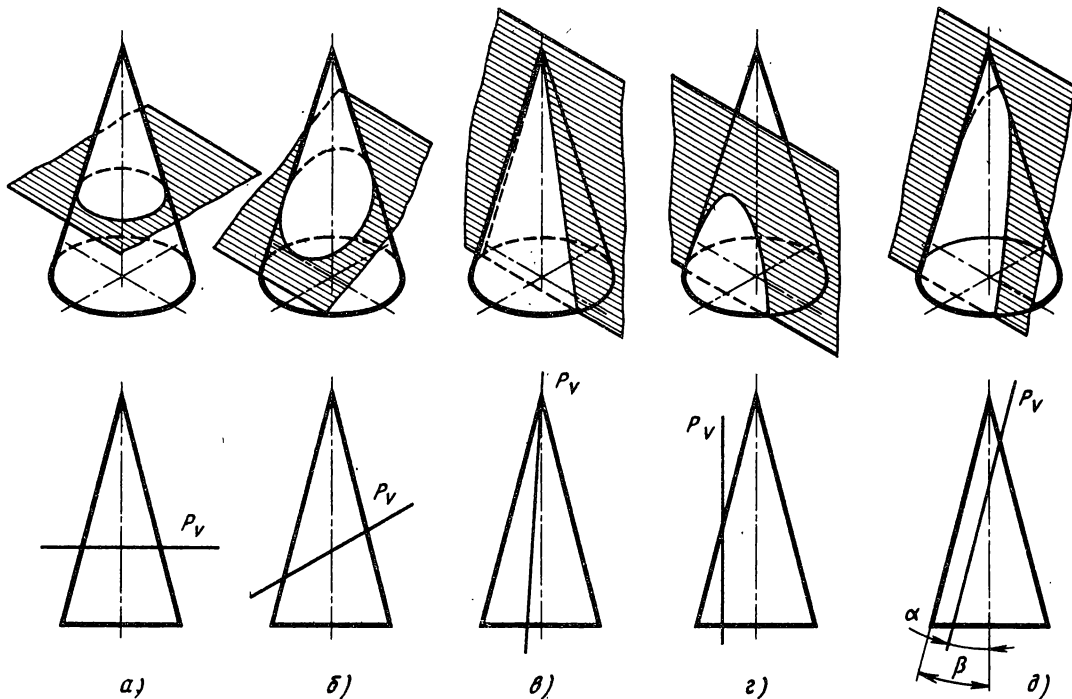


Рис. 284

Если на поверхности конуса можно провести две образующие параллельно пересекающей его плоскости, то такая плоскость пересечет боковую поверхность конуса по гиперболе (рис. 284, а).

Если плоскость пересекает конус параллельно одной образующей, то боковая поверхность конуса пересечется этой плоскостью по параболе (рис. 284, б). При таком положении плоскости, пересекающей конус, угол  $\alpha$  между ее следом и осью конуса равен углу  $\beta$  между осью и образующей конуса. Если  $\alpha > \beta$ , то в пересечении получится эллипс, а если  $\alpha < \beta$ , то в пересечении получится гипербола. Гипербола получится и тогда, когда  $\alpha = 0$ , т. е. секущая плоскость параллельна оси конуса.

#### Ортогональные проекции усеченного конуса

На рис. 285 изображен прямой круговой конус, усеченный фронтально-проецирующей плоскостью  $P$ , которая задана следами  $P_V$  и  $P_H$ . Конус стоит основанием на плоскости  $H$ . Требуется построить линию среза на ортогональных проекциях, натуральную величину среза, усеченный конус в аксонометрии и развертку поверхности усеченного конуса.

Секущая плоскость пересекает и боковую поверхность, и основание конуса, т. е.  $\alpha > \beta$ , поэто-

му в пересечении получится часть эллипса.

Так как фигура среза лежит в плоскости  $P$ , перпендикулярной плоскости  $V$ , то на фронтальную плоскость проекций эта фигура спроецируется в отрезок, совпадающий с фронтальным следом  $P_V$  плоскости  $P$ . Большая ось эллипса фигуры среза на фронтальной проекции проецируется на след  $P_V$  без искажения и равна отрезку от точки пересечения продолженной фронтальной проекции крайней левой образующей конуса со следом  $P_V$  до точки  $a'$ . Через середину большой оси перпендикулярно к ней проходит малая ось эллипса  $CD$ , которая на фронтальной проекции изобразилась точкой  $d'(c')$ .

Таким образом на плоскости  $V$  длина среза изобразилась в натуральную величину, а отрезки, определяющие ширину среза, спроецировались в точки, так как перпендикулярны плоскости  $V$ .

При построении линии среза на горизонтальной и профильной проекциях строят сначала габаритные точки, т. е. точки, лежащие на большой и малой осях. Сначала строят точки  $a$  и  $a''$ . На фронтальной проекции точка  $a'$  лежит на правой крайней образующей, горизонтальная проекция которой совпадает с центральной линией, параллельной оси  $Ox$ . Опустив из точки  $a'$  линию проекционной связи до пересечения с центральной линией на горизонтальной

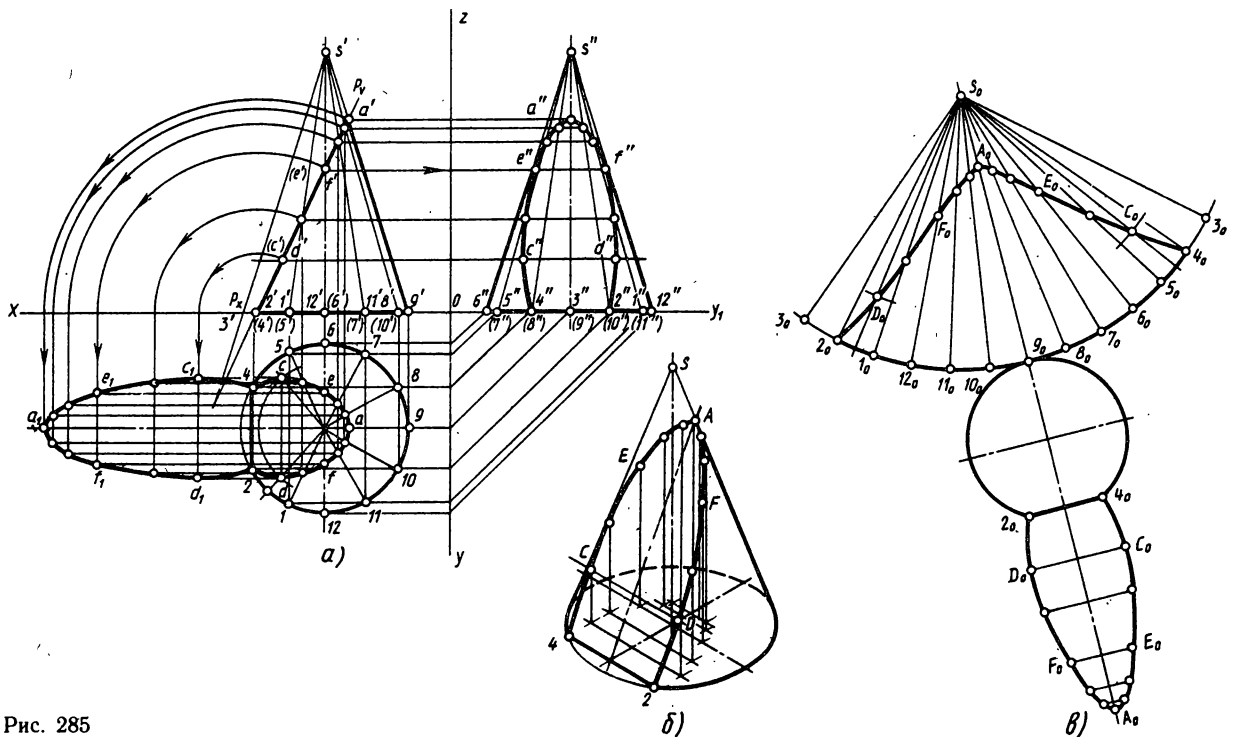


Рис. 285

проекции, получим точку  $a$  — проекцию точки  $A$ . Профильная проекция правой крайней образующей совпадает на плоскости проекций  $W$  с осью конуса. Здесь и будет лежать профильная проекция  $a''$  точки  $A$ . Второй конец большой оси отсекается основанием конуса. В этом месте плоскость  $P$  пересеклась с основанием по отрезку  $24$ . Эти точки лежат на окружности основания, опустив линии проекционной связи с фронтальной проекции из точек  $2'$  и  $4'$  до горизонтальной проекции окружности основания, получают точки  $2$  и  $4$ . Затем с помощью линий проекционной связи эти точки строят на профильной проекции ( $2''$  и  $4''$ ).

Для построения горизонтальной проекции малой оси  $CD$  на фронтальной проекции через точку, в которую спроецировалась малая ось, проводят прямую линию (проекцию параллели). Радиусом, равным радиусу параллели (от оси до крайней образующей); на горизонтальной проекции проводят дугу в левой части горизонтальной проекции конуса. На горизонтальную проекцию параллели с фронтальной из точек  $c'$  и  $d'$  проводят линии проекционной связи для построения точек  $c$  и  $d$ . Затем с помощью линий проекционной связи, проведенных с горизонтальной и фронтальной проекций, на профильной проекции строят малую ось  $c''d''$ .

Основные точки среза построены. Теперь строят промежуточные точки. Для этого на

поверхности конуса проводят дополнительные образующие. Для этого основание конуса разделили на 12 равных частей и провели проекции 12 образующих на трех проекциях конуса. Далее находят точки, в которых плоскость  $P$  пересекла дополнительные образующие сначала на фронтальной проекции, а потом с помощью линий проекционной связи строят их на двух других проекциях.

Если не требуется выполнения развертки боковой поверхности конуса, то удобнее строить точки линии среза с помощью параллелей, как построены точки  $C$  и  $D$ .

Для построения натуральной величины фигуры среза применен способ совмещения. Плоскость  $P$  совмещают с плоскостью  $H$ . Для этого плоскость  $P$  поворачивают вокруг горизонтального следа  $P_H$ . При этом фронтальный след  $P_V$  совпадает с осью  $Ox$ . Каждая точка линии среза описала дугу, центром которой будет точка схода следов  $P_X$ . Дугами на ось  $Ox$  переносят натуральную длину среза и расстояния между точками  $c''$ ,  $e''$ ,  $a'$ ,  $f'$ ,  $d'$ . Затем от каждой точки среза, перенесенной на ось, проводят прямые, на которых нужно построить точки, определяющие ширину среза. Для этого на плоскости  $H$  от каждой точки горизонтальной проекции среза проводят прямые, в которые спроецировались дуги вращения, до пересечения с соответствующими прямыми, проведенными от точек, распо-

ложенных на оси  $Ox$ . Полученные точки  $c_1$ ,  $\varepsilon_1$ ,  $a_1$ ,  $f_1$ ,  $d_1$  соединяют от руки и обводят по лекалу.

### Построение усеченного конуса в аксонометрии

На рис. 285, б показано построение усеченного конуса в прямоугольной изометрической проекции. Сначала проводят центровые линии основания конуса параллельно направлению аксонометрических осей  $Ox$  и  $Oy$ . Строят окружность основания. Так как основание отсечено плоскостью  $P$  по отрезку 24, то с горизонтальной проекции в изометрию переносят расстояние от центра основания до отрезка 24. Затем по координатам строят вторичные горизонтальные проекции точек, принадлежащих линии среза, и от этих точек параллельно оси  $Oz$  проводят прямые, на которых откладывают расстояния, взятые с фронтальной или профильной проекции от проекции основания до проекции линии среза. Построенные точки линии среза соединяют от руки плавной кривой линией и обводят по лекалу. Касательно к линии среза и основанию конуса проводят контурные линии боковой поверхности.

### Развертка поверхности усеченного конуса

Выполняя развертку боковой поверхности конуса, из произвольно взятой точки  $S_0$  радиусом, равным длине крайней образующей, взятым на ортогональных проекциях, проводят дугу (рис. 285, в). По дуге от произвольно выбранной точки откладывают последовательно 12 хорд, взятых с горизонтальной проекции основания конуса. Все 12 точек на дуге соединяют с вершиной  $S_0$  прямыми, которые являются дополнительными образующими, проведенными на поверхности конуса для построения линии среза. Затем на каждой образующей, лежащей на развертке боковой поверхности, откладывают действительные длины усеченных образующих, полученные способом вращения на фронтальной плоскости проекций. Полученные точки соединяют плавной кривой линией от руки и обводят по лекалу. Затем к любой точке боковой поверхности пристраивают основание и натуральную величину среза.

### Пересечение шара проецирующей плоскостью

Шар представляет собой единственное геометрическое тело, поверхность которого пересекается плоскостью любого положения всегда по окружности.

Секущие плоскости, проходящие через вертикальную ось шара, пересекают его по меридианам. Секущие плоскости, проходящие перпендикулярно к вертикальной оси шара, пересекают его по параллелям.

### Ортогональные проекции усеченного шара

На рис. 286 изображен шар в трех ортогональных проекциях, усеченный горизонтально-проецирующей плоскостью. Эта плоскость пересекает шар по окружности, которая на горизонтальную плоскость проекций проецируется в отрезок, совпадающий с горизонтальным следом  $P_H$  плоскости  $P$ . Фронтальная и профильная проекции этой окружности изобразятся эллипсами, так как плоскость среза расположена наклонно к плоскостям  $V$  и  $W$ .

Построение эллипса начинают с характерных точек, которыми будут концы большой и малой осей. Малая ось эллипса  $AB$  будет лежать на экваторе. Точки  $a$  и  $b$  с горизонтальной проекции с помощью линий проекционной связи переносят на фронтальную ( $a'$  и  $b'$ ) и профильную ( $a''$  и  $b''$ ) проекции экватора. Большая ось эллипса располагается перпендикулярно к малой оси. Для ее построения на горизонтальной проекции из точки  $O_1$  проводят перпендикуляр к малой оси  $AB$ . Большая ось на горизонтальную плоскость проекций проецируется в точку  $d$  ( $c$ ). Из этой точки с горизонтальной проекции на фронтальную и профильную проводят линии проекционной связи. Большая ось на этих плоскостях проекций будет параллельной оси  $Oz$  и равна диаметру окружности, лежащей в плоскости среза. Это расстояние ( $ab$ ) измеряют на горизонтальной проекции и переносят на фронтальную и профильную проекции, получая фронтальную проекцию  $c'd'$  и профильную проекцию  $c''d''$  большой оси. Затем строятся точки  $N$  и  $M$ , лежащие на фронтальном меридиане, и точки  $E$  и  $F$ , лежащие на профильном меридиане. В точках  $m'$  и  $n'$  фронтальная проекция эллипса будет касаться очеркового фронтального меридиана. В точках  $e''$  и  $f''$  профильная проекция эллипса будет касаться очеркового профильного меридиана. Промежуточные точки 1, 2, 3 и 4 построены с помощью двух параллелей, проведенных на одинаковом расстоянии от экватора.

Натуральная величина среза построена способом совмещения плоскости  $P$  с плоскостью  $H$ . Поскольку линия среза представляет собой окружность, строят ее центр и проводят окружность радиусом, который берется с горизонтальной проекции, где натуральный диаметр окружности среза равен расстоянию  $ab$ .

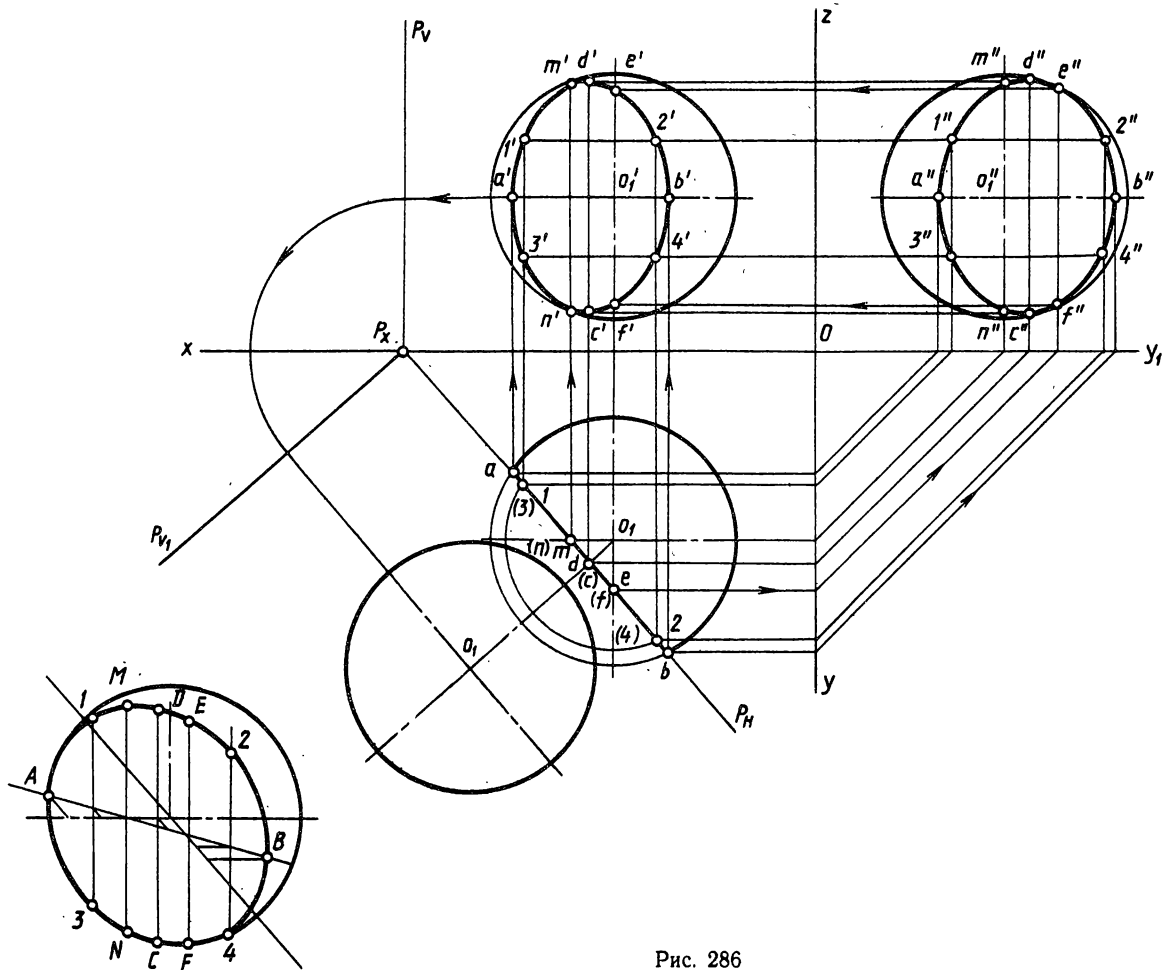


Рис. 286

**Построение усеченного шара в аксонометрии**

На рис. 286 показано построение усеченного шара во фронтальной косоугольной диметрии. Сначала проводят осевые линии шара параллельно направлению аксонометрических осей, в точке их пересечения берут центр шара. В плоскости экватора по координатам строят вторичные горизонтальные проекции точек, принадлежащие линии среза, от которых параллельно направлению оси  $Oz$  проводят прямые линии. На этих линиях вверх и вниз от плоскости экватора откладывают соответствующие расстояния до точек среза, взятые с фронтальной проекции. Построенные в аксонометрии точки среза соединяют от руки плавной кривой линией и обводят по лекалу. Далее из центра шара радиусом, равным половине большей оси эллипса (экватора), описывают очерковую окружность шара, так как контурная линия шара в аксонометрии — это окружность с ра-

диусом, равным радиусу данной окружности умноженному на соответствующий коэффициент.

**Пересечение тора проецирующей плоскостью**

Если тор пересекать плоскостями, проходящими через ось тора, то линия пересечения поверхности тора и плоскости в зависимости от формы образующей тора будет либо окружностью, либо дугой окружности.

Если тор пересекать плоскостями, перпендикулярными оси вращения, то его поверхность будет пересекаться всегда по окружности.

Если тор пересекать плоскостями, наклонными к оси вращения или параллельно ей, то его поверхность будет пересекаться по кривым линиям.

**Ортогональные проекции усеченного тора**

На рис. 287 в трех ортогональных проекциях изображена четверть тора, усеченного

фронтально проецирующей плоскостью. На фронтальной проекции линии среза спроецировалась в отрезок, совпадающий с фронтальным следом  $P_V$  плоскости  $P$ . Линию среза на горизонтальной и профильной проекциях начинают строить с характерных точек. Сначала строят точки  $A$  и  $B$ , затем — точку  $K$ . Самая широкая часть линии среза (отрезок  $CD$ ) находится между двух параллелей, касательных к плоскости  $P$ . Для их построения из точки  $O$  к фронтальному следу  $P_V$  строят перпендикуляр и через полученную точку пересечения его со следом  $P_V$  проводят дугу радиусом, равным  $Od'$ , которая будет являться фронтальной проекцией двух параллелей. Затем строят горизонтальную и профильную проекции параллелей и на них с помощью линий проекционной связи, проведенных с фронтальной проекции, строят горизонтальные ( $c$  и  $d$ ) и профильные ( $c''$  и  $d''$ ) проекции точек  $C$  и  $D$ . Точки  $E$  и  $F$  построены с помощью двух дополнительных параллелей, проходящих через точки  $A$  и  $B$ . Для этого проводят фронтальные проекции этих параллелей из точки  $O$  радиусом  $Oa'$ . Фронтальные проекции параллелей пересекаются со следом  $P_V$  в точках  $e'$  и  $f'$ , а затем строят горизонтальную и профильную проекции этих параллелей и на них с помощью линий проекционной связи, проведенных от фронтальных проекций  $e'$  и  $f'$ , строят горизонтальные ( $e$  и  $f$ ) и профильные ( $e''$  и  $f''$ ) проекции точек.

Натуральная величина среза тора построена способом перемены плоскостей проекций, где плоскость  $H$  заменена плоскостью  $N$ , перпендикулярной плоскости  $V$  и параллельной плоскости среза.

### Построение усеченного тора в аксонометрии

На рис. 287 усеченная плоскостью  $P$  четверть тора изображена в прямоугольной изометрической проекции. Сначала строят в изометрии два круга, лежащие в плоскостях  $H$  и  $W$ , которыми ограничена заданная часть тора. Линия среза строится в такой последовательности: сначала в плоскости круга, лежащего в плоскости  $H$ , построены вторичные горизонтальные проекции точек, принадлежащих срезу; затем от этих точек параллельно оси  $Oz$  проводят прямые, на которых откладывают расстояния, взятые с фронтальной проекции, от оси  $Ox$  до точек  $k', e', f', c', d'$ . Построенные точки, принадлежащие линии среза в изометрии, соединяются от руки плавной кривой линией и обводятся по лекалу.

### § 33. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ СРЕЗА

Если какая-либо модель (или деталь) срезана проецирующей плоскостью, и требуется по-

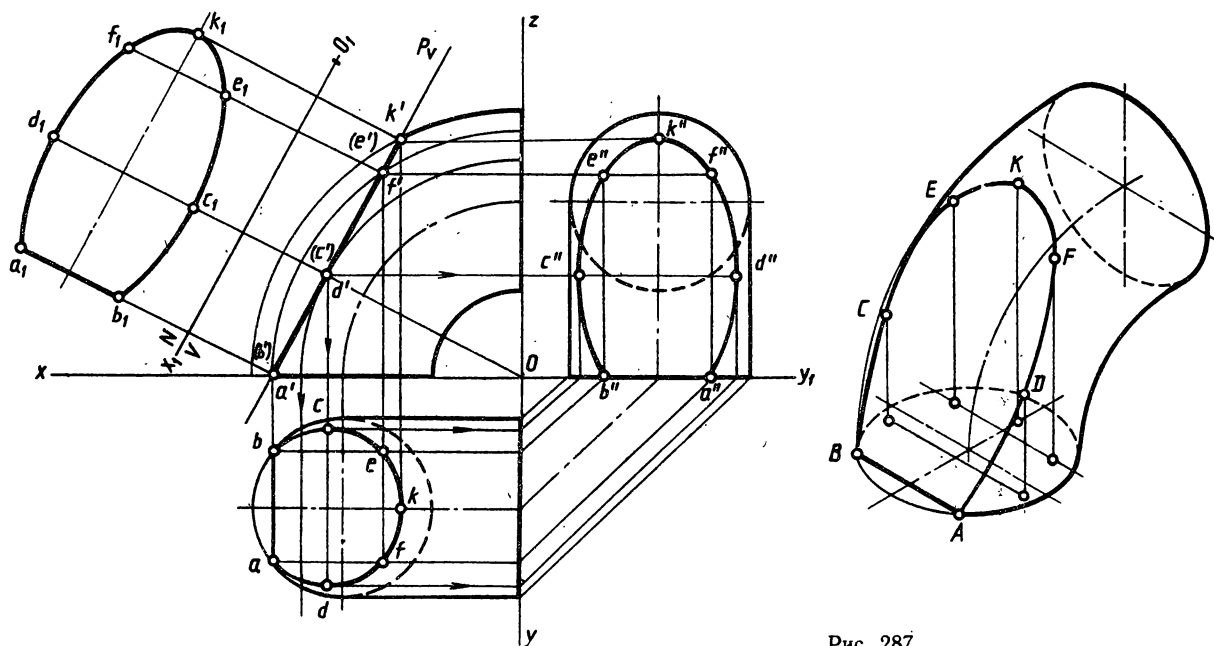


Рис. 287

строить фигуру среза в ортогональных проекциях, в аксонометрии и натуральную величину среза сечения, то сначала анализируют форму модели, т. е. определяют, из каких геометрических тел она состоит. Мысленно расчленив модель на составные геометрические тела, определяют, какая геометрическая фигура получится в пересечении каждого геометрического тела секущей плоскостью. Затем мысленно собирают отдельные линии среза в одну замкнутую линию и приступают к построению. Выбирают последовательность построений, переходя от одной части модели к другой.

На рис. 288 приведено построение линии среза в ортогональных проекциях, аксонометрии и построение его натуральной величины состоящей из трех геометрических тел. В основании находится цилиндр, на нем стоит шестиугольная призма, на призме — усеченный конус. Тело рассечено фронтально-проецирующей плоскостью так, что пересекается поверхность всех трех геометрических тел. Сначала надо представить себе, какая геометрическая фигура будет лежать в срезе каждого рассеченного здесь геометрического тела. Начинать анализ можно как с цилиндра, так и с конуса, но анализировать следует последовательно, мысленно представляя фигуру среза всей модели.

Начнем с конуса. При продолжении очерковых линий конуса и следа плоскости  $P_V$  видно, что плоскость пересечет все образующие конуса, значит, на срезе должен получиться эллипс. Но так как плоскость  $P$  пересекает еще основание конуса, то на срезе будет не полный эллипс, а только его часть. Последние две точки эллипса лежат на нижнем основании конуса. Нижнее основание конуса с плоскостью  $P$  пересекается по прямой линии (как две плоскости). В этой же плоскости нижнее основание конуса лежит верхнее основание шестиугольной призмы (они сливаются), которое с плоскостью  $P$  тоже пересекается по прямой, частично совпадающей с прямой, по которой пересекается основание конуса.

На сторонах верхнего основания шестиугольной призмы будут лежать две точки, принадлежащие срезу. Далее, две боковые грани призмы пересекаются с плоскостью  $P$  по двум отрезкам от точек, лежащих на верхнем основании призмы, до точек, лежащих на боковых ребрах. В пересечении следующих двух граней призмы с плоскостью  $P$  тоже получают отрезки прямых. Последние две точки, в которых призму пересекает плоскость  $P$ , лежат на сторонах ее нижнего основания. Итак, поверхность призмы пересекается по двум одинаковым ломаным линиям.

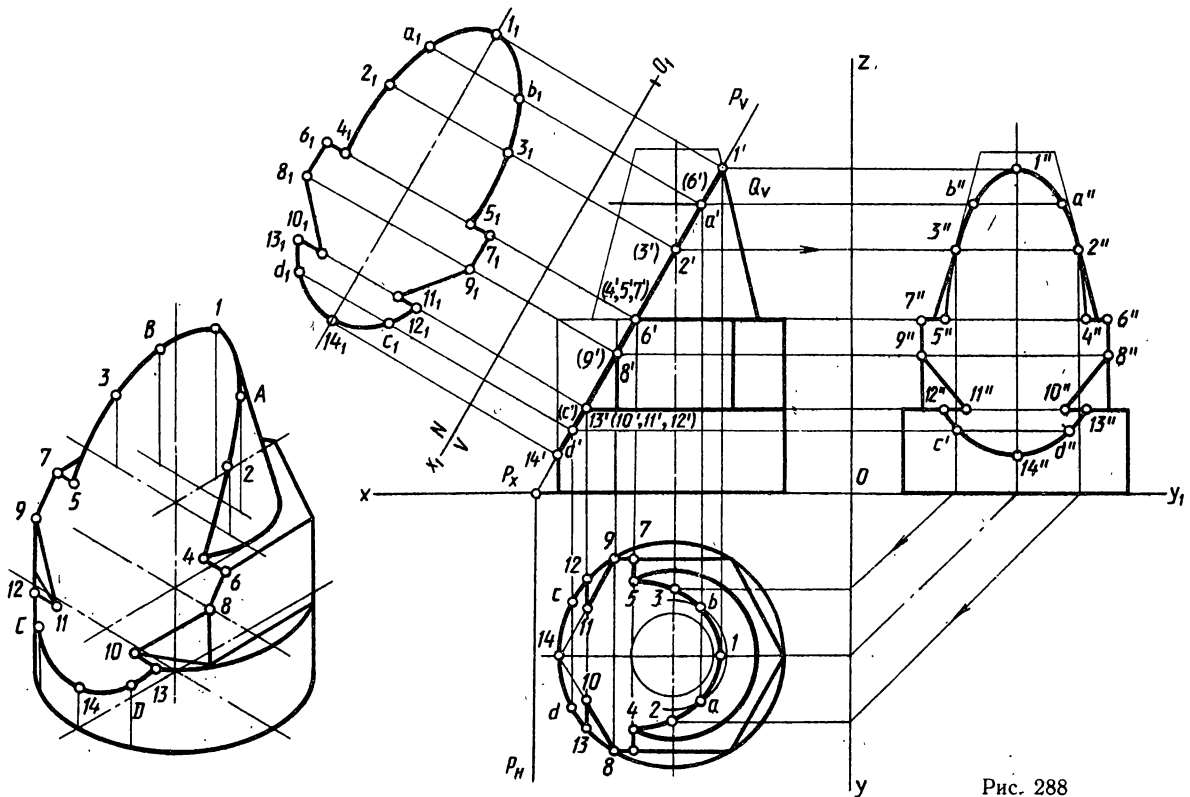


Рис. 288

Последнее геометрическое тело, пересекаемое плоскостью  $P$ , — цилиндр. Плоскость  $P$  пересекает верхнее основание цилиндра по отрезку прямой, совпадающей с прямой, по которой пересекает плоскость  $P$  нижнее основание призмы. Далее плоскость  $P$  пересекает часть боковой поверхности цилиндра. Так как плоскость  $P$  расположена наклонно к образующим цилиндра, то в плоскости среза будет часть эллипса.

Итак, представив себе форму линии среза, можно приступить к ее построению. Начинать строить точки, принадлежащие срезу, нужно в той же последовательности.

Сначала строят точки, принадлежащие эллипсу, по которому пересеклась поверхность конуса. В точке  $1'$  след плоскости  $P_V$  пересекает крайнюю правую образующую. С помощью линий проекционной связи строят горизонтальную и профильную проекции этой точки. Фронтальные проекции точек  $2$  и  $3$  лежат на одноименных проекциях двух образующих, сливающихся с осью конуса. Эта пара образующих на профильной проекции будет крайней. Горизонтальные проекции точек  $2$  и  $3$  построены после того, как определены их профильные проекции. Горизонтальные и профильные проекции точек  $4$  и  $5$ , лежащих на нижнем основании конуса, строят с помощью линий проекционной связи. Расстояние между точками  $2$ ,  $1$ ,  $3$  велико для того, чтобы их можно было соединить плавной кривой линией от руки. Между этими точками необходимо построить еще дополнительные точки. Для этого между точками  $2$ ,  $1$ ,  $3$  проводят параллель. На этой параллели находятся точки  $A$  и  $B$ , которые принадлежат линии среза. На горизонтальную плоскость проекций эта параллель проецируется в окружность. Радиус ее равен расстоянию от оси конуса до крайней образующей. Затем на эту окружность с фронтальной проекции проводят линию проекционной связи для построения точек  $a$  и  $b$ . На профильной проекции точки  $a''$  и  $b''$  строят с помощью линий проекционной связи, проведенных с фронтальной и горизонтальной проекций.

Затем строят линию пересечения плоскости  $P$  с призмой. Фронтальная проекция верхнего основания призмы, совпадающего с нижним основанием конуса, пересекается со следом плоскости  $P_V$  в точках  $6'$  и  $7'$ . С помощью линий проекционной связи строят горизонтальные и профильные проекции этих точек. Сначала строят точки на той плоскости проекций, где основание призмы проецируется как шестиугольник (горизонтальная плоскость проекций), а потом там, где оно проецируется в линию (профильная плоскость проекций). Строят точки  $8$  и  $9$ , которые лежат в пересече-

нии плоскости  $P$  с двумя ребрами боковой поверхности, проецирующимися на плоскость  $V$  в прямую. На горизонтальную плоскость проекций эти ребра, с лежащими на них точками  $8$  и  $9$ , проецируются в точки, совпадающие с проекциями вершин основания. На плоскости  $W$  проекции этих ребер сливаются с проекциями двух боковых граней и изображаются как две крайние очерковые линии призмы, на которые с фронтальной проекции проводят линии проекционной связи и строят проекции точек  $8$  и  $9$ . Нижнее основание призмы пересекается с плоскостью  $P$  в точках  $10$  и  $11$ . Эти точки строят так же, как точки  $4$  и  $5$ , лежащие на верхнем основании призмы.

Теперь строят точки линии пересечения плоскости  $P$  с цилиндром. Фронтальная проекция верхнего основания цилиндра изображается отрезком, совпадающим с проекцией нижнего основания призмы. Верхнее основание цилиндра пересекается с плоскостью  $P$  в точках  $12$  и  $13$ , которые на фронтальной проекции сливаются в одну точку и совпадают с проекциями точек  $10$  и  $11$ , так как лежат на одной прямой, перпендикулярной к плоскости  $V$ . С помощью линий проекционной связи строят сначала точки  $12$  и  $13$  на горизонтальной проекции основания цилиндра, а потом на профильной проекции. На фронтальной плоскости проекций след  $P_V$  пересекает левую крайнюю образующую цилиндра в точке  $14$ . На горизонтальную плоскость проекций точка  $14$  проецируется в ту же точку, что и сама крайняя образующая цилиндра, т. е. в точку, лежащую в месте пересечения окружности основания с горизонтальной центральной линией. На плоскость  $W$  эта крайняя образующая проецируется, совпадая с осью цилиндра, где и строится точка  $14''$ . Между точками  $12$ ,  $13$  и  $14$  следует взять еще две промежуточные точки для построения плавной кривой линии — эллипса. Для этого на фронтальной плоскости проекций произвольно берут фронтальные проекции точек  $C$  и  $D$ , которые здесь проецируются в одну точку. Затем строятся их горизонтальные ( $c$  и  $d$ ) и профильные ( $c''$  и  $d''$ ) проекции.

Построение точек, принадлежащих линии среза данной модели, пересеченной плоскостью  $P$ , закончено. Теперь необходимо последовательно соединить построенные точки. Кривые линии соединяют от руки и обводят по лекалу, а ломаные линии соединяют с помощью линейки (см. рис. 288).

Натуральная величина фигуры среза построена на рис. 288 способом перемены плоскостей проекций, где плоскость  $H$  заменена плоскостью  $N$ , перпендикулярной к плоскости  $V$  и параллельной плоскости  $P$ .

В прямоугольной изометрической проекции часть точек, принадлежащих линии среза конуса, построена по координатам. Сначала в плоскости нижнего основания построены вторичные горизонтальные проекции этих точек, а потом от них параллельно направлению аксонометрической оси  $Oz$  проведены прямые линии, на которых по высоте отложены расстояния до соответствующих точек, взятые с фронтальной плоскости проекций от нижнего основания конуса до точек, лежащих на линии среза.

Точки 6, 7, 8, 9 построены на ребрах призмы путем измерения действительных размеров ребер на фронтальной проекции и переноса соответственно в изометрию, так как ребра в изометрии параллельны аксонометрическим осям и изображаются без искажения. Точки 10, 11, 12 и 13 этим способом строить нельзя, так как точки 10 и 11 лежат на ребрах нижнего основания, не параллельных осям  $Ox$  и  $Oy$ , точки 12 и 13 лежат на окружности верхнего основания цилиндра. Для их построения в прямоугольной изометрии параллельно направлению оси  $Oy$  проводят прямую, связывающую эти точки, на таком расстоянии от центра окружности, в которой они расположены, на каком она проходит на плоскости  $H$ . Точку 14 строят на образующей, выходящей из конца центральной линии основания, идущей параллельно направлению оси  $Ox$ . Образующая будет параллельна направлению оси  $Oz$ . На ней откладывают расстояние, взятое с фронтальной проекции от нижнего основания цилиндра до точки 14'. Точки  $C$  и  $D$  построены с помощью прямой, связывающей их. Она параллельна направлению оси  $Oy$ . Из точек пересечения этой прямой с окружностью нижнего основания цилиндра проводят образующие параллельно направлению оси  $Oz$  и на них откладывают расстояния до точек  $C$  и  $D$ , взятые с фронтальной проекции, от нижнего основания до точек  $c'$  и  $d'$ .

В практике часто используются детали, форма которых представляет собой частично срезаемые тела вращения. При выполнении чертежей таких деталей необходимо уметь строить эти линии среза.

Приступая к выполнению чертежа такой детали, прежде всего определяют границы между геометрическими телами, из которых состоит деталь. Для этого надо хорошо знать, как образуются различные поверхности вращения.

На рис. 289 показана заготовка рукоятки, расчлененная на составные элементы. Она состоит из шара, двух усеченных конусов, тора и цилиндра. Все эти геометрические тела имеют общую ось вращения, вдоль которой они сре-



Рис. 289

заны двумя плоскостями. На рис. 290 эта деталь изображена в трех ортогональных проекциях и изометрии. Линия среза выполнена фронтальными плоскостями, расположенными на одинаковом расстоянии от оси детали. Линии среза поэтому будут одинаковыми, и строить нужно только одну из них.

Прежде чем приступить к построению линии среза, определяют границы перехода поверхности одного геометрического тела в другое. Так как тела вращения имеют здесь общую ось, то границами в каждом случае будут окружности. Для построения проекции этих окружностей на фронтальной плоскости, где они изображаются отрезками, находят точки касания очерка шара. Для этого из центра шара к крайним образующим конуса проводят перпендикуляры. То же самое делают при определении границы между конусом и тором, где из центра образующей тора проводят перпендикуляр к крайней образующей конуса. Заданная длина образующих цилиндра дает с левой стороны границу между тором и цилиндром, а с правой — между цилиндром и конусом.

Определив границу между смежными элементами, мысленно представляют себе фигуру линии среза, которая получится в каждом отдельном случае. Поверхность шара будет пересекаться по окружности, конуса — по гиперболе, тора — по кривой линии, цилиндра — по образующим, правого последнего конуса — по гиперболе.

Представив себе линию среза, приступают к построению. Сначала строят окружность, по которой плоскость пересекает шар. Радиус ее берут на горизонтальной проекции от центральной линии шара до точки  $a$ . На фронтальной проекции из центра шара описывают окружность до пересечения с окружностью, которая проецируется в прямую в точках  $1'$  и  $2'$ . Эти точки принадлежат концам гиперболы, по ко-

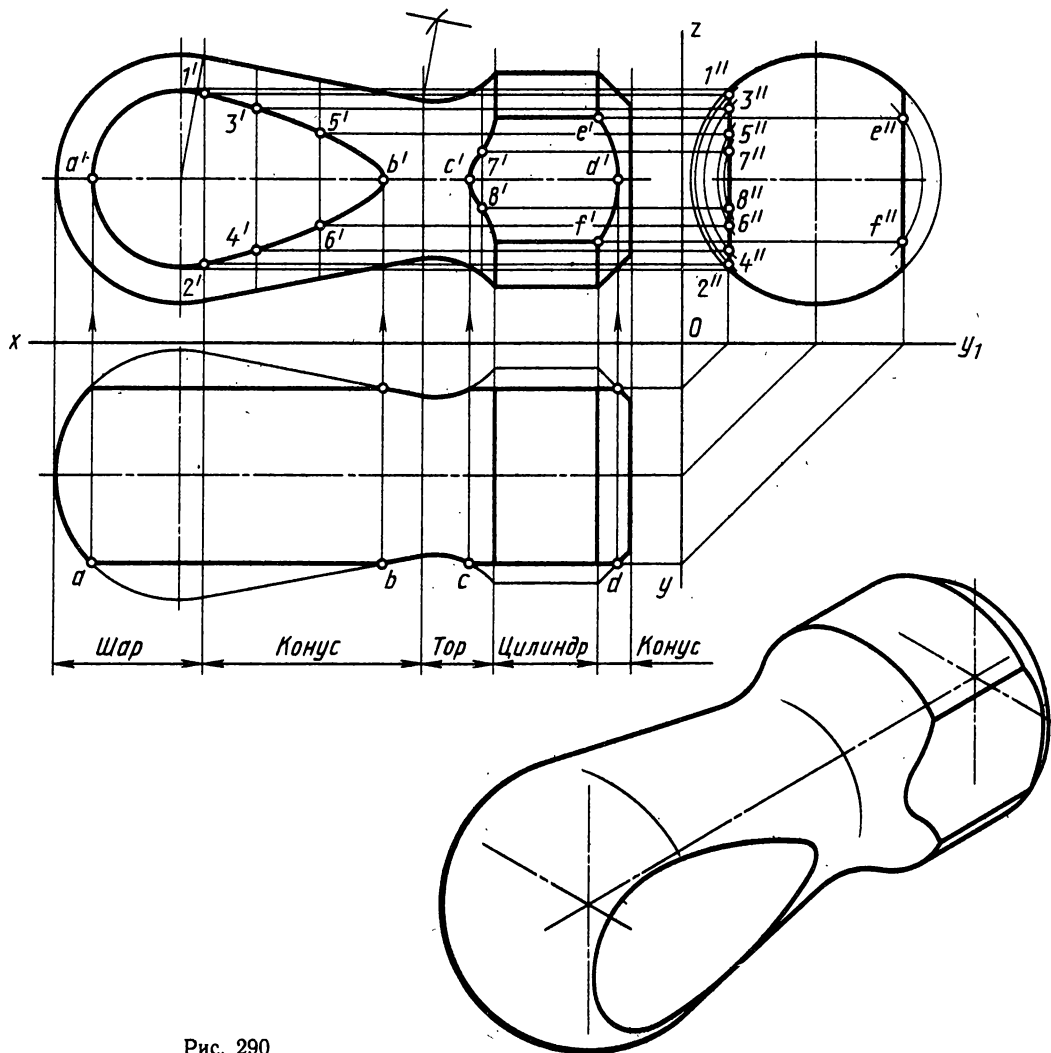


Рис. 290

торой пересекается конус, граничащий с шаром. Сначала строят фронтальную проекцию  $b'$  вершины гиперболы с помощью линий проекционной связи, проведенных с горизонтальной проекции, где она получилась в результате пересечения крайних образующих конуса с секущей плоскостью. Для построения промежуточных точек гиперболы  $3, 4, 5$  и  $b$  проводят параллели на поверхности конуса и находят точки, в которых они пересекаются с плоскостью среза. При построении этих точек используют профильную проекцию, на которой параллели изобразятся как окружности, а плоскости, срезающие их, — как отрезки. Видимая на фронтальной проекции линия среза на профильной проекции располагается справа от оси изображения, но для удобства построения точки, принадлежащие линии среза, определяют слева,

так как фигуры среза одинаковые, а профильная проекция при этом не перечеркивается линиями проекционной связи, затрудняющими чтение чертежа.

Линия среза рукоятки фронтальной плоскостью состоит из двух частей. Одна часть ее построена. Теперь строят вторую. Сначала строят образующие, по которым пересекается боковая поверхность цилиндра с плоскостью. Для этого на профильной проекции справа проведена часть окружности цилиндра до пересечения ее с плоскостью в точках  $e''$  и  $f''$ . В эти точки на профильную проекцию проецируются искомые образующие. С помощью линий проекционной связи расстояние между образующими (отрезок  $e''f''$ ) переносят на фронтальную проекцию, где проводят две линии пересечения боковой поверхности цилиндра

ра с плоскостью. Длина их равна длине заданного цилиндра. С левой стороны конечные точки этих образующих будут начальными точками кривой линии, по которой плоскость пересекает тор, так как они лежат на границе между цилиндром и тором. Вершину линии среза тора — точку  $c'$  строят на фронтальной проекции с помощью линии проекционной связи, проведенной с горизонтальной проекции, где эта точка получилась в результате пересечения образующей тора с плоскостью среза. Промежуточные точки  $7'$  и  $8'$  на фронтальной проекции строят с помощью произвольно проведенной параллели. Построенные точки соединяют от руки и обводят по лекалу.

Гипербола, по которой пересекается правый конус, строится без промежуточных точек, так как вполне достаточно трех имеющихся точек. Точки  $e'$  и  $f'$  будут концами ветви гиперболы, а фронтальная проекция вершины  $d'$  строится

с помощью линии проекционной связи, проведенной с горизонтальной проекции от точки  $d$ , которая получилась в результате пересечения крайней образующей конуса с секущей плоскостью.

Линии среза на горизонтальной и профильной проекциях проецируются в отрезки.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Какой геометрической фигурой является фигура среза многогранника плоскостью, расположенной наклонно к его основаниям?

2. Какой геометрической фигурой является линия пересечения тела вращения плоскостью общего положения?

3. Какие линии получатся при пересечении конуса плоскостью, параллельной одной его образующей и параллельной двум его образующим?

4. Какая линия получится в пересечении цилиндра наклонной плоскостью, пересекающей все его образующие?

5. Какие геометрические фигуры получатся при пересечении шара плоскостями различного положения?

## ГЛАВА X

# ВЗАИМНОЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ

В технике часто встречаются детали, в конструкции которых имеются различные геометрические тела, расположенные таким образом, что их поверхности взаимно пересекаются. При взаимном пересечении таких поверхностей образуются линии пересечения (линии перехода). Эти линии принадлежат одновременно двум поверхностям. По форме они могут быть плоскими и пространственными кривыми или ломаными линиями.

При взаимном пересечении кривых поверхностей линия пересечения представляет собой пространственную кривую, и лишь в некоторых случаях может получиться плоская кривая (окружность, эллипс) или прямые линии. При взаимном пересечении поверхностей многогранников линия пересечения представляет собой замкнутую ломаную линию. В зависимости от взаимного расположения поверхностей пересекающихся тел может получиться: одна замкнутая линия взаимного пересечения, если поверхность одного геометрического тела частично прошла через поверхность второго геометрического тела; или две замкнутые линии, если поверхность одного геометрического

тела полностью прошла через поверхность второго геометрического тела.

Начинать построение следует с характерных точек, расположенных на контурных линиях. Эти точки чаще всего определяют и границу видимости. К характерным точкам также относятся: самая верхняя и самая нижняя, левая и правая крайние точки. Построить линию взаимного пересечения только по этим точкам нельзя. Необходимо построить еще ряд промежуточных точек. Для построения точек, принадлежащих линии взаимного пересечения, используют вспомогательные секущие плоскости.

При пересечении поверхностей заданных геометрических тел вспомогательной секущей плоскостью образуются линии пересечения этих тел с дополнительной плоскостью. Линия пересечения поверхности одного геометрического тела пересекается с линией пересечения поверхности другого геометрического тела в точках, которые принадлежат одновременно двум взаимно пересекающимся поверхностям геометрических тел, т. е. они будут принадлежать линии взаимного пересечения.

### § 34. ПОСТРОЕНИЕ ТОЧЕК ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПРЯМОЙ ЛИНИИ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ

При построении линии взаимного пересечения определяют точки, в которых ребра многогранника или прямые образующие одного геометрического тела пересекаются с поверхностью второго геометрического тела, т. е. находят точки пересечения прямых с поверхностью геометрических тел.

Если боковая поверхность геометрического тела не является проецирующей, через заданную прямую линию проводят плоскость, находят линию пересечения этой плоскости с поверхностью заданного геометрического тела, определяют точки, в которых линия пересечения пересекается с заданной прямой. Эти точки и будут точками пересечения прямой с поверхностью геометрического тела.

Если боковая поверхность геометрического тела является проецирующей, как, например, боковые поверхности прямой призмы и прямого кругового цилиндра, то через заданную прямую не проводят секущую плоскость, так как точки пересечения прямой с поверхностью геометрического тела можно определить на плоскости проекций, на которую боковая поверхность геометрического тела проецируется в линию, например окружность или многоугольник.

**Пересечение прямой с поверхностью призмы.** Путь решения этой задачи зависит от располо-

жения прямой и боковых граней призмы относительно плоскости основания, к которому они могут располагаться наклонно (рис. 291) или перпендикулярно (рис. 292).

На рис. 291 изображена наклонная четырехугольная призма, боковую поверхность которой пересекает прямая линия общего положения  $AB$ . Требуется построить точки пересечения прямой  $AB$  с боковой поверхностью призмы, которые называются точкой входа и точкой выхода.

Боковая поверхность призмы в этом случае не является проецирующей, и для того, чтобы найти точки пересечения, через прямую  $AB$  проводят проецирующую плоскость. На рис. 291 это фронтально-проецирующая плоскость  $P$ . Фронтальный след  $P_V$  этой плоскости проводят через фронтальную проекцию прямой  $a'b'$ . Плоскость  $P$  пересечет призму по четырехугольнику.

На горизонтальной плоскости проекций строят проекцию этого четырехугольника (1, 2, 3, 4). Для этого от фронтальных проекций точек, в которых ребра призмы пересеклись с плоскостью  $P$ , проводят линии проекционной связи до соответствующих горизонтальных проекций ребер. Полученные точки соединяют тонкой линией и определяют, в каких точках эта линия пересеклась с горизонтальной проекцией прямой  $ab$ . Этими точками являются точки  $e$  и  $f$ . Фронтальные проекции  $e'$  и  $f'$  точек пересечения прямой с боковой поверхностью призмы строят с помощью линий проекционной связи, проведенных от точек  $e$  и  $f$  с

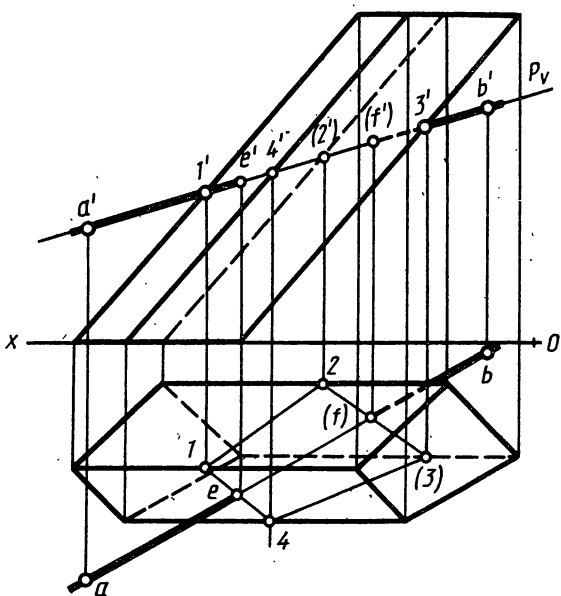


Рис. 291

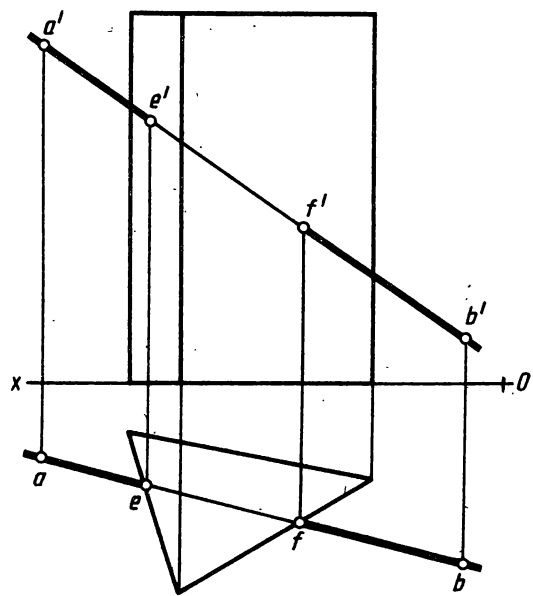


Рис. 292

горизонтальной проекции. На горизонтальной и фронтальной плоскостях проекций точка  $E$  будет видимой, так как лежит на грани, видимой на этих проекциях. Точка  $F$  находится на грани невидимой на горизонтальной и фронтальной проекциях, поэтому она изобразится невидимой. Обозначения проекций невидимых точек взяты в скобки. Условимся участок прямой линии, расположенный между точкой входа и точкой выхода прямой, проходящей внутри геометрического тела, изображать тонкой сплошной линией.

На рис. 292 в двух ортогональных проекциях изображена прямая треугольная призма, боковую поверхность которой пересекает прямая линия  $AB$  общего положения. Требуется построить точки входа и выхода этой прямой.

Поскольку боковая поверхность призмы перпендикулярна ее основаниям, то она будет проецирующей. В этом случае для определения точек пересечения вспомогательную плоскость через заданную прямую не проводят, так как на горизонтальную плоскость проекций, где боковая поверхность призмы проецируется в ломаную линию, отрезки которой совпадают со сторонами треугольника основания призмы. Этот треугольник пересекается с прямой  $ab$  в точках  $e$  и  $f$ . Эти точки и будут горизонтальными проекциями искомых точек. Фронтальные проекции  $e'$  и  $f'$  точек  $E$  и  $F$  строят с помощью линий проекционной связи. Так определяют точки входа и выхода, если боковая поверхность призмы проецирующая, независимо от положения прямой  $AB$ .

**Пересечение прямой с поверхностью пирамиды.** Рассмотрим три случая пересечения прямой с поверхностью пирамиды.

На рис. 293 изображена треугольная пирамида, которую пересекает прямая  $AB$  общего положения. Требуется построить точки входа и выхода.

Грани боковой поверхности пирамиды не являются проецирующими, поэтому для построения точек входа и выхода прямой через прямую  $AB$  проводят проецирующую плоскость. На рис. 293 проведена фронтально-проецирующая плоскость  $P$ . Фронтальный след  $P_V$  плоскости  $P$  проводят через фронтальную проекцию  $a'b'$  прямой  $AB$ . Плоскость  $P$  пересечет боковую поверхность пирамиды по треугольнику, который на фронтальную плоскость проекций проецируется в отрезок, совпадающий с фронтальной проекцией  $a'b'$  прямой  $AB$  и фронтальным следом  $P_V$ .

Для построения горизонтальной проекции этого треугольника с помощью линий проекционной связи, проведенных с фронтальной плоскости проекций из точек  $1'$  и  $3'$  на гори-

зонтальную, находят точки  $1$  и  $3$ . Построить точку  $2$  только с помощью линии проекционной связи на горизонтальной проекции нельзя, так как она сливается с горизонтальной проекцией ребра. Необходимо сделать дополнительное построение, т. е. через точку  $2$  в плоскости грани  $KSN$  проводят горизонталь. Ее фронтальная проекция пройдет через точку  $2'$  параллельно оси  $Ox$ , а горизонтальная проекция — параллельно горизонтальной проекции  $kn$  стороны  $KN$  основания треугольника. От точки, в которой фронтальная проекция горизонтали пересекает проекцию ребра  $s'n'$ , проводят линию проекционной связи до пересечения ее с горизонтальной проекцией ребра  $sn$ . От этой точки параллельно  $kn$  проводят горизонтальную проекцию горизонтали до пересечения ее с горизонтальной проекцией ребра  $sk$  в точке  $2$ . Эта точка и будет точкой, которую нужно соединить с точками  $1$  и  $3$  прямыми линиями. Получился треугольник, по которому плоскость  $P$  пересекла пирамиду. Далее определяют точки пересечения горизонтальных проекций сторон треугольника  $123$  с горизонтальной проекцией  $ab$  прямой  $AB$ . Этими точками будут точки  $e$  и  $f$ . С помощью линий проекционной связи, проведенных с горизонтальной проекции от точек  $e$  и  $f$  на фронтальную проекцию, строят фронтальные проекции  $e'$  и  $f'$  точек  $E$  и  $F$ . На фронтальной плоскости проекций точка  $F'$  будет не-

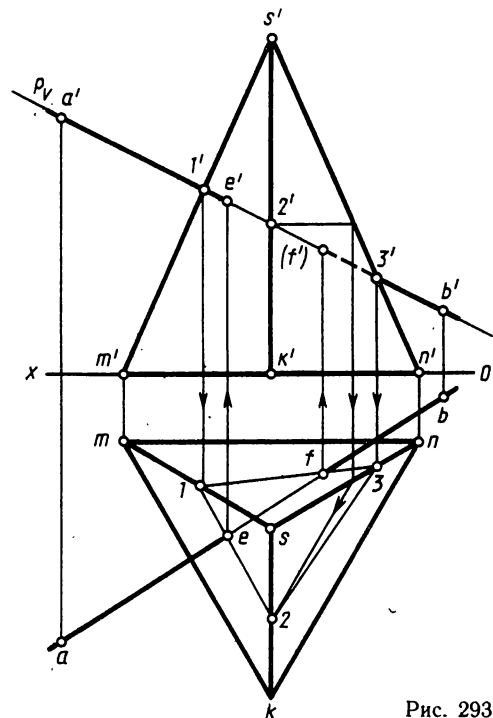


Рис. 293

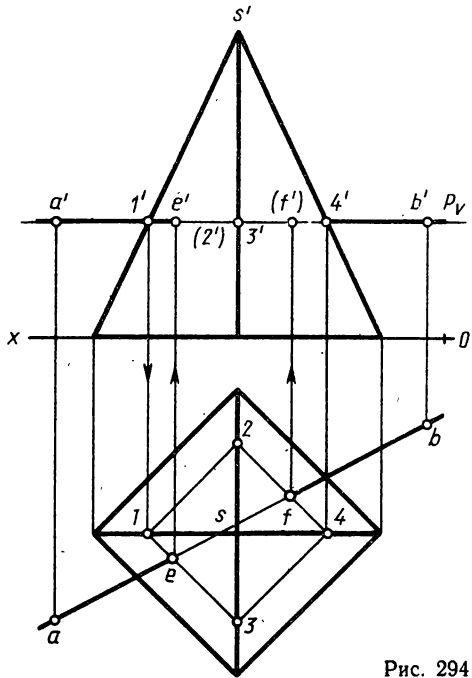


Рис. 294

деляют точки, в которых горизонтальная проекция линии пересечения (четыреугольник  $1\ 2\ 3\ 4$ ) пересекается с горизонтальной проекцией  $ab$  прямой  $AB$ . Этими точками будут точки  $e$  и  $f$ . С помощью линий проекционной связи находят их фронтальные проекции  $e'$  и  $f'$ . На фронтальной плоскости проекций точка  $F$  будет невидимой, так как она располагается на невидимой грани, и часть прямой  $AB$  тоже будет невидимой.

На рис. 295 изображена шестиугольная пирамида, поверхность которой пересекают две проецирующие прямые  $AB$  и  $CD$ . Требуется построить точки входа и выхода этих прямых. Так как прямые являются проецирующими, то в данном случае горизонтальные проекции точек входа и выхода прямых  $AB$  и  $CD$  и сами прямые проецируются в одну точку каждая. Поставленная задача на рис. 295 решается двумя способами.

Рассмотрим первый способ. Прямая  $AB$  в точке  $F$  пересекает основание пирамиды: Фронтальная проекция этой точки  $f'$  находится в пересечении фронтальных проекций  $a'b'$  прямой  $AB$  и основания пирамиды. Точка  $f'$  будет

невидимой, так как лежит на грани  $MSN$ , невидимой на плоскости проекций  $V$ .

На рис. 294 изображена четырехугольная пирамида, боковую поверхность которой пересекает горизонтальная прямая  $AB$ . Требуется построить точки пересечения прямой с боковой поверхностью пирамиды.

Поскольку боковая поверхность пирамиды не является проецирующей, то определять точки входа и выхода прямой в этом случае можно только используя дополнительную проецирующую плоскость, проведенную через прямую. В данном случае лучше провести плоскость, параллельную плоскости  $H$ . Поэтому через прямую  $AB$  проводят фронтально-проецирующую плоскость  $P$ . Эта плоскость будет параллельной основанию пирамиды и пересечет ее боковую поверхность по четырехугольнику, стороны которого будут параллельны сторонам основания.

С помощью линий проекционной связи строят четырехугольник  $1\ 2\ 3\ 4$ , для этого с фронтальной проекции, где линия пересечения пирамиды с плоскостью  $P$  проецируется в прямую, совпадающую со следом  $P_V$  и фронтальной проекцией  $a'b'$  прямой  $AB$ , от точки  $1'$  проводят линию проекционной связи до пересечения ее с горизонтальной проекцией соответствующего ребра в точке  $1$ . Через точку  $1$  параллельно сторонам основания проводят горизонтальные проекции сторон четырехугольника, лежащего в плоскости  $P$ . Далее опре-

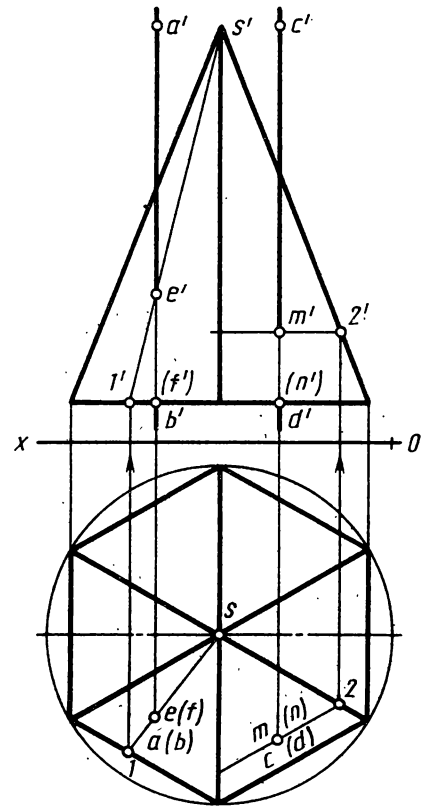


Рис. 295

невидимой. Горизонтальная проекция точки  $F$  совпадает с горизонтальной проекцией прямой  $AB$ . Для построения фронтальной проекции  $e'$  точки  $E$  через ее горизонтальную проекцию и горизонтальную проекцию вершины  $s$  проводят вспомогательную прямую в плоскости боковой грани. Затем находят фронтальную проекцию вспомогательной прямой. В пересечении ее с фронтальной проекцией заданной прямой  $AB$  и будет находиться фронтальная проекция  $e'$  точки  $E$ , в которой прямая  $AB$  пересекает боковую поверхность пирамиды.

Определение точки входа  $M$  прямой  $CD'$  выполняют вторым способом. Через горизонтальную проекцию прямой  $CD$ , которая здесь проецируется в точку, проводят горизонтальную проекцию горизонтали передней правой грани пирамиды. Она пойдет параллельно горизонтальной проекции стороны основания боковой грани. Далее строят фронтальную проекцию горизонтали. Она пойдет параллельно оси  $Ox$  от точки  $2'$ , построенной с помощью линии проекционной связи, проведенной от горизонтальной проекции точки  $2$ , лежащей на соответствующей проекции ребра боковой поверхности.

В пересечении фронтальной проекции горизонтали с фронтальной проекцией  $c'd'$  прямой  $CD$  будет находиться фронтальная проекция  $m'$  точки  $M$ . Фронтальная проекция  $n'$  точки  $N$  лежит в пересечении проекции  $c'd'$  прямой  $CD$  с прямой, в которую проецируется основание пирамиды. Эта точка будет невидимой.

**Пересечение прямой с поверхностью прямого кругового цилиндра.** Возможны несколько случаев расположения прямой относительно боковой поверхности цилиндра, но во всех случаях точки входа и выхода прямой определяются одинаково. Боковая поверхность такого цилиндра является проецирующей. В данном случае боковая поверхность на горизонтальной проекции спроецируется в окружность, совпадающую с проекцией контурной линии оснований, и проекция точки входа и выхода прямой  $AB$  будет находиться на этой окружности в том месте, где горизонтальная проекция  $ab$  прямой  $AB$  пересекает ее (рис. 296). Этими точками будут точки  $e$  и  $f$ . Фронтальные проекции точек  $E$  и  $F$  строят с помощью линий проекционной связи, проведенных с горизонтальной проекции от точек  $e$  и  $f$  на фронтальную проекцию  $a'b'$  прямой  $AB$ . Фронтальная проекция  $f'$  точки  $F$  изображится невидимой, так как точка  $F$  находится в той части боковой поверхности цилиндра, которая здесь не видна. Часть линии  $a'b'$ , идущая от точки  $f'$ , тоже будет невидимой.

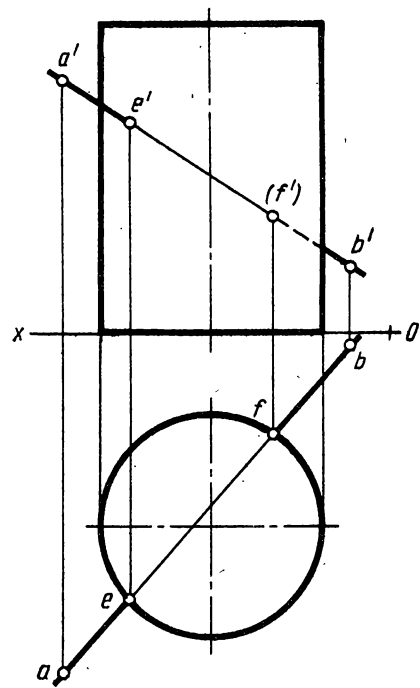


Рис. 296

**Пересечение прямой с поверхностью конуса.** Способ решения этой задачи зависит от положения прямой относительно боковой поверхности конуса и плоскости  $H$ .

На рис. 297 изображены прямой круговой конус и прямая  $AB$  общего положения, пересекающая боковую поверхность конуса. Требуется построить точки входа и выхода этой прямой. Боковая поверхность конуса не является проецирующей, поэтому для определения точек входа и выхода используют вспомогательную секущую плоскость.

Если через прямую  $AB$  провести фронтально-проецирующую плоскость, то в пересечении будет эллипс, для построения которого потребуются дополнительные построения, а это усложняет решение задачи.

Если через прямую  $AB$  провести горизонтально-проецирующую плоскость, то в пересечении получится гипербола, построение которой также усложняет построения.

Простыми линиями пересечения боковой поверхности конуса с плоскостью являются окружность и треугольник. В данном случае окружность использовать нельзя. Известно, что треугольник в пересечении получается тогда, когда плоскость, пересекая конус, проходит через его вершину. Поэтому через прямую  $AB$  следует провести такую плоскость, которая

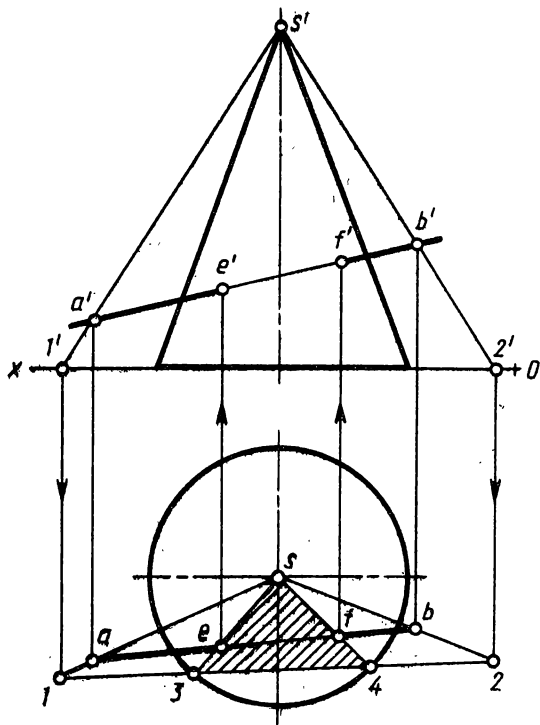


Рис. 297

на горизонтальной проекции, получают линию пересечения вспомогательной плоскости с плоскостью основания конуса, лежащей в плоскости  $H$ . Отрезок  $34$  будет отрезком, по которому вспомогательная плоскость, заданная треугольником, пересеклась с основанием конуса. Соединив точки  $34$  с точкой  $s$  (горизонтальная проекция вершины конуса), получают горизонтальную проекцию треугольника, по которому эта плоскость пересекла поверхность конуса. Там, где горизонтальные проекции сторон треугольника пересекаются с горизонтальной проекцией  $ab$  прямой  $AB$ , получают точки  $e$  и  $f$  — горизонтальные проекции искомых точек. Точки  $e'$  и  $f'$  строят с помощью линий проекционной связи, проведенных от точек  $e$  и  $f$  с горизонтальной проекции.

На рис. 298 изображен прямой круговой конус, боковую поверхность которого пересекает горизонтальная прямая  $AB$ . Требуется построить точки, в которых прямая  $AB$  пересекает боковую поверхность конуса. Задачу решают с помощью вспомогательной горизонтальной плоскости  $P$ , проведенной через прямую  $AB$ .

Плоскость  $P$  пересекает поверхность конуса по окружности (параллели), диаметр которой равен отрезку следа плоскости  $P_v$ , заключенно-

пройдет через вершину конуса. Эту плоскость задают треугольником общего положения  $ASB$ .

Затем строят фронтальную и горизонтальную проекции данной плоскости, строят линию пересечения этой плоскости с поверхностью конуса, определяют точки, в которых линия пересечения поверхности конуса с вспомогательной плоскостью пересекается с прямой  $AB$ . Таков план решения задачи. Для его осуществления в плоскости  $V$  через точку  $s'$  и любые две точки, например точки  $a'$  и  $b'$ , принадлежащие фронтальной проекции заданной прямой, проводят до оси  $Ox$  фронтальные проекции двух прямых  $s'1'$  и  $s'2'$ , определяющих фронтальную проекцию вспомогательной плоскости, заданной треугольником. Сторона  $1'2'$  плоскости треугольника сливается с осью  $Ox$  и частично с проекцией основания конуса. Точки  $1'$  и  $2'$  являются фронтальными проекциями точек пересечения сторон треугольника  $1S2$  с плоскостью  $H$ .

Строят горизонтальную проекцию вспомогательной плоскости. Горизонтальные проекции боковых сторон треугольника пройдут через точки  $s$ ,  $a$  и  $b$  и закончатся в точках  $1$  и  $2$ , которые будут лежать в пересечении с линиями проекционной связи, проведенными от точек  $1'$  и  $2'$ . Соединив прямой линией точки  $1$  и  $2$

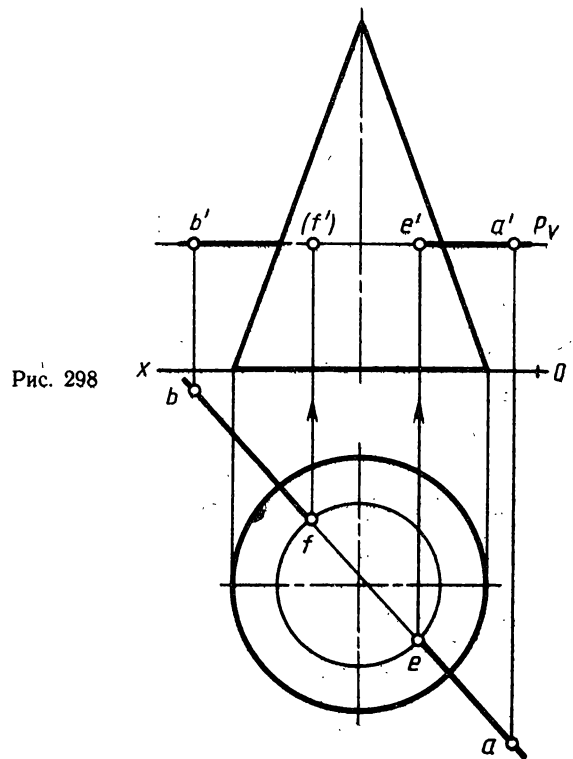


Рис. 298

му в очерк конуса. На горизонтальной проекции проводят эту окружность (горизонтальную проекцию параллели), находят точки  $e$  и  $f$ , в которых она пересекается с горизонтальной проекцией  $ab$  прямой  $AB$ . Их фронтальные проекции определяют с помощью линий проекционной связи, проведенных от точек  $e$  и  $f$  с горизонтальной проекции до пересечения с фронтальной проекцией  $a'b'$  прямой  $AB$ . На фронтальной плоскости проекций точка  $F$  будет невидимой, так как точка  $F$  расположена в той части конуса, которая на этой проекции не видна.

На рис. 299 изображен прямой круговой конус, поверхность которого пересекают две проецирующие прямые  $AB$  и  $CD$ . Требуется определить точки их входа и выхода. Эта задача решается двумя способами.

**Первый способ.** Прямая  $AB$  на горизонтальной проекции спроецировалась в точку. В ту же точку проецируются и точки входа и выхода этой прямой. Следовательно, имеются горизонтальные проекции этих точек и необходимо только определить их фронтальные проекции. Для этого через горизонтальную проекцию вершины  $s$  и точку, являющуюся горизонтальной проекцией прямой  $AB$  и лежащих на ней точек входа и выхода, проводят образующую. Затем строят фронтальную проекцию этой образующей. Там, где она пересечет фронтальную проекцию  $a'b'$  заданной прямой

$AB$ , и будет лежать фронтальная проекция искомой точки  $e'$ , точки входа прямой  $AB$ . Фронтальная проекция  $f'$  точки  $F$  выхода этой прямой лежит в том месте, где прямая  $a'b'$  пересеклась с отрезком, в который спроецировалось основание конуса. Точка  $F$  изобразилась здесь невидимой, так как лежит не на контурной окружности основания, а внутри круга основания. На горизонтальной проекции точка  $F$  тоже будет невидимой.

**Второй способ.** Точки входа и выхода прямой  $CD$  на рис. 299 строят с помощью параллели, проведенной на горизонтальной проекции через горизонтальную проекцию  $cd$  прямой  $CD$ . Затем строят фронтальную проекцию параллели. В пересечении ее с фронтальной проекцией  $c'd'$  прямой  $CD$  находится точка  $m'$  — фронтальная проекция точки входа прямой  $CD$ . Точка  $m'$  будет невидимой, так как точка  $M$  лежит в той части конуса, которая на фронтальной проекции не видна. Точка  $N$  (точка выхода прямой  $CD$ ) находится в пересечении этой прямой с плоскостью основания. Ее горизонтальная проекция совпадает с горизонтальной проекцией прямой, а фронтальная проекция  $n'$  находится в пересечении проекции  $c'd'$  с отрезком, в который спроецировалось основание конуса.

**Пересечение прямой с поверхностью шара** может быть построено несколькими способами. Выбор способа зависит от положения прямой относительно плоскостей проекций. На рис. 300 изображены две проекции шара и прямой  $AB$  общего положения. Требуется построить точки пересечения этой прямой с поверхностью шара. При решении подобных задач следует помнить о том, что шар — это единственное геометрическое тело, поверхность которого пересекается плоскостью любого положения по окружности. При решении данной задачи необходимо через прямую  $AB$  общего положения провести проецирующую плоскость. На рис. 300 это горизонтально-проецирующая плоскость. Шар будет пересекаться плоскостью  $P$  по окружности, которая на горизонтальной проекции проецируется в отрезок  $12$ , совпадающий с горизонтальной проекцией прямой и горизонтальным следом  $P_H$  плоскости  $P$ . На фронтальной проекции эта окружность изобразится эллипсом, для построения которого требуются дополнительные построения. Это усложняет задачу. Проще и точнее найти точки пересечения окружности с прямой. Поэтому для решения задачи удобнее всего применить способ перемены плоскостей проекций. На рис. 300 плоскость  $V$  заменена на плоскость  $N$ . Контурная образующая шара на плоскости  $N$  не изображена, так как для построения искомых точек она не нужна. Изображены только ок-

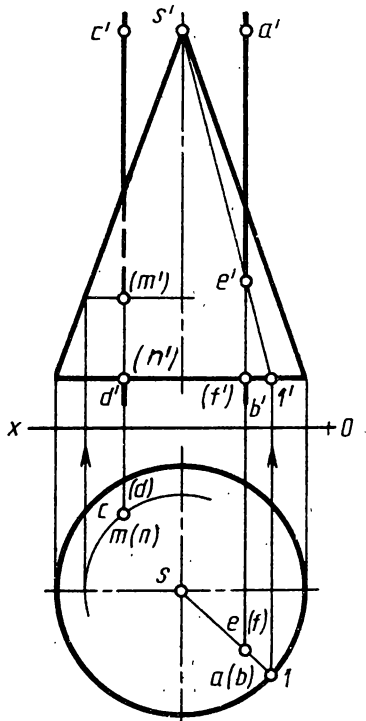


Рис. 299

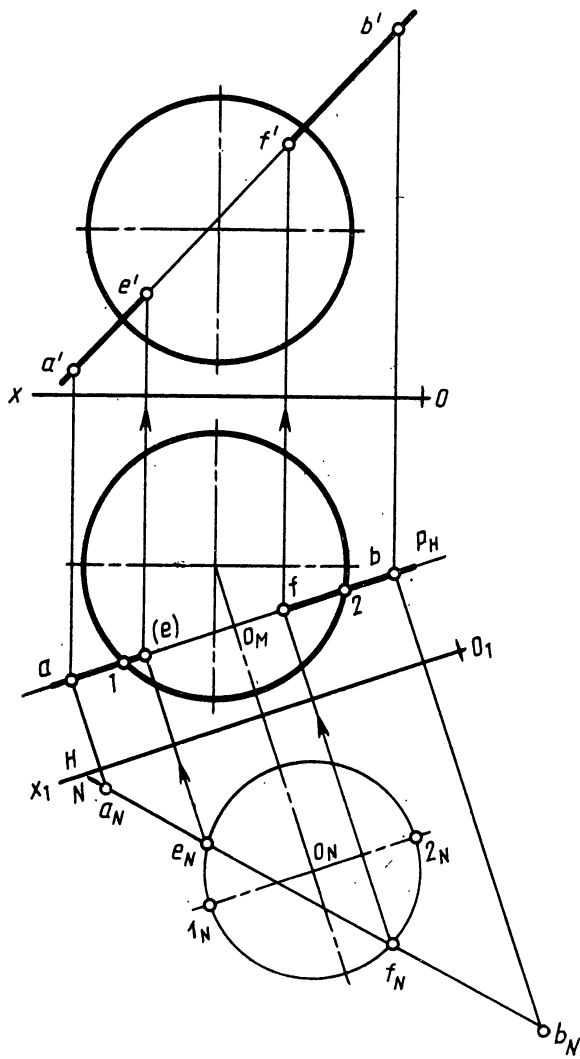


Рис. 300

ружность пересечения и новая проекция  $a_N b_N$  прямой  $AB$ . На плоскости  $N$  построена проекция центра шара  $o_N$  на такой же высоте, на которой его фронтальная проекция находится над осью  $Ox$  на плоскости  $V$ . Из точки  $o_N$  описана окружность радиусом  $o_1$ , взятым с горизонтальной проекции. Эта окружность пересекается с проекцией  $a_N b_N$  прямой в точках  $e_N$  и  $f_N$ , которые будут проекциями искомых точек. Положение горизонтальных и фронтальных проекций точек входа и выхода прямой  $AB$  определяют с помощью линий проекционной связи, проведенных от точек  $e_N$  и  $f_N$  сначала на плоскость  $H$ , а затем на плоскость  $V$ . На горизонтальной плоскости проекций точка  $E$  будет невидимой, так как располагается в той части шара, которая не видна на горизонтальной проекции.

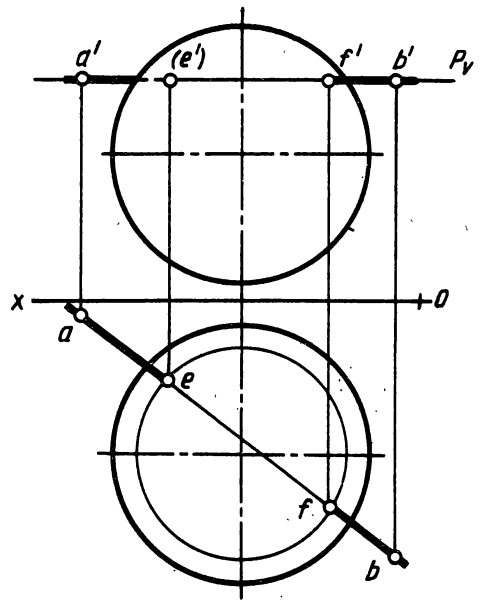


Рис. 301

На рис. 301 изображен шар в двух ортогональных проекциях, который пересекается горизонтальной прямой  $AB$ . Требуется построить точки пересечения прямой  $AB$  с поверхностью шара.

Решение задачи упрощается частным положением прямой. Здесь через прямую  $AB$  проводят фронтально-проецирующую плоскость. Эта плоскость  $P$  пересечет шар по окружности, которая на фронтальной плоскости проекций изобразится отрезком, совпадающим с фронтальным следом  $P_V$  плоскости  $P$  и фронтальной проекцией  $a'b'$  прямой  $AB$ . На горизонтальной проекции линия пересечения изобразится окружностью, радиус которой берется на фронтальной проекции от оси шара до контурной образующей шара по следу  $P_V$ . Точки  $e$  и  $f$ , в которых проекция окружности пересечения пересекается с горизонтальной проекцией  $ab$  прямой  $AB$ , будут горизонтальными проекциями искомых точек. Фронтальные проекции  $e'$  и  $f'$  строят с помощью линий проекционной связи, проведенных от горизонтальных проекций точек  $e$  и  $f$ . На фронтальной проекции точка  $E$  будет невидимой, так как расположена на той части шара, которая не видна.

На рис. 302 в двух ортогональных проекциях изображен шар, поверхность которого пересекается двумя проецирующими прямыми, перпендикулярными плоскости  $H$ . Требуется построить точки пересечения этих прямых с поверхностью шара. Задача решается двумя способами.

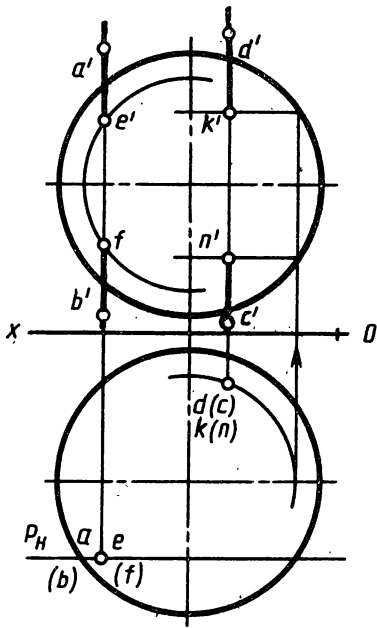


Рис. 302

Первый способ. Точки входа и выхода прямой  $AB$  строят с помощью горизонтально-проецирующей плоскости  $P$  так же, как на рис. 301, только там прямая заключена во фронтально-проецирующую плоскость.

Второй способ. Построение точек пересечения прямой (прямая  $CD$ ) с поверхностью шара выполняется с помощью параллелей. Горизонтальные проекции этих параллелей проводят через точку, в которую проецируются прямая  $CD$  и лежачие на ней точки входа и выхода. Проекции этих параллелей здесь совпадают и изображаются окружностью. На рис. 302 проведена дуга этой окружности. С помощью линии проекционной связи строят фронтальные проекции параллелей, которые представляют собой прямые, расположенные параллельно оси  $Ox$  на одинаковом расстоянии от экватора (на рис. 302 они проведены частично). Точки пересечения фронтальных проекций параллелей с проекцией  $c'd'$  прямой  $CD$  будут фронтальными проекциями  $k'$  и  $n'$  точек  $K$  и  $N$ .

### § 35. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ВЗАИМНОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДВУХ МНОГОГРАННИКОВ

Как уже говорилось, при пересечении поверхностей двух многогранников образуется замкнутая ломаная пространственная линия. Поверхность одного многогранника может про-

ходить сквозь поверхность другого многогранника полностью или частично.

При полном взаимном пересечении образуются две замкнутые ломаные линии (рис. 303). При неполном взаимном пересечении — одна (рис. 304). Ломаная линия пересечения состоит из отрезков прямых линий. Каждый отрезок представляет собой линию, по которой пересеклась грань одного многогранника с гранью второго многогранника. Вершины ломаной линии представляют собой точки, в которых пересеклись ребра одного многогранника с гранями или ребрами другого.

Построение линии взаимного пересечения двух многогранников сводится к следующим построениям.

1. Строят точки пересечения ребер первого многогранника с гранями второго многогранника и ребер второго многогранника с гранями первого многогранника. Каждое ребро представляет собой прямую, которая пересекает поверхность другого геометрического тела, т. е. грань. Следовательно, решение задачи сводится к построению точки пересечения прямой с плоскостью.

2. Пересечение ребер двух многогранников следует рассматривать как пересечение двух прямых.

3. Линию пересечения двух граней следует рассматривать как линию пересечения двух плоскостей.

**Построение линии взаимного пересечения поверхностей двух призм** является самым простым случаем в решении подобных задач, если их боковые грани проецирующие.

На рис. 303 показано построение линии взаимного пересечения двух призм, боковые грани которых являются проецирующими. При решении этой задачи сначала определяют, на какой из плоскостей проекций будет видна линия взаимного пересечения, и строят точки пересечения ребер боковой поверхности одной из призм, в данном случае — четырехугольной, с гранями второй призмы. Затем строят точки пересечения ребер боковой поверхности второй (пятиугольной) призмы с гранями первой призмы. Линия взаимного пересечения принадлежит одновременно боковым поверхностям двух призм. Поскольку боковая поверхность пятиугольной призмы является проецирующей на горизонтальную плоскость проекций, то на этой плоскости проекция линии взаимного пересечения совпадет с горизонтальной проекцией боковой поверхности данной призмы, т. е. со сторонами пятиугольника. По отношению к профильной плоскости проекций проецирующей является боковая поверхность четырехугольной призмы. Проекция линии взаимного пересечения совпадет с профильной проекцией боковой по-

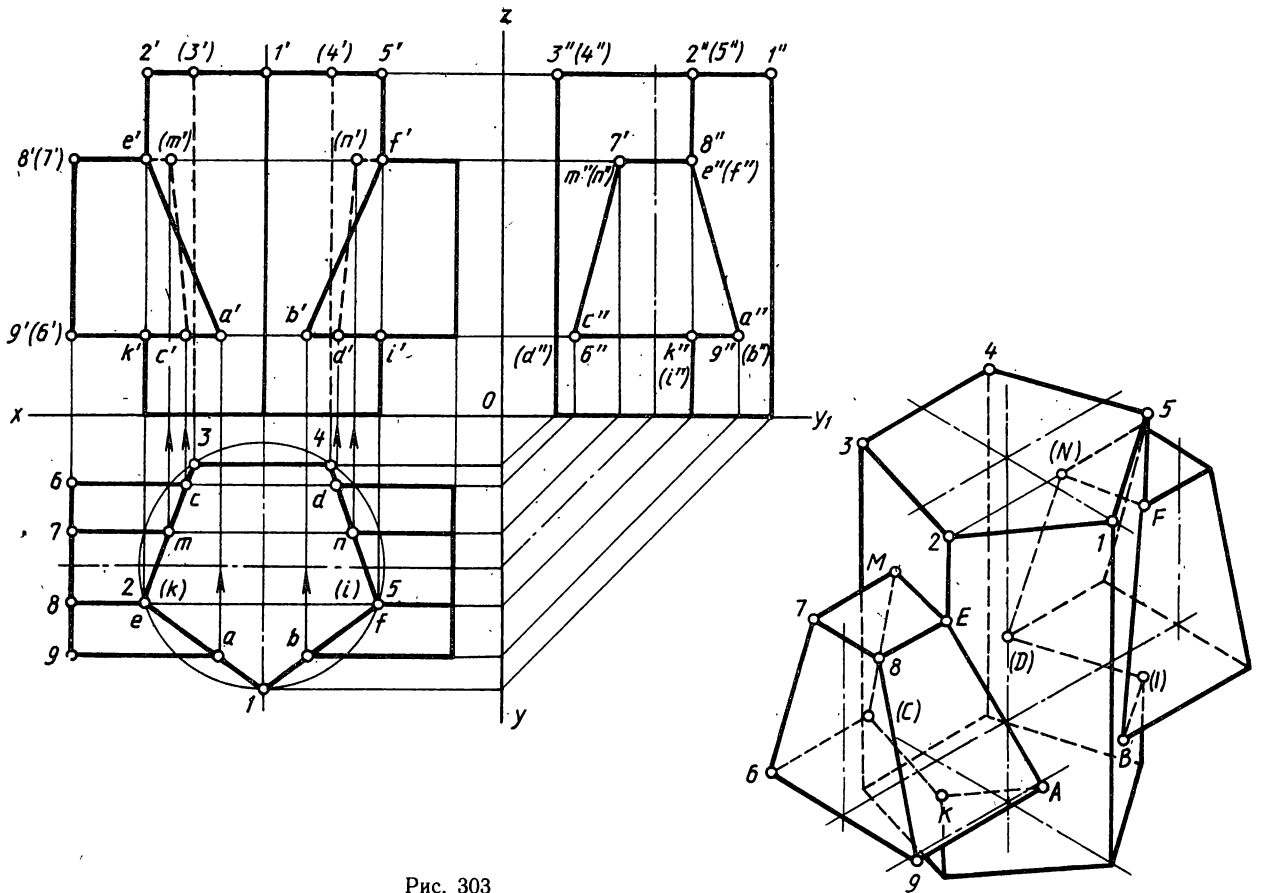


Рис. 303

верхности этой призмы, т. е. со сторонами четырехугольника.

Следовательно, линия взаимного пересечения не будет видимой ни на горизонтальной, ни на профильной проекциях, так как ее проекции сливаются с проекциями сторон оснований призм. На фронтальную плоскость проекций грани боковых поверхностей обеих призм проецируются прямоугольниками, и линия их пересечения будет видна. Сначала определяют точки пересечения ребер четырехугольной призмы с поверхностью пятиугольной призмы. Для этого используют фронтальную и горизонтальную проекции. На горизонтальной проекции отчетливо видны точки входа и выхода всех боковых ребер. С помощью линий проекционной связи строят эти точки на соответствующих фронтальных проекциях ребер. Построенные на фронтальной проекции точки  $a'$ ,  $e'$ ,  $m'$ ,  $c'$ ,  $k'$  и  $b'$ ,  $f'$ ,  $n'$ ,  $d'$ ,  $i'$  соединяют отрезками в соответствующем порядке. Будет две линии пересечения:  $A$ ,  $E$ ,  $M$ ,  $C$ ,  $K$  и  $F$ ,  $N$ ,  $D$ ,  $I$ ,  $B$  (рис. 303). При обводке этих линий необходимо определить видимость отрезков, из которых она состоит. Поскольку линия

взаимного пересечения принадлежит и тому, и другому многограннику, видимой будет та точка, принадлежащая линии взаимного пересечения, которая лежит на видимых гранях обеих призм. По горизонтальной и профильной проекциям определяют видимость граней призм. Зная это, можно определить видимость лежащих на них отрезков, которые составляют линию взаимного пересечения. Отрезки  $a'e'$  и  $b'f'$  линии взаимного пересечения будут видимыми, а отрезки  $e'm'$ ,  $f'n'$ ,  $m'c'$ ,  $n'd'$  линии взаимного пересечения будут невидимыми. Причем отрезки  $a'k'$ ,  $k'c'$ ,  $b'i'$ ,  $i'd'$  совпадут с проекцией нижней грани четырехугольной призмы.

Для построения линии взаимного пересечения двух призм в аксонометрии достаточно на горизонтальной проекции измерить расстояния от боковых оснований четырехугольной призмы до точек входа и выхода на пятиугольной призме и соответственно отложить их в аксонометрии. Точки  $E$  и  $F$  можно отметить сразу. Построенные точки соединяют отрезками. Отрезки  $AE$ ,  $EM$  и  $FB$  линии взаимного пересечения будут видимыми.



С помощью линий проекционной связи строят их фронтальные и горизонтальные проекции. Ребро пирамиды  $SC$  в пересечении не участвует.

Итак, рассмотрены все ребра боковой поверхности пирамиды. Теперь переходят к определению и построению точек пересечения боковых ребер призмы с гранями пирамиды. На профильной проекции видно, что одно ребро в пересечении не участвует. Верхнее и нижнее ребра призмы проходят сквозь боковую поверхность пирамиды, но построить их точки пересечения можно только прибегая к дополнительным построениям. Для этого через верхнее ребро проводят фронтально-проецирующую плоскость  $P$  и в пересечении боковой поверхности пирамиды с этой плоскостью получают четырехугольник. Строят его горизонтальную проекцию (на рис. 304 проведены только две стороны четырехугольника, участвующие в построении) и находят точки  $5$  и  $8$ , в которых горизонтальная проекция верхнего ребра пересеклась с горизонтальной проекцией четырехугольника. Затем с помощью линий проекционной связи строят фронтальные проекции точек пересечения  $5'$  и  $8'$ . Через нижнее ребро призмы проводят фронтально-проецирующую плоскость  $R$ .

На горизонтальной проекции строят линию пересечения (на рис. 304 проведено только две ее стороны) и определяют точки, в которых проекция нижнего ребра пересекается с ними. Это горизонтальные проекции точек  $4$  и  $9$ . С помощью линий проекционной связи строят на фронтальной проекции точки  $4'$  и  $9'$ .

Построенные точки соединяют отрезками и определяют их видимость. Точки  $1$ ,  $6$  и  $7$  принадлежат верхней грани призмы и ребрам пирамиды  $SB$ ,  $SD$  и  $SA$ , видимым как на фронтальной, так и на горизонтальной проекции, следовательно, отрезки  $1\ 6$ ,  $1\ 7$  изображаются видимыми. Точки  $2$ ,  $3$  и  $10$  принадлежат ребрам пирамиды  $SB$ ,  $SD$  и  $SA$  и нижней грани призмы, видимым на фронтальной проекции, значит, отрезки  $2\ 3$  и  $2\ 10$  будут видимыми. На горизонтальной проекции отрезки  $2\ 3$  и  $2\ 10$  будут невидимыми.

Отрезки  $4\ 5$  и  $8\ 9$  принадлежат граням призмы и пирамиды, невидимым на фронтальной проекции, значит эти отрезки будут здесь невидимыми. Задняя грань призмы является проецирующей относительно плоскости  $H$ , поэтому проекции отрезков  $5\ 4$  и  $8\ 9$  сольются с проекцией этой грани на плоскости  $H$ .

Рассмотрим построение линии взаимного пересечения в прямоугольной изометрической проекции. Расстояние до точек  $5$  и  $8$  измеряют на фронтальной или горизонтальной проекциях и откладывают от точки  $E$ . Так же строят

точки  $4$  и  $9$ . Все остальные точки находятся в пересечении ребер боковой поверхности пирамиды с перпендикулярами, проведенными от вторичных горизонтальных проекций точек, предварительно построенных в изометрии на основании пирамиды. Полученные точки соединяют отрезками. Отрезки  $1\ 6$ ,  $6\ 5$  и  $1\ 7$  будут видимыми, так как верхняя грань призмы видима в этой аксонометрии. Остальные отрезки линии взаимного пересечения изображены штриховой линией, так как не видны.

## § 36. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ВЗАИМНОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МНОГОГРАННИКА С ПОВЕРХНОСТЬЮ ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ

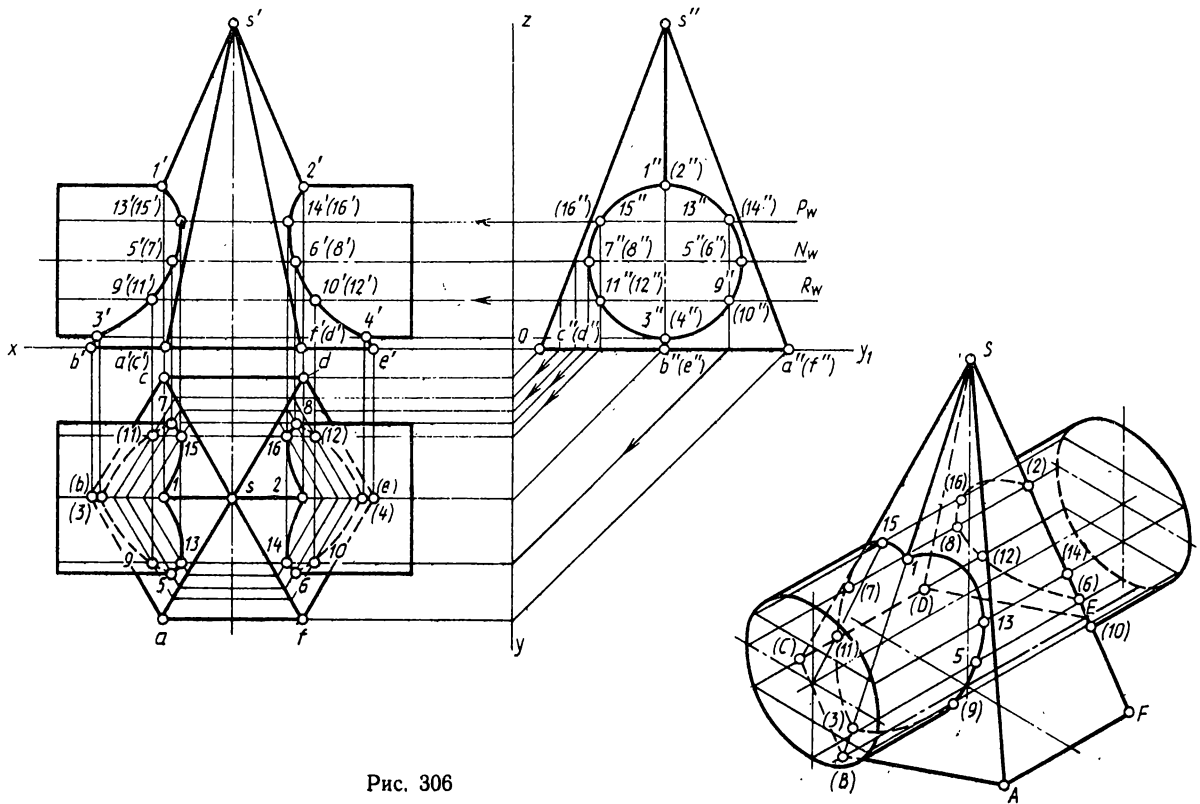
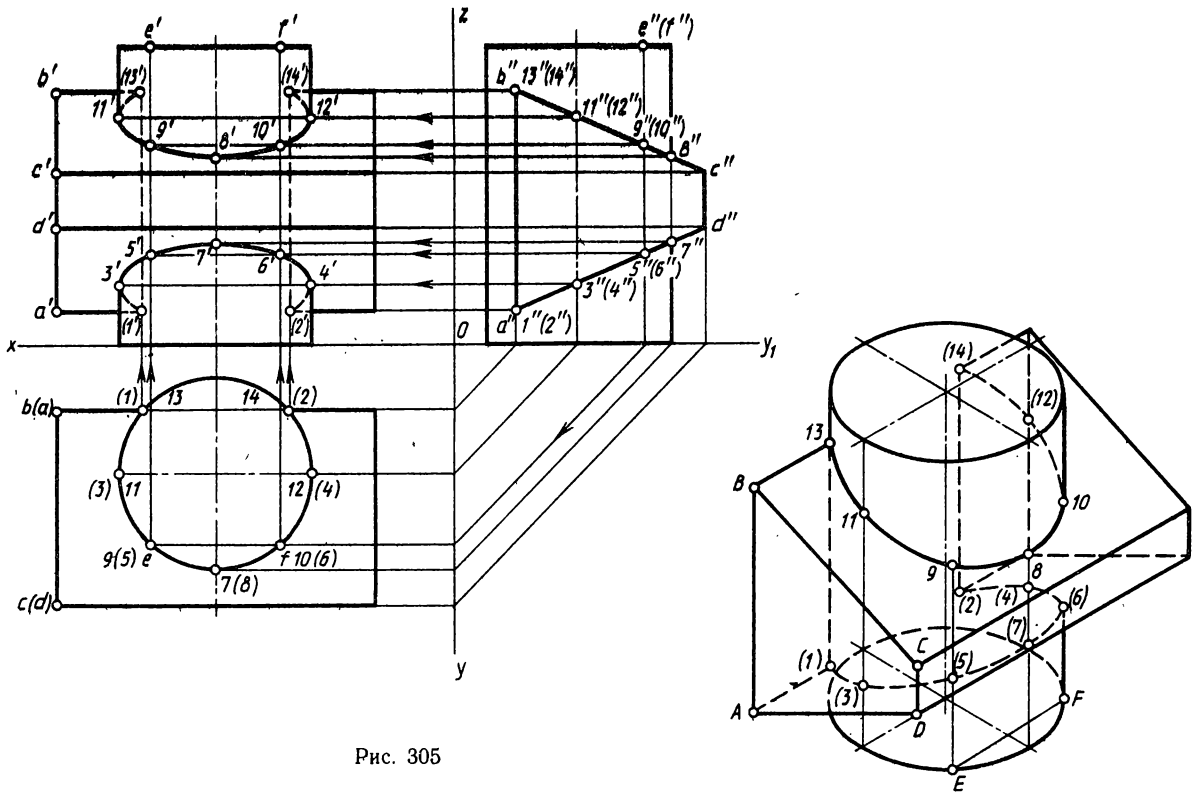
При построении линии взаимного пересечения многогранника с телом вращения образуется замкнутая пространственная линия, которая может состоять из прямых и различных кривых линий (рис. 305 и 306). Если боковая поверхность одного из пересекающихся тел полностью проходит через поверхность второго тела, то получатся две замкнутые линии пересечения (рис. 306). Если боковая поверхность одного из пересекающихся тел частично проходит через поверхность второго тела, то получится одна замкнутая линия пересечения (рис. 305).

При построении линии взаимного пересечения сначала строят характерные точки: точки, в которых ребра многогранника (как прямые) пересекаются с поверхностью тела вращения, и точки, в которых крайние образующие тела вращения пересекаются с поверхностью многогранника. Затем (при необходимости) строят промежуточные точки линии взаимного пересечения.

Построение линии взаимного пересечения поверхности прямого кругового цилиндра с поверхностью прямой призмы. На рис. 305 показано самое простое пересечение этих тел, так как их боковые поверхности в данном случае проецирующие.

Так же как и при решении задач на взаимное пересечение поверхностей двух многогранников, в этой задаче сначала определяют проекцию, на которой нужно строить линию взаимного пересечения.

Поскольку линия взаимного пересечения принадлежит одновременно поверхностям двух тел и поверхность одного из геометрических тел проецируется на одну из плоскостей проекций в линию, совпадающую с проекцией



основания, то линия пересечения на этой проекции совпадет с проекцией боковой поверхности данного тела. На рис. 305 боковая поверхность четырехугольной призмы является проецирующей по отношению к плоскости  $W$  и совпадает с проекцией основания (четырёхугольником). Поэтому линия пересечения, лежащая на гранях боковой поверхности призмы, совпадет с проекцией боковой поверхности призмы, т. е. со сторонами четырехугольника.

Боковая поверхность цилиндра является проецирующей относительно плоскости проекций  $H$  и проецируется в окружность, совпадающую с проекцией контура основания. Так как линия пересечения принадлежит боковой поверхности цилиндра, ее горизонтальная проекция совпадет с проекцией окружности основания. На фронтальной плоскости проекций, где боковые грани призмы и боковая поверхность цилиндра проецируются в прямоугольники, линия взаимного пересечения будет замкнутой линией, состоящей из отдельных участков эллипсов и отрезков прямых линий. Боковые грани призмы, пересекающие ось цилиндра, пересекут его по эллипсам, а грань, параллельная оси, — по образующим.

Для построения фронтальной проекции линии пересечения сначала строят точки, в которых ребра четырехугольной призмы пересекаются с боковой поверхностью цилиндра. Эти точки пересечения хорошо видны на горизонтальной проекции. Верхние и нижние ребра призмы пересекаются здесь с поверхностью цилиндра в точках  $1$ ,  $2$ ,  $13$  и  $14$ . С помощью линий проекционной связи точки  $1$  и  $2$  строят на фронтальной проекции нижнего ребра ( $1'$  и  $2'$ ), а точки  $13$  и  $14$  — на фронтальной проекции верхнего ребра ( $13'$  и  $14'$ ). Два других ребра призмы в пересечении не участвуют.

Для построения точки пересечения крайней образующей цилиндра с боковой поверхностью призмы используют профильную проекцию. Здесь проекция правой крайней образующей пересекла проекцию верхней грани призмы в точке  $8''$ , а нижней — в точке  $7''$ . Фронтальная проекция этой образующей совпадает с проекцией оси цилиндра. С помощью линий проекционной связи строят точки  $7'$  и  $8'$  на фронтальной проекции.

С осью цилиндра на профильной проекции совпадают две крайние образующие фронтальной проекции, сливаясь в одну линию, которая пересекает проекцию боковой поверхности призмы в точках  $11''$ ,  $12''$ ,  $3''$  и  $4''$ . С помощью линий проекционной связи на фронтальной проекции строят точки  $3'$  и  $11'$  на левой крайней образующей, а точки  $4'$ ,  $12'$  на правой

крайней образующей. Задняя грань призмы является горизонтально-проецирующей плоскостью, с которой цилиндр пересекается по двум отрезкам  $1\ 13$  и  $2\ 14$ . Между точками  $11'$ ,  $8'$ ;  $8'$ ,  $12'$ ;  $3'$ ,  $7'$  и  $7'$ ,  $4'$  большой интервал. Необходимо построить дополнительные точки. Для этого на боковой поверхности цилиндра через произвольно взятые на верхнем основании точки  $E$  и  $F$  проводят две образующие. На профильной проекции они совпадают, и точкой пересечения этих образующих с поверхностью призмы попарно сливаются ( $5''$  и  $6''$ ,  $9''$  и  $10''$ ). С помощью линий проекционной связи эти образующие строят на горизонтальной проекции, где они проецируются в точки. Затем строят их фронтальные проекции, и на них с помощью линий проекционной связи, проведенных с профильной проекции, строят проекции точек  $5'$ ,  $6'$ ,  $9'$ ,  $10'$ . Построенные точки соединяют. Отрезки  $1\ 13$  и  $2\ 14$  будут невидимыми, так как на фронтальной проекции они лежат на невидимой части цилиндра и невидимой грани призмы. В пересечении нижней и верхней граней призмы с боковой поверхностью цилиндра получатся части эллипсов, поэтому точки  $13'$ ,  $11'$ ,  $9'$ ,  $8'$ ,  $10'$ ,  $12'$  и  $14'$  в верхней части геометрических тел и точки  $1'$ ,  $3'$ ,  $5'$ ,  $7'$ ,  $6'$ ,  $4'$  и  $12'$  в нижней части соединяют плавной кривой линией. Точки  $11'$ ,  $12'$ ,  $3'$  и  $4'$  лежат на крайних образующих и являются границей видимости. Кривые линии, проходящие в верхней части через точки  $11'$ ,  $9'$ ,  $8'$ ,  $10'$  и  $12'$ , а в нижней части через точки  $3'$ ,  $5'$ ,  $7'$ ,  $6'$ ,  $4'$ , будут видимыми. Линии  $11'\ 13'$ ,  $12'$ ,  $14'$ ,  $3'\ 1'$  и  $2'\ 4'$  будут невидимыми, так как лежат на невидимой части цилиндра.

**Построение линии взаимного пересечения в изометрии.** Точки  $13$ ,  $14$ ,  $1$  и  $2$  лежат не только на цилиндре, но и на ребрах призмы. Так как на ребрах, как на отрезках, строить точки проще, чем на поверхности цилиндра, то, измерив расстояние на фронтальной проекции от левого и правого отрезка, в которые проецируются основания призмы, до точек  $13'$ ,  $14'$ ,  $1'$  и  $2'$ , отмечают их на верхнем и нижнем ребре призмы в изометрии. Остальные точки строят с помощью образующих, расположенных на поверхности цилиндра. Расстояние от нижнего основания цилиндра до соответствующих точек измеряют на фронтальной проекции и соответственно переносят в прямоугольную изометрию. Часть линии пересечения, расположенная на верхней грани призмы, будет видимой, а остальная часть невидимой.

**Построение линии взаимного пересечения поверхности прямого кругового цилиндра с поверхностью пирамиды.** Сначала определяют, на каких проекциях нужно строить линию взаимного пересечения. Затем отмечают и строят

характерные точки. Дополнительные точки строят с помощью вспомогательных горизонтальных плоскостей.

На рис. 306 боковая поверхность прямого кругового цилиндра на профильной плоскости проекций проецируется в окружность, совпадающую с проекцией контура основания, так как его поверхность проецирующая. Следовательно, линия взаимного пересечения, принадлежащая и боковой поверхности цилиндра, проецируется в ту же окружность. Боковые поверхности пирамиды и цилиндра не являются относительно фронтальной и горизонтальной плоскостей проекций проецируемыми, значит, линии пересечения изобразятся здесь в виде кривых линий, которые нужно строить. Поскольку боковая поверхность цилиндра полностью проходит через боковую поверхность пирамиды, то получатся две линии взаимного пересечения.

На фронтальной проекции можно сразу отметить точки  $1'$ ,  $3'$ ,  $2'$  и  $4'$ , в которых проекции  $s'b'$  и  $s'e'$  ребер пирамиды  $SB$  и  $SE$  пересекаются с проекциями верхней и нижней образующих цилиндра. Проекция точек  $1$ ,  $2$ ,  $3$ ,  $4$  строят на плоскости  $H$  с помощью линий проекционной связи. Все остальные точки находят с помощью вспомогательных горизонтальных секущих плоскостей:  $P$ ,  $N$  и  $R$ , профильные следы которых обозначены на профильной проекции. Для этого строят горизонтальные проекции линий пересечения пирамиды с этими плоскостями (шестиугольники) и горизонтальные проекции образующих, по которым пересекается боковая поверхность цилиндра с указанными плоскостями. Здесь определяют точки пересечения проекций образующих цилиндра с проекциями шестиугольников, лежащих в каждой секущей плоскости. Фронтальные проекции полученных точек  $5'$  ...  $16'$  строят с помощью линий проекционной связи. Построенные точки соединяют от руки и обводят по лекалу, так как линия взаимного пересечения представляют собой части эллипсов, получившиеся от пересечения поверхности цилиндра с плоскостями — гранями боковой поверхности пирамиды. При обводке линий взаимного пересечения необходимо определить границу их видимости.

Поскольку линия взаимного пересечения принадлежит поверхности пирамиды и цилиндра одновременно, то в прямоугольной изометрии на рис. 306 она строится на поверхности цилиндра, как более простой поверхности. На видимом основании цилиндра от его центра по центральной линии, параллельной оси  $Oz$ , вверх и вниз откладывают расстояния между плоскостями  $P$  и  $R$ , взятые с профильной проекции. Через отметки проводят линии, по которым

плоскости пересекают поверхность цилиндра, и на образующих от видимого основания (эллипса) откладывают расстояния до соответствующих точек, взятых с фронтальной проекции (можно и с горизонтальной). Точки  $1$ ,  $2$ ,  $3$ ,  $4$ ,  $5$ ,  $6$ ,  $7$  и  $8$  строят на образующих, идущих от концов диаметров, параллельных осям  $Oz$  и  $Oy$ . Расстояния до этих точек от основания берут с фронтальной проекции.

## § 37. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ВЗАИМНОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ДВУХ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Линия взаимного пересечения двух тел вращения, как правило, представляет собой пространственную кривую линию (см. рис. 308), но может быть и плоской кривой: окружностью (см. рис. 309, 310, 311) или эллипсом (см. рис. 307, Б; 312; 313; 314). В зависимости от взаимного расположения геометрических тел их поверхности могут пересекаться по одной или двум замкнутым кривым линиям.

В зависимости от формы поверхности тел вращения линия взаимного пересечения может быть видимой на одной проекции, если пересекаются две проецирующие поверхности (рис. 307); на двух проекциях, если одно из двух тел имеет проецирующую поверхность (см. рис. 312); на трех проекциях, если оба тела имеют непроецирующие поверхности (рис. 308).

Во всех случаях построение линии взаимного пересечения начинают с нахождения характерных точек, а обводку этой линии — с определения границы видимости и точек, в которых кривая касается очерков поверхностей. Построение промежуточных точек выполняют либо с помощью вспомогательных секущих плоскостей, которые проводят так, чтобы они пересекли одновременно боковые поверхности двух тел по простым линиям: прямым (образующим) и окружностям, либо (при определенных условиях) с помощью вспомогательных сфер. В некоторых случаях, когда одна или обе поверхности являются проецируемыми, можно строить точки, принадлежащие линии взаимного пересечения, «по принадлежности», используя образующие и параллели.

Построение линии взаимного пересечения поверхностей цилиндров начинают со сравнения диаметров их оснований. На рис. 307 изображены три вертикальных цилиндра ( $A$ ,  $B$  и  $B$ ) разных диаметров, поверхности которых пересекаются с поверхностью половины горизонтально расположенного цилиндра. Поверхности всех цилиндров проецирующие, поэтому на плоскости  $H$  горизонтальные проекции линий взаимного пересечения совпадают с горизонтальной проекцией боковых поверхностей



с большим диаметром, вынимая часть его поверхности. Так на рис. 307 цилиндр *A* проходит сквозь поверхность горизонтального полуцилиндра и изгиб кривой идет как бы по краю отверстия в поверхности горизонтального полуцилиндра. Цилиндр *B* имеет диаметр больше, чем у горизонтального полуцилиндра, и изгиб линии пересечения идет как бы по краю отверстия в поверхности вертикального цилиндра *B*. Если же диаметры цилиндров одинаковые, то линия взаимного пересечения изображается прямыми линиями, имея в действительности форму эллипсов. На рис. 307 цилиндр *B* имеет такой же диаметр, как и горизонтальный полуцилиндр. Линия их взаимного пересечения будет половинками эллипсов, которые изображаются как два отрезка.

Для построения точек, принадлежащих линии взаимного пересечения поверхностей этих цилиндров, сначала отмечают характерные точки  $1', 2', a', b', k'$ , лежащие в пересечении крайних контурных образующих на фронтальной проекции. Затем с помощью линий проекционной связи строят точки  $3'$  и  $4'$ ,  $c'$  и  $d'$ . Сначала они отмечаются на профильной проекции ( $3'', 4'', c''$  и  $d''$ ) как точки, в которых крайние контурные образующие вертикальных цилиндров пересекаются с контурной полуокружностью основания горизонтального полуцилиндра, с которой совпала профильная проекция его боковой поверхности. Точки  $e'$  и  $f'$  строят с помощью линий проекционной связи, проведенных с горизонтальной проекции от точек  $e$  и  $f$ . В этих точках контурные образующие полуцилиндра пересекают боковую поверхность цилиндра *B*. Промежуточные точки  $5', 6', 7', 8'$  (цилиндр *A*) и точки  $n', m'$  (цилиндр *B*) построены с помощью линий проекционной связи, проведенных с профильной проекции, где они получились в пересечении промежуточных, произвольно взятых и симметрично расположенных образующих вертикальных цилиндров *A* и *B* с боковой поверхностью горизонтального полуцилиндра ( $5'', 6'', 7'', 8'', n'', m''$ ).

В прямоугольной изометрической проекции видно, что линии взаимного пересечения боковых поверхностей цилиндров *A* и *B* с боковой поверхностью горизонтального полуцилиндра представляют собой пространственную кривую. Боковая поверхность цилиндра *B* пересекается с боковой поверхностью горизонтально расположенного полуцилиндра по двум плоским кривым — половинкам эллипсов.

**Построение линии взаимного пересечения поверхностей вращения с помощью дополнительных секущих плоскостей** выполнено на рис. 308, где заданы конус и шар. Здесь рассматривается построение линии взаимного пересечения двух

поверхностей, из которых ни одна не является проецирующей. Построение точек, принадлежащих линии пересечения, начинают с определения и построения характерных точек. К ним относятся точки 1—8. Точки 1 и 2 сначала отмечают на фронтальной проекции ( $1'$  и  $2'$ ) как точки пересечения крайних образующих конуса с фронтальным меридианом, лежащим в одной с ними плоскости *Q*. Затем эти точки с помощью линий проекционной связи строят на горизонтальной и профильной проекциях. Для построения точек 3, 4, 5 и 6 через вершину конуса проводят профильную плоскость *P*, которая пересечет поверхность конуса по образующим, а поверхность шара — по окружности. Профильные проекции этих образующих конуса будут крайними, а проекцию окружности, по которой пересекается шар, проводят радиусом, измеренным на фронтальной проекции по следу плоскости  $P_V$  от горизонтальной проекции линии шара до его контурной линии. Профильная проекция окружности пересекается с проекциями крайних образующих конуса в точках  $3'', 4'', 5'', 6''$ . Эти точки будут профильными проекциями искомых точек. С помощью линий проекционной связи строят их фронтальные ( $3', 4', 5', 6'$ ) и горизонтальные (3, 4, 5, 6) проекции.

Точки 7 и 8 строят сначала на горизонтальной проекции как точки пересечения экватора шара с окружностью (параллелью) конуса, лежащими в одной плоскости *R*. Затем эти точки строят на фронтальной и профильной проекциях с помощью линий проекционной связи.

Точки 9 и 10, 11 и 12, 13 и 14 строят с помощью вспомогательных секущих плоскостей *N*, *T*, *M*, которые проводят параллельно плоскости *H* так, что они пересекают и шар, и конус по окружностям (параллелям). Точки пересечения горизонтальных проекций двух параллелей, лежащих в каждой из плоскостей *N*, *T*, *M*, определяют горизонтальные проекции искомых промежуточных точек. Так, например, горизонтальные проекции точек 9 и 10 находят в пересечении горизонтальных проекций параллели шара и параллели конуса, лежащих в плоскости *N*. По горизонтальным проекциям точек 9, 10, 11, 12, 13 и 14 с помощью линий проекционной связи строят их фронтальные и профильные проекции. Затем все точки последовательно от руки соединяют плавной кривой линией и обводят по лекалу. Приступая к обводке построенной линии взаимного пересечения, сначала определяют ее видимость. Так, на фронтальной проекции видимая и невидимая половинки линии сливаются в одну видимую линию. На горизонтальной проекции видимой будет та часть линии, которая находится на фронтальной проекции над экватором шара, а часть

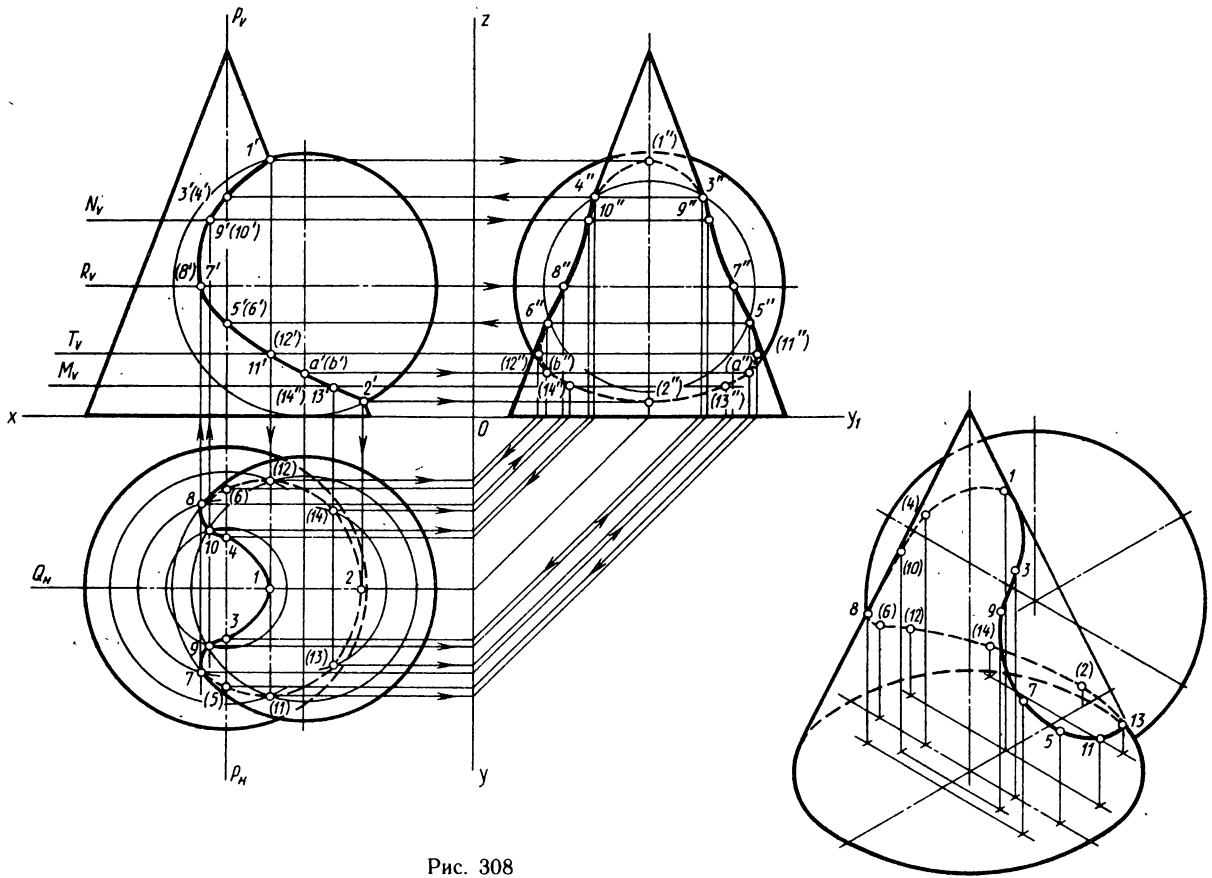


Рис. 308

линии, расположенная ниже экватора, будет невидимой. Границей видимости являются точки 7 и 8, лежащие на экваторе. На профильной проекции границей видимости будут точки 3'' и 4'', 5'' и 6'', лежащие на крайних образующих конуса. На фронтальной проекции эти точки находятся на образующих, совпадающих с осью конуса. Участки кривых линий 4''6'' и 3''5'' будут видимыми.

В прямоугольной изометрической проекции линия взаимного пересечения поверхностей конуса и шара построена с помощью вторичных горизонтальных проекций точек 1—14, построенных на изометрической проекции основания конуса, и прямых, параллельных направлению оси  $Oz$ , проведенных от вторичных проекций точек. На этих прямых откладываются расстояния, взятые от оси  $Ox$  до фронтальных проекций каждой точки. Границей видимости линии взаимного пересечения будет правая контурная образующая конуса. Точки 1, 3, 9, 7, 5, 11 и 13 и участки кривой линии, лежащие между ними, будут видимыми. Так как поверхности конуса и шара частично пересекают друг друга, то образуется одна замкнутая пространственная кривая линия.

**Частные случаи взаимного пересечения двух поверхностей вращения** показаны на рис. 309 ... 314.

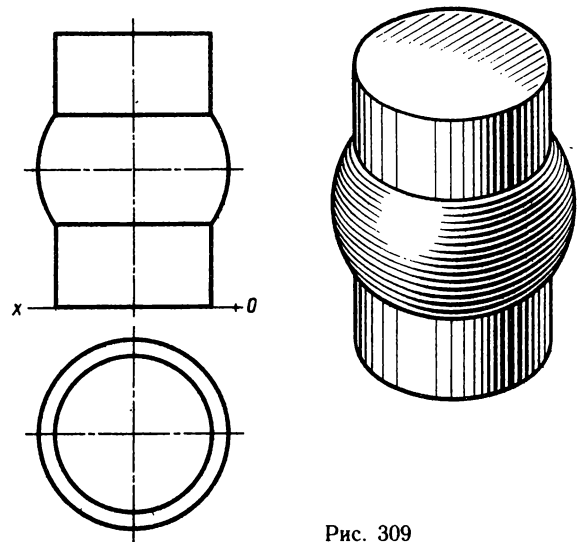


Рис. 309

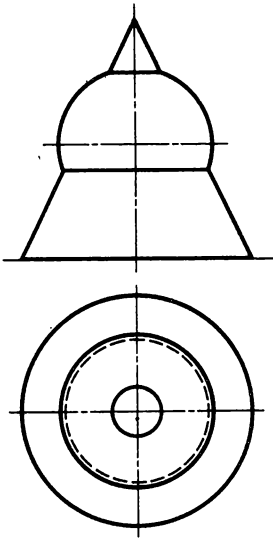


Рис. 310

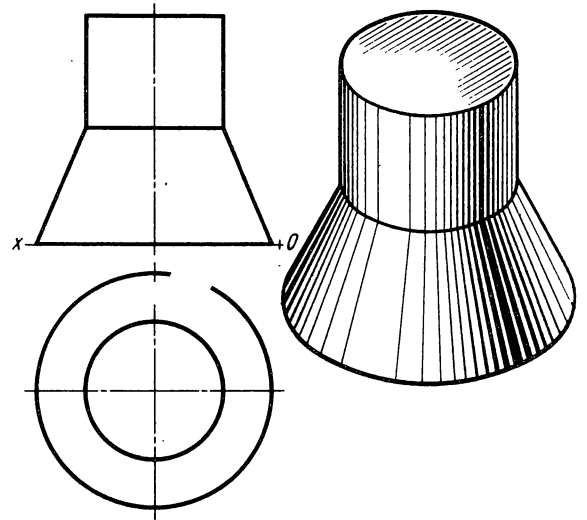
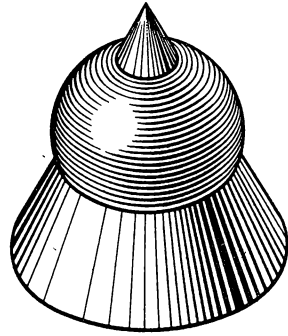


Рис. 311

Если тела вращения имеют одну общую ось, то линия их взаимного пересечения будет представлять собой окружность — общую параллель для двух тел вращения, которая на орто-

гональных проекциях будет изображаться на одной проекции как окружность, а на других — как прямая линия (рис. 309—311). Для построения проекций линий пересечения достаточно

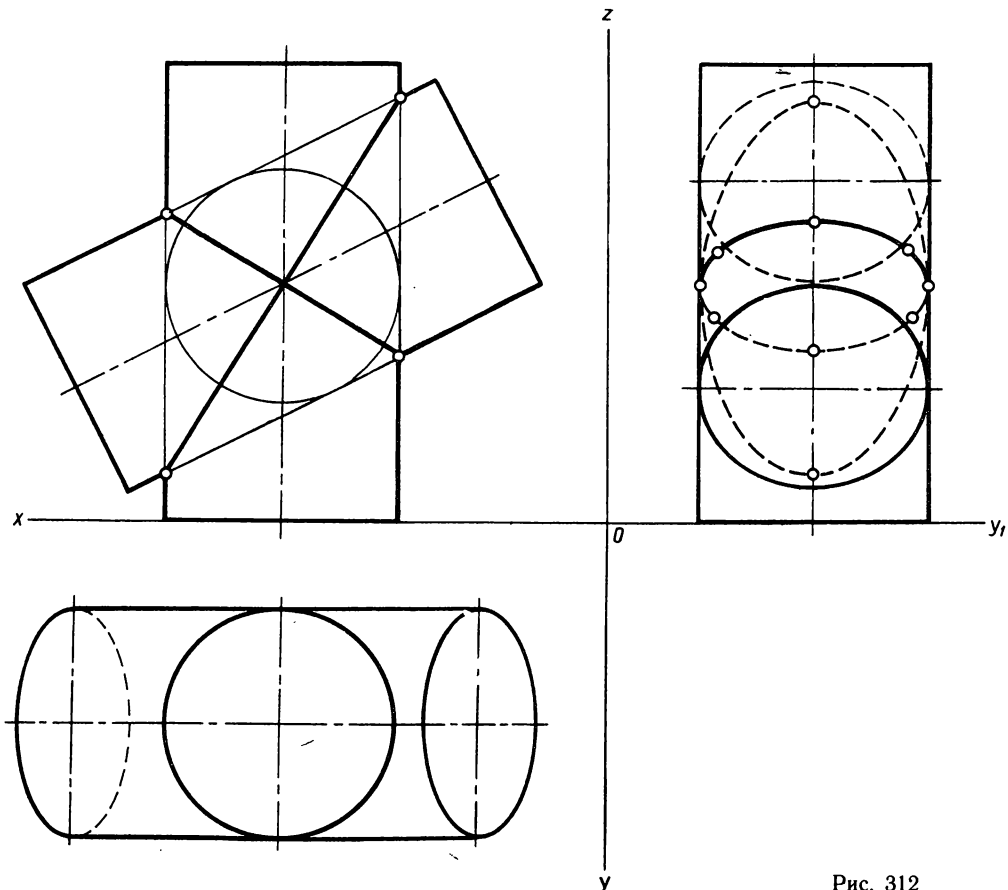


Рис. 312

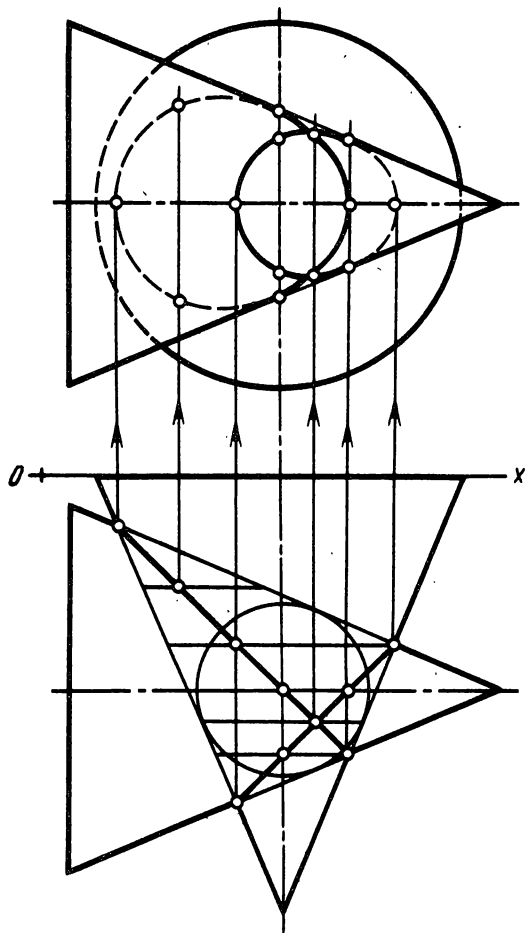


Рис. 313

определить точки взаимного пересечения контурных линий заданных геометрических тел на соответствующих проекциях и соединить их прямой линией.

Если у двух поверхностей вращения оси пересекаются и вспомогательная сфера, взятая с центром в точке пересечения этих осей, касается одновременно поверхностей двух заданных тел, то линия их взаимного пересечения распадется на две плоские кривые линии — эллипсы. В ортогональных проекциях пересекающиеся оси двух заданных тел должны быть расположены параллельно какой-либо плоскости проекций, тогда линия их пересечения спроецируется как две пересекающиеся прямые (рис. 312—314). На рис. 312 и 313 линия пересечения распалась на два эллипса различной величины. На рис. 312 они видны на профильной проекции, а на рис. 313 — на горизонтальной проекции. В зависимости от формы поверхности геометрических тел и их взаим-

ного расположения линия пересечения может распаться на два эллипса одинаковой величины, как показано на рис. 314. Эти эллипсы хорошо видны на горизонтальной проекции.

Построение линии взаимного пересечения поверхностей вращения с помощью вспомогательных concentric сфер выполнено на рис. 315, где заданы два пересекающихся прямых круговых конуса.

Этот способ можно применять в том случае, если пересекаются два тела вращения и их оси пересекаются и расположены параллельно какой-либо плоскости проекций.

Построение линии взаимного пересечения двух тел вращения начинают с определения на одной и построения на других проекциях точек, в которых пересекаются крайние образующие заданных геометрических тел. На рис. 315 этими точками являются точки 1, 2, 3, 4, отмеченные сначала на фронтальной проекции, а горизонтальные проекции 1, 2, 3, 4 построены с помощью линий проекционной

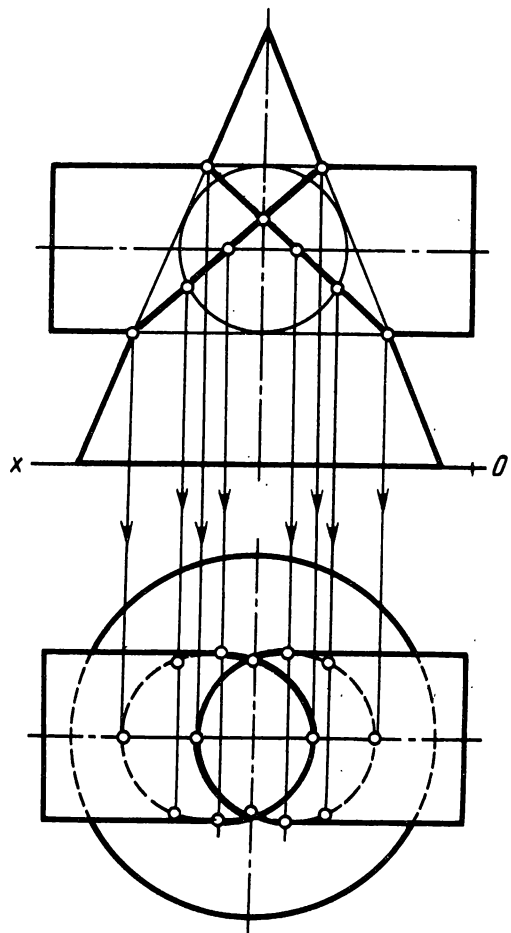


Рис. 314

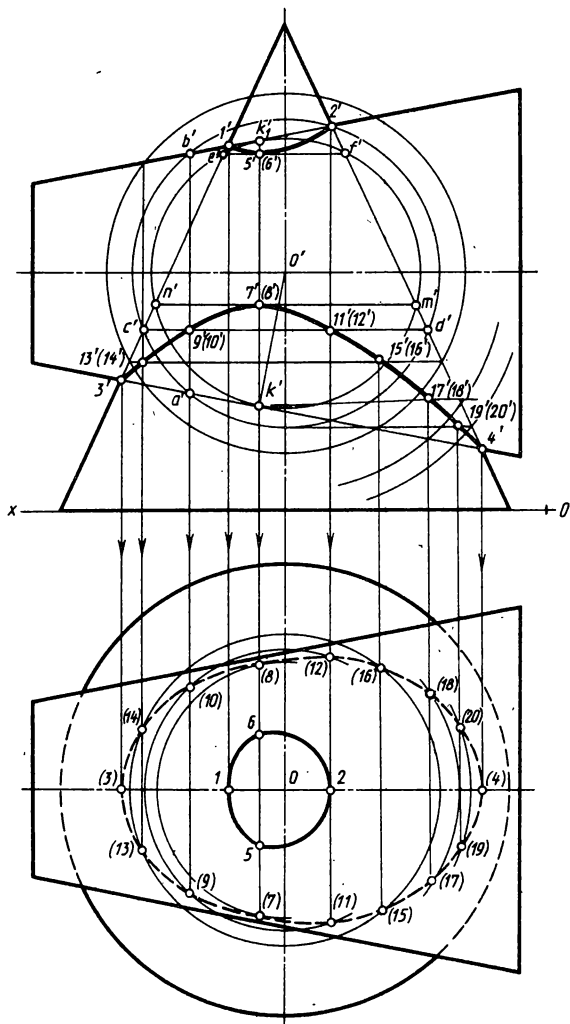


Рис. 315

связи. Остальные точки построены с помощью концентрических сфер. Центр этих сфер берется в точке пересечения осей (точка  $o'$ ).

Сфера пересекается с каждым из конусов по двум окружностям, которые в данном случае изображаются на фронтальной проекции как отрезки, перпендикулярные осям соответствующих конусов. Для построения этих отрезков необходимо определить точки пересечения контурной линии сферы с контурными линиями каждого конуса и соединить их. Таким образом, две линии пересечения одного конуса со сферой и две линии пересечения второго конуса с той же сферой пересекутся между собой. Точки их пересечения и будут искомыми точками, принадлежащими линии взаимного пересечения. Разберем это на примере построения точек  $9'$  и  $10'$ , совпадающих на фронтальной про-

екции. Эти точки получились в результате пересечения проекции  $a'b'$  окружности, по которой пересекается горизонтально расположенный конус со сферой; с проекцией  $c'd'$  окружности, по которой пересекается вертикально расположенный конус с той же сферой. Так же строят и все остальные точки.

Количество вспомогательных концентрических сфер определяется их необходимостью. Радиусы сфер берутся произвольно, но при этом нужно учитывать, что проекцию сферы с наименьшим радиусом проводят касательно к образующим большей поверхности, а проекция сферы с наибольшим радиусом не должна проходить дальше, чем расположена наиболее удаленная крайняя точка, лежащая в пересечении очерковых образующих. На рис. 315 такой точкой является точка  $4'$ . Для определения радиуса наименьшей сферы из точки  $o'$  опускают перпендикуляр на крайнюю образующую и получают точку касания  $k'$ . Расстояние  $o'k'$  и будет искомым радиусом. Фронтальная проекция горизонтально расположенного конуса имеет с проекцией касательной сферы общую окружность  $k'k_1'$ , а проекция вертикально расположенного конуса пересекается с проекцией сферы наименьшего радиуса по двум окружностям (проекции  $e'f'$  и  $n'm'$ ), которые пересекаются с проекцией  $k'k_1'$  окружности в точках  $5'$ ,  $6'$  и  $7'$ ,  $8'$ .

На горизонтальной проекции точки  $5...20$  строят с помощью линий проекционной связи, проведенных от фронтальных проекций этих точек до пересечения с проекциями окружностей, по которым концентрические сферы пересекаются с поверхностью вертикально расположенного конуса.

Точки, построенные на фронтальной и горизонтальной проекциях, соединяют от руки и обводят по лекалу, предварительно определив их видимость. На фронтальной проекции (рис. 315) невидимая часть линии пересечения совпадает с видимой частью этой линии.

## § 38. ПОСТРОЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ МОДЕЛЕЙ, СОСТОЯЩИХ ИЗ ПРОСТЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ И ИМЕЮЩИХ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Приступая к выполнению чертежа модели, имеющей отверстие, прорези и срезы, необходимо прежде всего проанализировать форму модели, т. е. определить, из каких геометрических тел состоит ее форма. Очерковые линии отверстий и прорезей следует рассматривать как след, оставленный на поверхности того или

иного геометрического тела прошедшим сквозь него другим геометрическим телом. Например, на рис. 316 модель состоит из шестиугольной призмы, лежащей в ее основании, сквозь которую прошла четырехугольная призма, оставив свой след, изобразившийся в виде прямоугольника на плоскости  $V$ , удалив часть шестиугольной призмы.

На шестиугольной призме стоит усеченный конус, на верхнем основании которого расположена половина шара.

Сквозь конус и половину шара прошла четырехугольная призма, оставив сквозное отверстие прямоугольной формы, удалив часть этих тел.

Построить чертеж данной модели, значит, построить геометрические тела, из которых она состоит, и построить линии пересечения ее поверхности с поверхностями условно прошедших через нее геометрических тел.

На фронтальной проекции линии пересечения сливаются с контурными линиями отверстия и прорези, так как их поверхности являются фронтально-проецирующими. Построение ли-

нии пересечения выполняют в данном случае только на горизонтальной и профильной проекциях.

При построении линии пересечения рассматривают отдельно каждое геометрическое тело. Поскольку поверхность отверстия и поверхность прорези ограничены плоскостями, то нужно рассматривать линию пересечения как линию, образовавшуюся в результате пересечения поверхности конкретного геометрического тела той или иной плоскостью. На рис. 316 поверхность половины шара пересекается горизонтальной плоскостью (верхняя сторона отверстия) по дугам параллелей.

На горизонтальной проекции эти дуги проводят радиусом, равным радиусу данной параллели. На профильную плоскость проекции они проецируются в отрезки, концы которых определяют дуги, получившиеся в результате пересечения половины шара с вертикальными сторонами отверстия. Часть линии профильного меридиана шара в этом месте отсутствует, так как здесь проходит отверстие, и контурной линией является дуга.

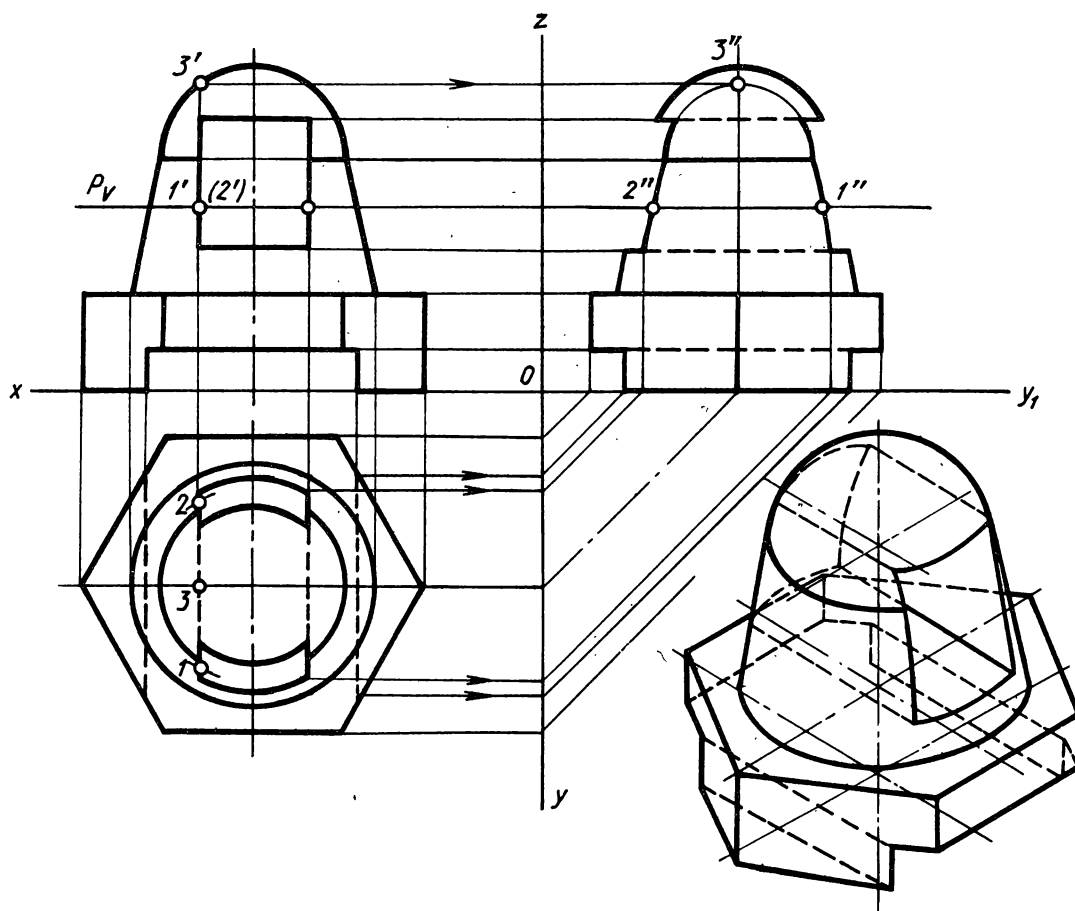
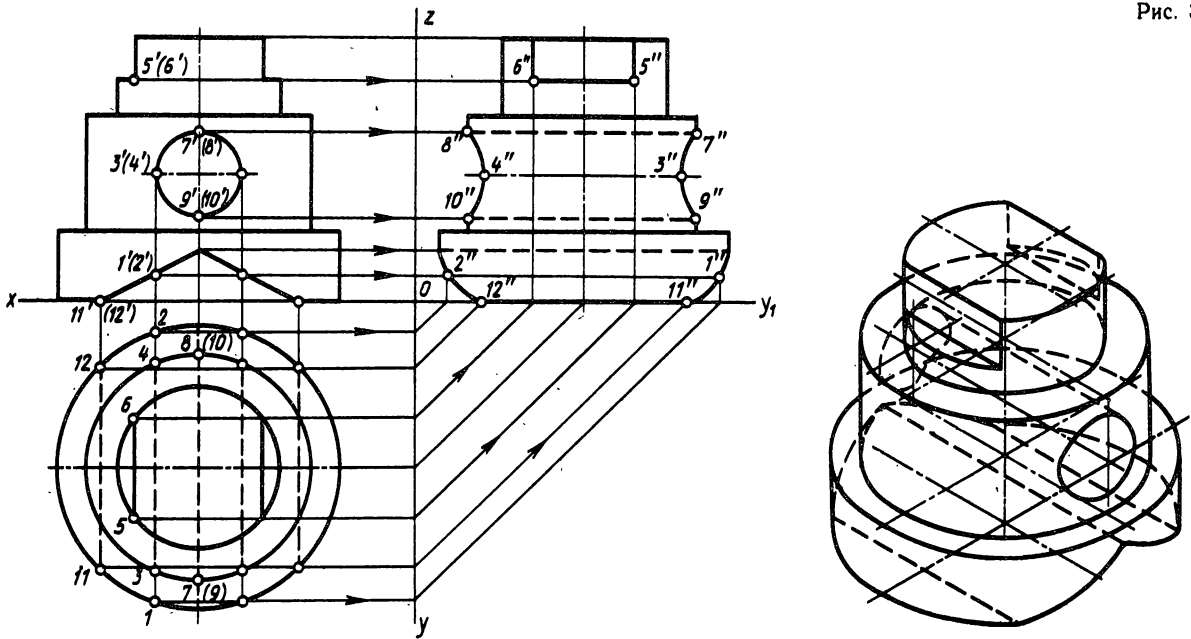


Рис. 316



Поверхность конуса пересекается двумя вертикальными сторонами отверстия по гиперболам, профильные проекции которых совпадают, а горизонтальные проекции изображаются отрезками. Контурные линии конуса на профильной проекции в этом месте отсутствуют, так как здесь проходит отверстие, а контурная линия проходит по гиперболе. Нижняя горизонтальная плоскость отверстия пересекает поверхность конуса по дугам, концы которых определяют две вертикальные стороны отверстия. На горизонтальной проекции эта линия пересечения изобразится двумя дугами, а на профильную плоскость проекций эти дуги проектируются в небольшие отрезки прямой от крайних образующих конуса до гиперболы.

Поверхность шестиугольной призмы пересекается со сторонами прямоугольной прорези по отрезкам прямой и представляет собой ломаную линию, горизонтальная проекция которой совпала с проекцией боковой поверхности призмы, а на профильную плоскость проекций проектируется в два взаимно перпендикулярных отрезка с каждой стороны.

Стороны отверстия и стороны прорези внутри модели проведены на рис. 316 линиями невидимого контура и проходят от очерковых линий входа и выхода отверстия и прорези.

На рис. 317 изображена модель, состоящая из трех цилиндров различных диаметров, поставленных друг на друга.

Верхний цилиндр имеет два симметрично расположенных среза. Они выполнены двумя взаимно перпендикулярными плоскостями каждый.

Вертикальные плоскости пересекают поверхность цилиндра по прямоугольникам, профильные проекции которых совпадают, а горизонтальные и фронтальные проекции изображаются отрезками прямых линий. Горизонтальные плоскости пересеки поверхность цилиндра по дугам окружности, радиус которой равен радиусу окружности, лежащей в основании. На фронтальную и профильную плоскость проекций эти дуги проектируются в отрезки прямой линии, а на горизонтальную — в дуги.

Средний цилиндр имеет сквозное отверстие цилиндрической формы, проходящее через его середину. Ось отверстия пересекается с осью цилиндра под прямым углом. Цилиндрическое отверстие удалило часть цилиндра, поэтому на профильной проекции в этом месте отсутствуют крайние образующие среднего цилиндра, и контурной линией здесь является линия пересечения двух цилиндров. На фронтальной проекции линия пересечения совпала с контуром цилиндрического отверстия, так как его поверхность является проектирующей относительно плоскости  $V$ . На горизонтальной проекции линия пересечения совпала с очерковой линией горизонтальной проекции среднего цилиндра, потому что поверхность этого цилиндра является проектирующей относительно плоскости  $H$ .

Нижний цилиндр имеет сквозную прорезь треугольной формы. Каждая сторона прорези пересекает боковую поверхность цилиндра по кривой (часть эллипса). Проекция линии пе-

ресечения на фронтальной проекции совпадает с контурными линиями прорези, на горизонтальной проекции — с очерком горизонтальной проекции цилиндра, а на профильную плоскость, проекций проецируется в кривую линию с каждой стороны. В этом месте отсутствуют левая и правая крайние образующие нижнего цилиндра, так как удалены прорезью, а

контурной линией проекции становится линия пересечения прорези с поверхностью цилиндра (край прорези). На горизонтальной и профильной проекциях стороны прорези и образующие отверстия, расположенные внутри модели, изображаются линиями невидимого контура, соединяющими края отверстия и прорези, расположенные на поверхности модели.

## ГЛАВА XI

# ПРОЕКЦИОННОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

---

Проекционное черчение представляет собой как бы связующее звено между начертательной геометрией и машиностроительным черчением.

В основах начертательной геометрии изучались способы получения изображений, образование поверхностей геометрических тел, их элементы, способы построения линий срезов и линий взаимного пересечения поверхностей геометрических тел и моделей, аксонометрические проекции.

Прежде чем приступить к выполнению машиностроительного чертежа, необходимо изучить основные правила построения чертежей на примере учебных моделей, элементы которых близки по форме к элементам деталей.

В этой главе рассматривается последовательность выполнения чертежей моделей, построения третьей проекции по двум заданным и ортогональных проекций по наглядному изображению.

Изложенный в настоящей главе материал является основой для выполнения машиностроительных чертежей.

При выполнении технических и проекционных чертежей моделей нет необходимости устанавливать расстояния от точек изображаемого предмета до плоскостей проекций, как это было в начертательной геометрии. Следовательно, нет необходимости в проведении осей координат и линий проекционной связи. Это освобождает поле чертежа для нанесения размеров и облегчает чтение чертежа. При этом построение чертежа ведется методом прямоугольного проецирования, а линии проекционной связи проводят мысленно.

## § 39. КОМПОНОВКА И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖА МОДЕЛИ

Выполняя чертеж модели или детали, следует прежде всего думать о его компоновке (размещении) на поле чертежа. Зная размеры изображаемого предмета, масштаб и число проекций, прежде всего вычерчивают тонкими линиями габаритные прямоугольники, размещая их на поле чертежа таким образом, чтобы они расположились равномерно. Плохая компоновка чертежа усложняет, а порой и делает невозможным правильное нанесение размеров на чертеже и затрудняет чтение чертежа.

Компоновка чертежа из трех проекций показана на рис. 318. Размеры габаритных прямоугольников соответствуют габаритным размерам будущего изображения с учетом размеров предмета и масштаба, в котором он будет изображаться. Если высота проекции равна размеру  $A$ , длина — размеру  $B$ , а ширина — размеру  $B$ , на поле чертежа во всю его длину тонкими линиями проводят две горизонтальные параллельные линии на расстоянии  $A$ . Затем проводят на всю высоту формата две вертикальные параллельные линии на расстоянии  $B$ . Между вертикальными линиями расположатся фронтальная и горизонтальная проекции, между горизонтальными линиями — фронтальная и профильная проекции. Помня, что размеры проставляют вне изображения предмета, между этими линиями располагают габаритные прямоугольники. Для этого габаритные прямоугольники мысленно помещают между

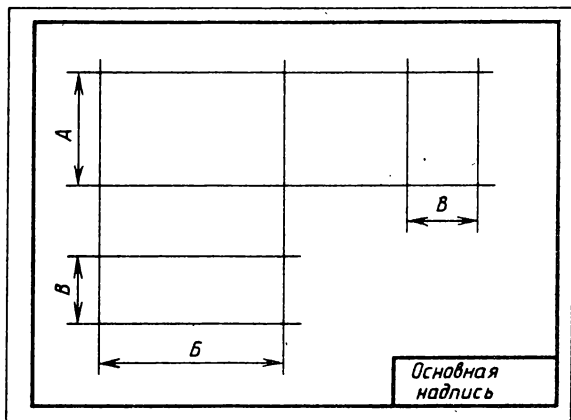


Рис. 318

в данном случае можно брать любую удобную для отсчета размеров линию или несколько линий.

Если модель симметричная, то построение начинают с проведения осей симметрии на всех используемых плоскостях проекций. Эти оси симметрии в данном случае будут базами для построения проекций модели. Построение начинают, как правило, с основания модели. Предварительно проанализировав ее форму, строят последовательно, по частям на каждой проекции. Построение выполняют тонкими линиями остро заточенным твердым карандашом (Т—2Т) без нажима, чтобы можно было легко вносить исправления. Выполнив построение до конца, его проверяют, обводят более мягким карандашом (ТМ—М) и проставляют размеры.

проведенными линиями и, перемещая, устанавливают их, не нарушая при этом проекционной связи между ними.

Выбранное удачное расположение фиксируется тонкими линиями, как показано на рис. 318. В их пределах строят изображения.

Фронтальная проекция модели должна выбираться таким образом, чтобы ее изображение показывало более полно форму предмета.

Если модель несимметричная, то сначала строят основание модели на плоскости  $H$ , причем одна из сторон берется за базу (основную линию), и от нее строят очерковые линии всего основания. Такие же базы выбирают и на других проекциях и от них откладывают размеры для построения очерка изображения. За базу

#### § 40. ПОСТРОЕНИЕ ТРЕТЬЕЙ ПРОЕКЦИИ МОДЕЛИ ПО ДВУМ ДАННЫМ ПРОЕКЦИЯМ

Построение чертежа модели может проходить по-разному. Чертеж может выполняться по модели с натуры, по наглядному (аксонометрическому) изображению или по двум заданным проекциям, когда надо построить третью. Двумя заданными проекциями могут быть: фронтальная и горизонтальная, фронтальная и профильная. И в том, и в другом случае построение выполняется аналогично.

На рис. 319 по заданным фронтальной и горизонтальной проекциям построена профиль-

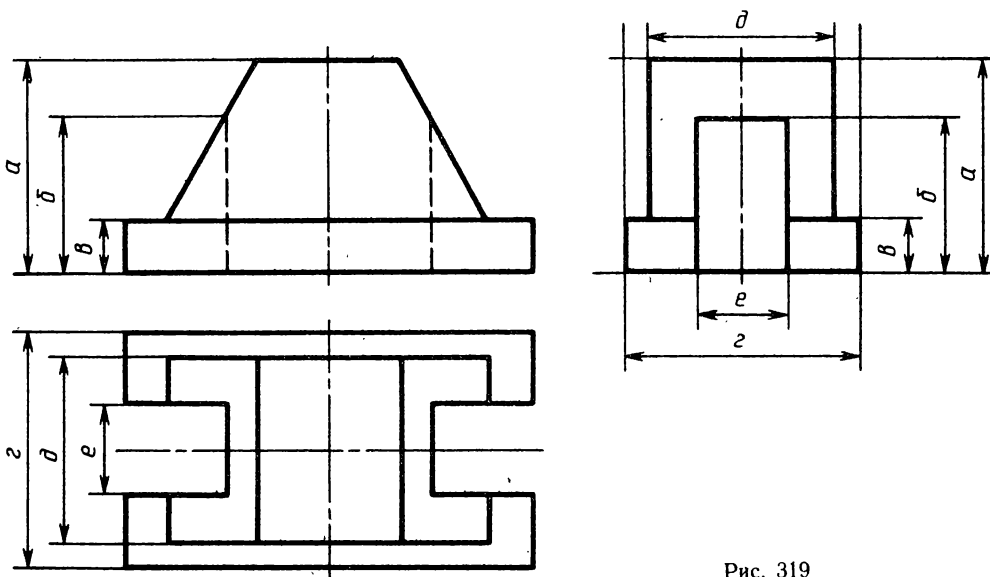


Рис. 319

ная. Построение выполнено методом прямоугольного (ортогонального) проецирования, т. е. все три изображения (проекции) построены без нарушения проекционной связи, но оси координат и линии проекционной связи на чертеже отсутствуют. Чтобы при построении изображений не нарушалась проекционная связь, необходимо прикладывать рейсшину или треугольник в направлении соответствующей проекционной связи одновременно к двум проекциям, на которых в данный момент проводят построение.

По двум заданным проекциям, в данном случае фронтальной и горизонтальной, строится профильная методом переноса размеров по высоте с фронтальной проекции, а по ширине — с горизонтальной проекции. Для этого сначала определяют место положения профильного габаритного прямоугольника, проводят ось симметрии и выполняют построения в следующем порядке. Размер  $a$  с фронтальной проекции (высота модели) и размер  $g$  с горизонтальной проекции (ширина модели) используют при построении габаритного прямоугольника. Основание модели представляет собой параллелепипед шириной  $g$  (уже построенной) и высотой  $b$ , которую строят на профильной проекции, взяв с фронтальной. Для этого, к фронтальной проекции по высоте  $b$  прикладывают рейсшину, а на профильной проводят тонкую горизонтальную линию в пределах габаритного прямоугольника. Нижнее основание модели на профильной проекции построено.

На основании модели стоит четырехугольная призма с двумя наклонными гранями. Ее верхнее основание расположено на высоте  $a$  от нижнего основания модели и уже построено как высота габаритного прямоугольника. Остается построить ширину верхнего и нижнего оснований. По размеру они одинаковые и равны размеру  $d$ , который берется на горизонтальной проекции. Для этого на горизонтальной проекции измеряют половину расстояния  $d$  от оси симметрии и откладывают его от оси симметрии в обе стороны на профильной проекции. Через построенные точки проводят две вертикальные линии, ограничивающие изображение этой призмы. Призма, стоящая на основании модели, построена.

Модель имеет две прорези: слева и справа. На фронтальной проекции они изображены линиями невидимого контура, а на горизонтальной — контурной линией. Для их построения на горизонтальной проекции от осевой линии измеряют половину расстояния  $e$  и соответственно откладывают на нижнем основании профильной проекции модели. От построенных точек вверх проводят параллельные оси симметрии две тонкие линии. Они ограничат расстоя-

ние по ширине прорези. Ее высоту (расстояние  $b$ ) строят по фронтальной проекции, для чего к верхней точке расстояния  $b$  прикладывают рейсшину и на этой высоте на профильной проекции проводят тонкую горизонтальную линию, ограничивающую прорезь сверху.

#### § 41. ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХ ПРОЕКЦИЙ МОДЕЛИ ПО ЕЕ НАГЛЯДНОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ

На рис. 320 наглядное изображение модели выполнено в изометрической проекции. Требуется построить ее в трех ортогональных проекциях в натуральную величину.

Сначала изучают конструкцию модели, т. е. проводится мысленное деление ее на составные элементы. Основание модели — прямоугольная плита. На этой плите стоит цилиндр, в верхней части которого проходит прорезь. К цилиндру приставлены два ребра треугольной формы. По вертикальной стороне (границе) ребра сделана цилиндрическая выемка для плотного прилегания ребра к поверхности цилиндра. Габаритные размеры модели: высота —  $H$ , длина —  $A$ , ширина —  $B$ .

Далее следует выбрать направление проецирования. Помня о том, что фронтальная проекция должна более полно раскрывать форму модели, направление проецирования на плоскость  $V$  берут по стрелке  $P$ , для горизонтальной проекции — по стрелке  $Q$ , а для построения профильной проекции — по стрелке  $R$ .

Зная габаритные размеры модели, выполняют компоновку чертежа с помощью габаритных прямоугольников. Затем приступают к построению изображений в тонких линиях. Так как модель симметричная, то на всех габаритных прямоугольниках проводят оси симметрии.

В пределах габаритного прямоугольника на плоскости  $H$  располагают горизонтальную проекцию нижнего основания модели длиной  $a$  и шириной  $b$ . Далее строят фронтальную проекцию этого основания. Ее длина  $a$  уже построена в пределах габаритного прямоугольника, остается на высоте  $c$  построить ее верхнюю сторону, проецирующуюся в прямую линию. На профильной проекции ширина  $b$  основания модели уже построена шириной габаритного прямоугольника, остается на высоте  $c$  построить верхнюю сторону параллелограмма, которая здесь тоже изобразится прямой линией.

Далее строят три проекции полного цилиндра без прорези. Для этого заданным радиусом на горизонтальной проекции проводят окружность, в которую проецируется цилиндр с центром в точке пересечения осей симметрии. На фрон-

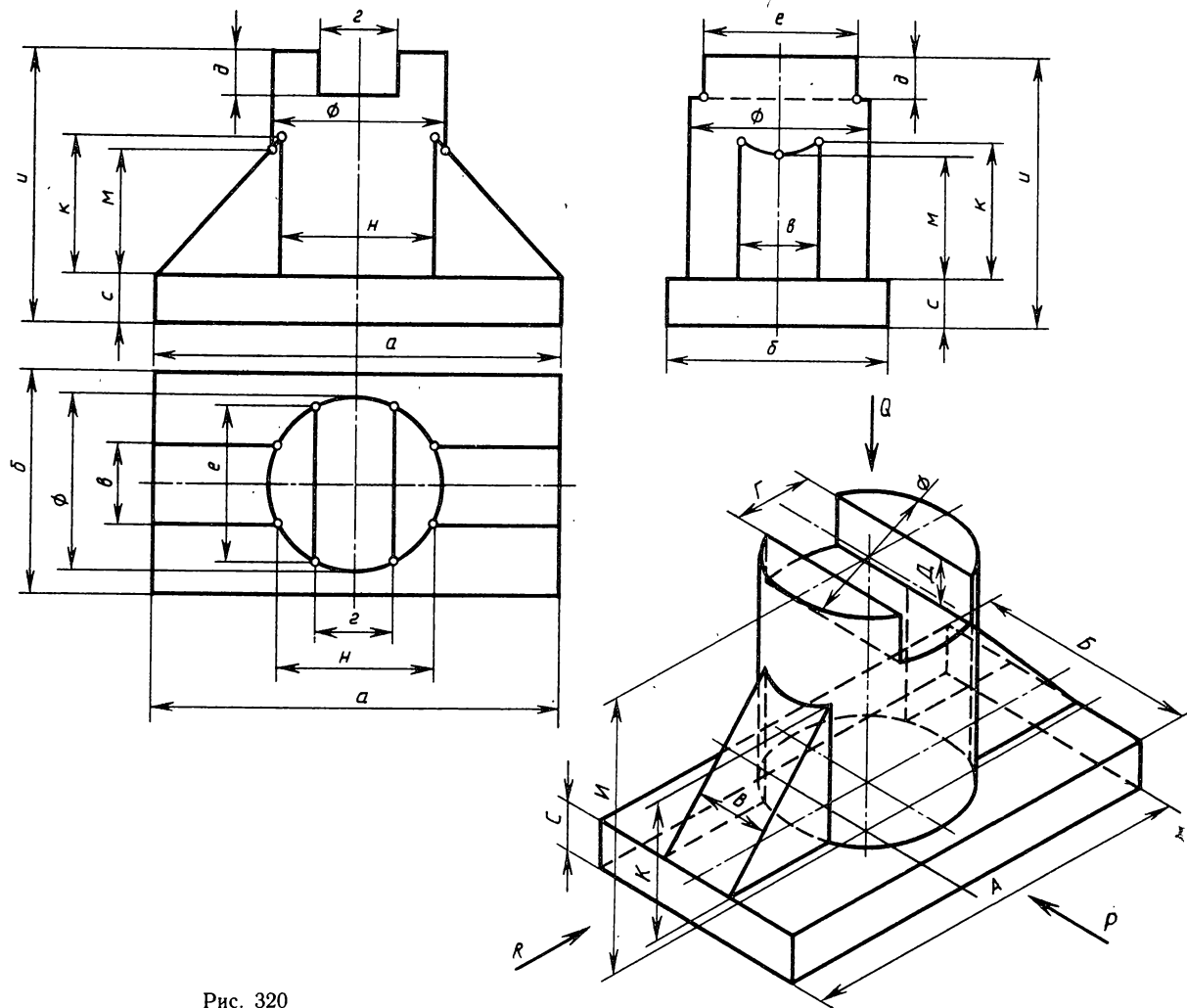


Рис. 320

тальной и профильной проекциях от осей симметрии влево и вправо по верхней стороне основания откладывают по радиусу этой окружности и через отложенные точки проводят крайние образующие цилиндра до верхних линий габаритных прямоугольников, ограничивающих высоту модели. Затем в верхней части цилиндра, сначала на горизонтальной, потом на фронтальной, а затем на профильной проекциях, строят прорезь шириной  $z$  и глубиной  $d$ . На фронтальной проекции видно, как прорезь удалила часть цилиндра и часть образующих, расположенных посередине цилиндра и сливающихся с осью на длину  $d$ . Эти образующие на профильной проекции будут крайними. Вырезанная прорезью часть будет отсутствовать. Очерковыми линиями станут части других образующих длиной  $d$ , расположенных на расстоянии  $e$ , взятом с горизонтальной проекции. Внутренние линии пересечения сторон прорези

на профильной проекции показывают линией невидимого контура.

Построение треугольных ребер, примыкающих к цилиндру, начинают с горизонтальной проекции. Для этого от горизонтальной оси симметрии вверх и вниз откладывают половину размера  $v$ , а через построенные точки проводят прямые линии, в которые проецируются вертикальные стороны треугольных ребер, до пересечения с цилиндром. От точек, где эти прямые пересекли цилиндр, в направлении проекционной связи на плоскости  $V$  проводят по поверхности цилиндра прямые линии на расстоянии  $n$ , высотой  $k$ . По этим прямым боковые стороны треугольных ребер пересекли боковую поверхность цилиндра. На профильной проекции проекции двух треугольных ребер шириной  $v$  (см. горизонтальную проекцию) и высотой  $k$  (см. фронтальную проекцию) совпадают. Наклонные стороны треугольных ребер

пересекаются с поверхностью цилиндра по небольшому участку эллипса. Концы этой кривой лежат на высоте  $k$ , а средняя точка, лежащая на оси симметрии на профильной проекции на высоте  $m$ , с помощью рейшины переносится с фронтальной проекции. На фронтальной проекции эти точки лежат в пересечении крайних образующих с наклонными сторонами треугольных ребер. Построение модели закончено, ее проверяют, обводят и проставляют размеры.

Размеры, проставленные на рис. 319 и 320, не являются размерами, обычно проставляемыми на чертеже, по которым изготавливают модель, а представляют собой информацию для построения данного чертежа.

Построение проекций модели с натуры выполняется в том же порядке и по тем же правилам построения изображения, что и построение третьей проекции модели по двум данным.

## § 42. ПРОСТЫЕ РАЗРЕЗЫ

В конструкции модели и детали может быть большое число отверстий, углублений и прорезей различной формы. Их очертания, выполненные на чертеже линией невидимого контура, усложняют чертеж, что затрудняет чтение чертежа и простановку размеров. Чтобы сделать изображение предмета удобочитаемым, на чертеже допускается применять некоторые условности. К таким условностям относится выполнение разрезов на чертежах.

**Разрез** — это изображение предмета, мысленно разрезанного плоскостью, перпендикулярной к одной из плоскостей проекций, которое строится на плоскости, параллельной плоскости разреза. Часть предмета, находящаяся между плоскостью, разрезающей его, и человеком, строящим изображение, мысленно удаляют, как показано на рис. 321, *а*. Направление взгляда здесь указано стрелкой. В результате видно внутреннее строение модели. Линии невидимого контура (рис. 321, *б*) обводят контурной линией (рис. 321, *в*).

Разрез, выполненный одной плоскостью, называется **простым разрезом**.

Изображение предмета в разрезе выполняется на той плоскости, параллельно которой разрезана модель или деталь. И вместо внешнего вида предмета на данной плоскости проекций строят его изображение в разрезе.

**В разрезе изображают то, что расположено в плоскости разреза, и то, что расположено за ней.** Стенки модели или детали, которые условно разрежала проведенная плоскость, заштриховывают тонкими сплошными линиями под углом  $45^\circ$  к горизонтальным линиям основной надписи. Если направление штриховки

совпадает с направлением какой-либо контурной линии, то штриховку выполняют под углом  $30^\circ$  или  $60^\circ$  к линиям основной надписи. Интервал между линиями штриховки равен  $1,5 \dots 2$  мм. Те части предмета, которые расположены за плоскостью разреза, не заштриховывают (рис. 321, *в*). Если на чертеже модели или детали выполнено несколько разрезов, то все они должны иметь одинаковое направление наклона штриховки и одинаковый интервал между линиями штриховки (рис. 322).

Разрез, выполненный на одной плоскости проекций, не влияет на изображения предмета на других проекциях. Так, например, на рис. 321, *в* изображен разрез на фронтальной проекции, а на горизонтальной проекции модель изображена полностью, т. е. то, что условно удалено на одной проекции, сохраняется на других проекциях.

Внутреннее устройство предмета, выявленное разрезом, на других проекциях невидимым контуром не изображается. Для выявления внутренней формы предмета на одном чертеже может быть выполнено несколько разрезов (рис. 322).

В зависимости от положения плоскости, разрезающей модель или деталь, относительно горизонтальной плоскости проекций разрезы могут быть вертикальными и горизонтальными.

При вертикальном разрезе плоскость разреза перпендикулярна плоскости  $H$  (рис. 321, *в*). Такой разрез может быть выполнен на фронтальной и профильной плоскостях проекций.

При горизонтальном разрезе плоскость разреза параллельна плоскости  $H$  (рис. 322).

Разрез, выполненный плоскостью вдоль длины модели или детали, называют **продольным** (рис. 321, *в*), а — перпендикулярно к его длине или высоте — **поперечным** (рис. 322).

Если плоскость разреза совпадает с плоскостью симметрии фронтальных, горизонтальных и профильных разрезов, то положение плоскости, разрезающей предмет, на чертеже не отмечается.

При выполнении разреза выявляется внутреннее устройство предмета, но частично теряется его внешний вид (рис. 321, *а* и *в*). Такой разрез называют **полным**. Его рекомендуется применять, если в плоскости разреза форма детали или модели несимметричная (рис. 321, 322).

Чтобы сохранить внешний вид предмета, на симметричных изображениях разрез показывают до оси симметрии, т. е. половину его, а с другой стороны от оси симметрии изображают предмет неразрезанным, не показывая при этом линиями невидимого контура его внутреннее устройство (рис. 323).

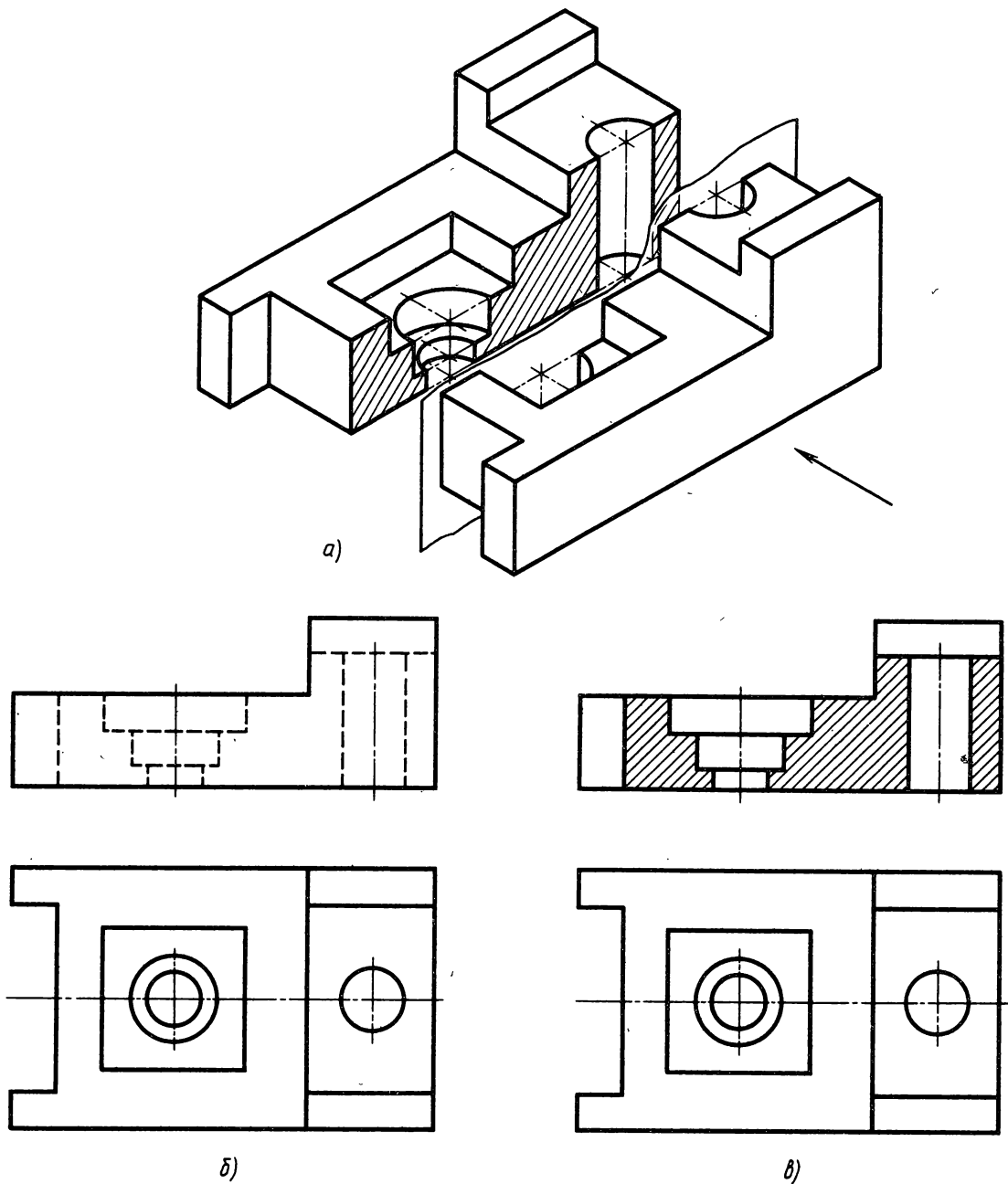


Рис. 321

Границей между внешним видом и разрезом служит штрихпунктирная ось симметрии.

Изображение разреза модели или детали располагается от вертикальной оси симметрии справа (рис. 323), а от горизонтальной оси симметрии — снизу (рис. 324) независимо от того, на какой плоскости проекций он изображается.

Если на ось симметрии попадает проекция ребра, принадлежащего внешнему очертанию

предмета, то разрез выполняют, как показано на рис. 325, а если на ось симметрии попадает ребро, принадлежащее внутреннему очертанию предмета, то разрез выполняют, как показано на рис. 326, т. е. и в том, и в другом случае проекцию ребра сохраняют. Границу между разрезом и внешним видом показывают сплошной волнистой линией.

Чтобы показать внутреннее устройство предмета в узкоограниченном месте, применяют

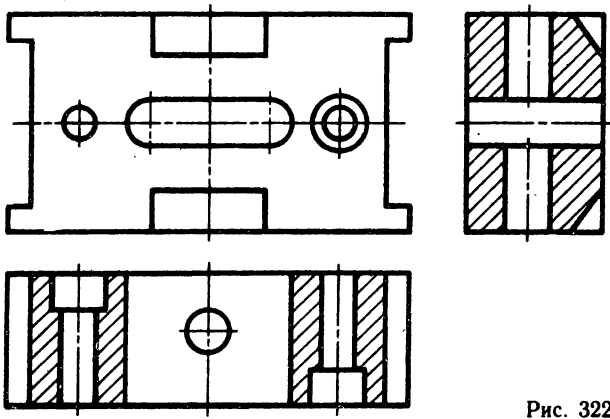


Рис. 322

На симметричных моделях или деталях, чтобы показать внутреннее устройство в аксонометрической проекции, делают вырез ближней четверти (см. рис. 323). Этот вырез не связывают с разрезом на ортогональных проекциях. Так, например, на горизонтальной проекции (см. рис. 323) оси симметрии (вертикальная и горизонтальная) делят изображение на четыре четверти. Выполняя разрез на фронтальной проекции, как бы удаляют нижнюю правую четверть горизонтальной проекции, а на аксонометрическом изображении удаляют нижнюю левую четверть модели. Ребра жесткости (см. рис. 323), попавшие в продольный

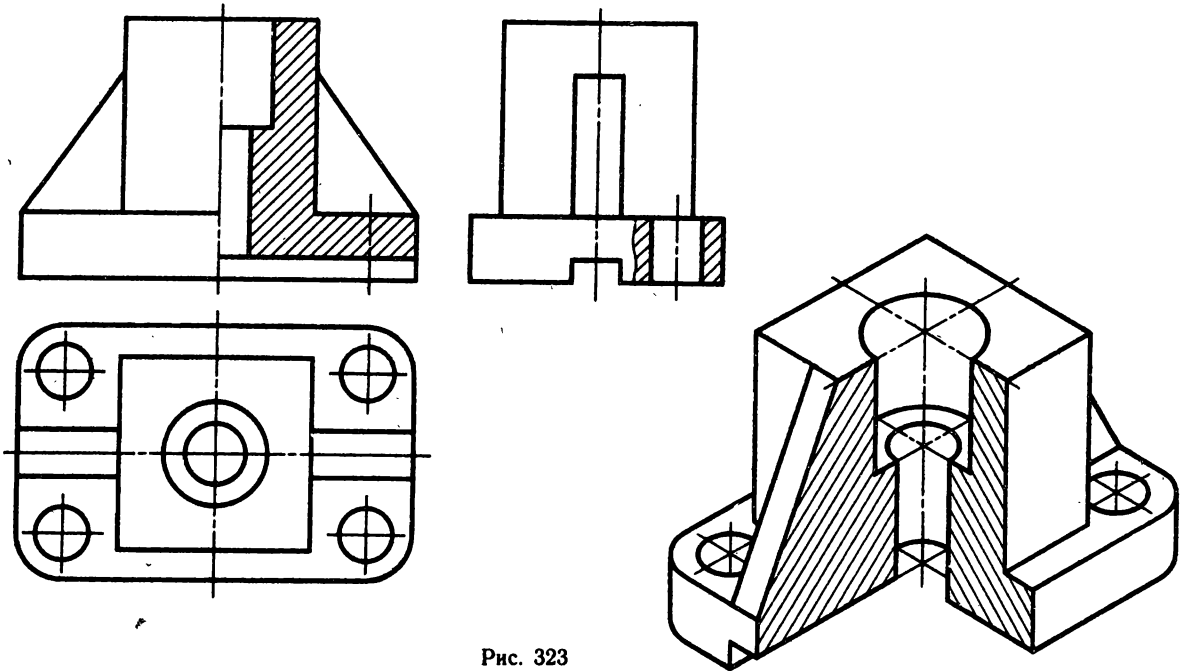


Рис. 323

местные разрезы. Линией, ограничивающей место разреза, является сплошная волнистая линия (см. рис. 323, вид слева).

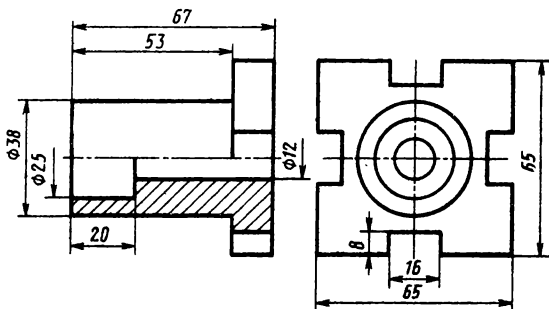


Рис. 324

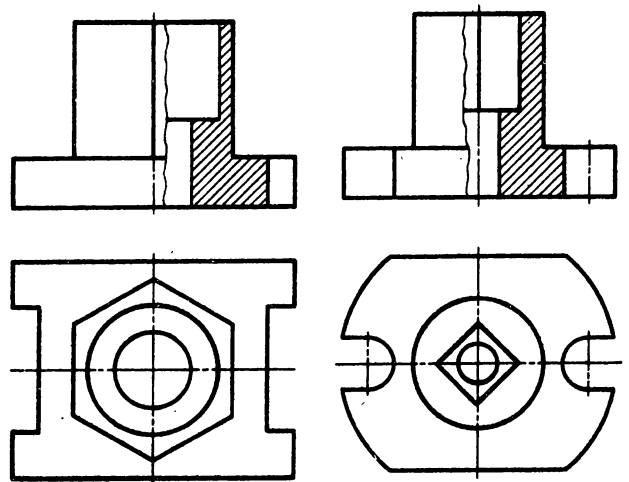


Рис. 325

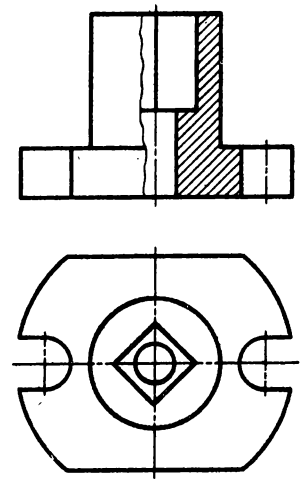


Рис. 326

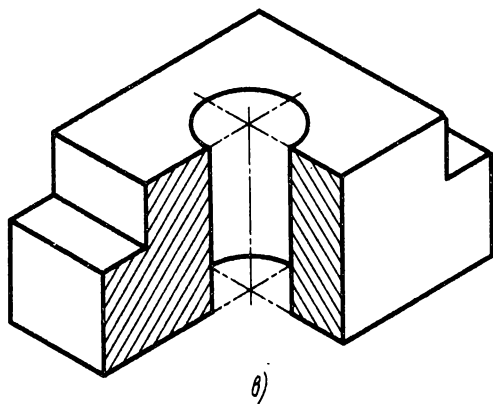
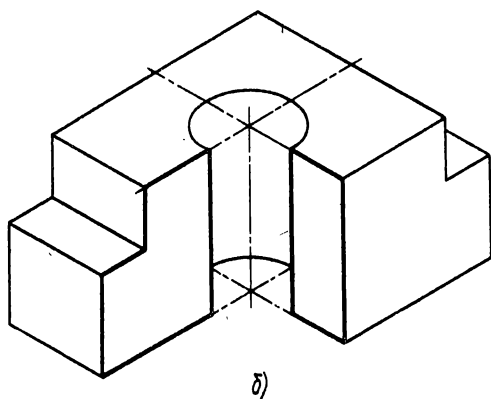
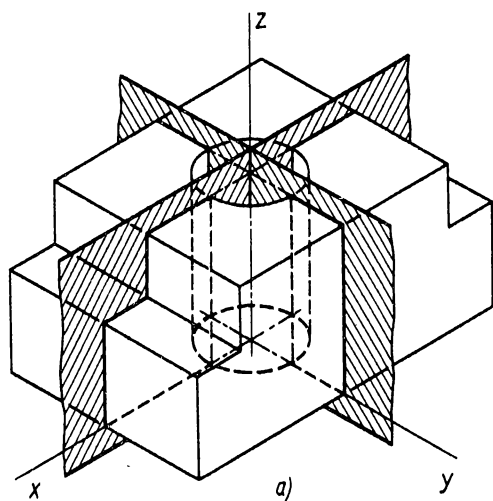


Рис. 327

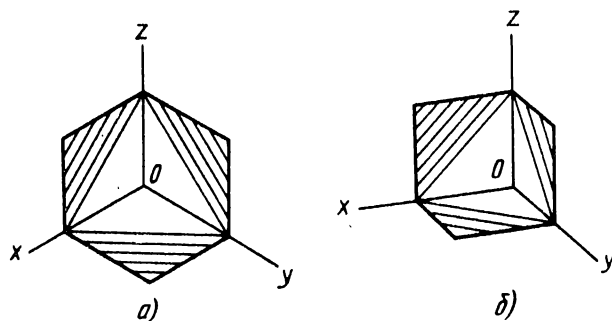


Рис. 328

носящиеся к внешнему виду — там, где разрез не выполнялся (рис. 324). При этом нужно помнить, что размеры, относящиеся к одному элементу детали, следует группировать на одном изображении. Например, на рис. 324 размеры прямоугольной прорези проставлены на профильной проекции, а размеры, относящиеся к цилиндрическому углублению, проставлены на фронтальной проекции.

**Построение модели в аксонометрии с вырезом одной четверти** показано на рис. 327. Построенная в тонких линиях модель мысленно разрезается фронтальной и профильной плоскостями, проходящими через оси  $Ox$  и  $Oy$ . Заключенную между ними четверть модели удаляют, становится видна внутренняя конструкция модели.

Разрезая модель, плоскости оставляют на ее поверхности след. Один такой след лежит во фронтальной, другой в профильной плоскости разреза. Каждый из этих следов представляет собой замкнутую ломаную линию, состоящую из отрезков, по которым плоскость разреза пересекается с гранями модели и поверхностью цилиндрического отверстия.

Фигуры, лежащие в плоскости разреза, в аксонометрических проекциях заштриховывают. На рис. 328, а показано направление линий штриховки в изометрической проекции, а на рис. 328, б — в диметрической проекции.

Линии штриховки наносят параллельно диагоналям квадратов, лежащих в соответствующих координатных плоскостях, стороны которых параллельны аксонометрическим осям. Диагонали этих квадратов отсекают на аксонометрических осях  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$  от точки  $O$  в изометрической проекции одинаковые отрезки, а в диметрической проекции на осях  $Oz$  и  $Ox$  одинаковые отрезки и на оси  $Oy$  — отрезок, равный  $1/2$  отрезка на оси  $Ox$  или  $Oz$ . Поэтому квадраты можно не строить, а от точки  $O$  по осям  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$  отложить соответствующие отрезки. Линии, соединяющие концы отрезков, будут показывать направление линий штриховки в соответствующей плоскости.

разрез на ортогональных проекциях, не заштриховывают, а в аксонометрии заштриховывают.

При простановке размеров на чертеже модели или детали, имеющей простой разрез, следует проставлять размеры, относящиеся к внутренней конструкции, со стороны разреза, а от-

## ТЕХНИЧЕСКОЕ РИСОВАНИЕ

Технический рисунок представляет собой наглядное изображение предмета (геометрического тела, модели, детали и т. п.), выполненное от руки на глаз по правилам построения аксонометрических проекций. Его используют для быстрого и наглядного пояснения чертежей, при конструировании, как иллюстрацию творческой идеи, для ускорения процесса чтения чертежа.

При выполнении технического рисунка необходимо соблюдать пропорции, чтобы избежать искажения изображаемого предмета. Технический рисунок можно выполнять с натуры, по ортогональному чертежу или просто мысленно представив предмет. Выполнение рисунка с натуры развивает глазомер. В этом случае легче подобрать вид аксонометрической проекции, так как предмет можно поворачивать в руках, выбирая более наглядное положение. Чтобы выполнить технический рисунок по ортогональному чертежу, необходимо уметь хорошо читать этот чертеж. Чтобы показать внутреннюю конструкцию предмета, на техническом рисунке выполняют вырез. Разрезанные стенки на рисунке заштриховывают по тем же правилам, что и в аксонометрии. Для наглядности на изображенных поверхностях наносят штрихами или точками условную светотень. Для выполнения технического рисунка используют мягкие карандаши (М—3М). Карандашей должно быть несколько, с различной заточкой грифеля (острые и тупые). Технический рисунок выполняют на чертежной бумаге или на бумаге в клеточку.

Для приобретения навыков в выполнении технического рисунка необходима тренировка в проведении прямых линий от руки с различным наклоном параллельно друг другу, окружностей и овалов, а также в делении на глаз отрезков и углов на равные части.

### § 43. ВЫПОЛНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РИСУНКОВ ПЛОСКИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР

При выполнении технического рисунка из всех аксонометрических проекций чаще всего используют прямоугольную изометрическую и прямоугольную и косоугольную диметрические проекции. Начинают построение с проведения осей симметрии параллельно аксонометрическим осям. Направление аксонометрических

осей без чертежных инструментов можно определить следующими способами.

Для изометрической проекции развернутый угол на глаз делят на шесть частей (рис. 329, а), направления лучей ближних к горизонтальной линии будут соответствовать направлению осей  $Ox$  и  $Oy$ ; ось  $Oz$  будет иметь вертикальное направление.

На рис. 329, б показано построение осей по клеточкам.

Для косоугольной диметрической проекции прямой угол делят пополам (рис. 330) и через точки деления проводят ось  $Oy$ . Стороны прямого угла являются направлением осей  $Ox$  и  $Oz$ . На бумаге в клетку прямую под углом  $45^\circ$  (ось  $Oy$ ) проводят как диагональ клетки.

Для прямоугольной диметрической проекции (рис. 331, а) по горизонтальной стороне прямого угла откладывают восемь одинаковых, произвольно выбранной длины отрезков. Из конца последнего, восьмого отрезка вертикально вниз проводят прямую и откладывают семь таких же отрезков. Последнюю точку соединяют с точкой  $O$  прямой линией, которая будет направлением оси  $Oy$ . Для построения направления оси  $Ox$  от конца восьмого отрезка, лежащего на горизонтальной стороне прямого угла, вертикально вверх откладывают один отрезок (такой же величины, как и ранее отложенные), полученную точку  $I$  соединяют с точкой  $O$  прямой линией, которая будет направлением оси  $Ox$ . Направление оси  $Oz$  пойдет от точки  $O$  вертикально вверх. На рис. 331, б показано построение направления этих осей на бумаге в клеточку.

Выполняя технический рисунок модели или детали, предварительно проводят анализ их формы, мысленно расчлняя ее на геометрические тела и их элементы. Поэтому сначала изучают способы построения отдельных геометрических тел и их элементов.

Чтобы построить геометрическое тело, необходимо сначала построить его основание. В основаниях геометрических тел лежат плоские геометрические фигуры, поэтому рассмотрим способы построения плоских геометрических фигур.

При построении прямоугольников и квадратов их стороны располагают параллельно направлению аксонометрических осей. На рис. 332, а показан пример построения прямоугольника, лежащего в плоскостях  $xOy$  и  $xOz$ , в прямоугольной изометрической проекции; на рис.

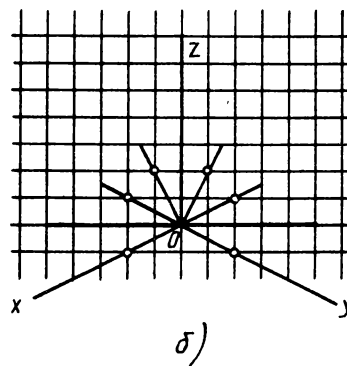
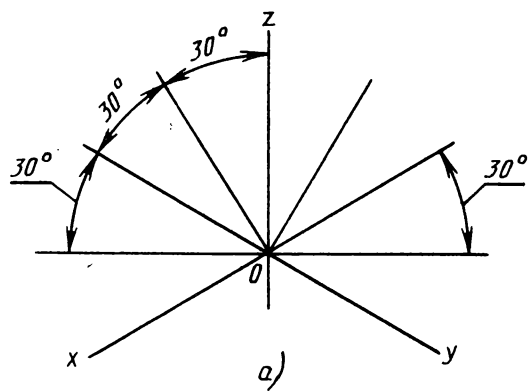


Рис. 329

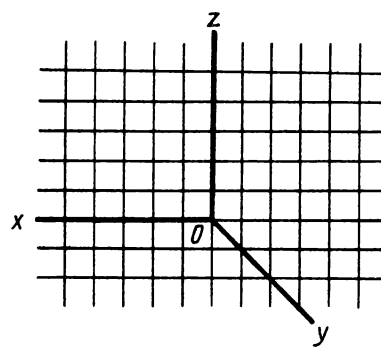
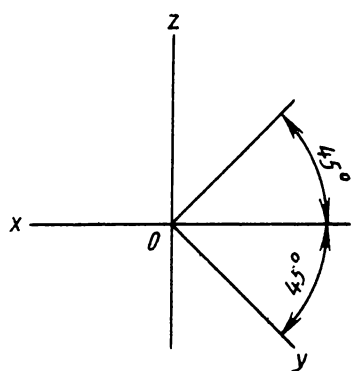


Рис. 330

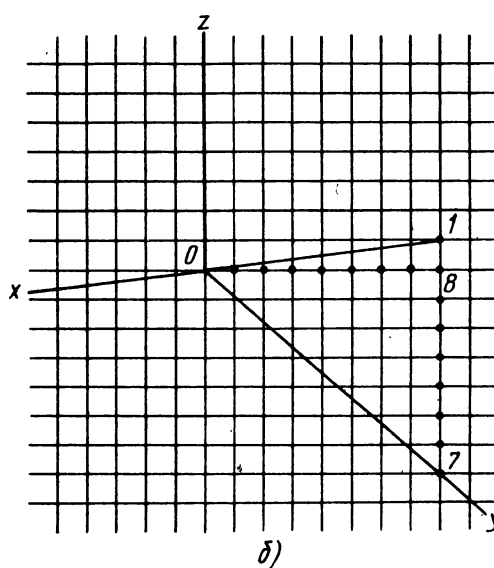
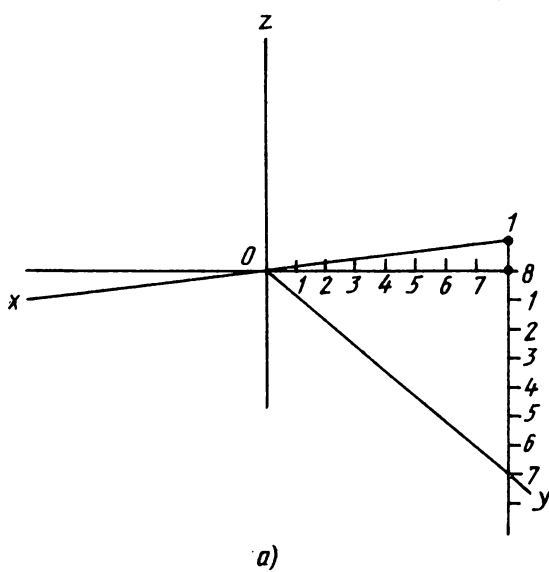


Рис. 331

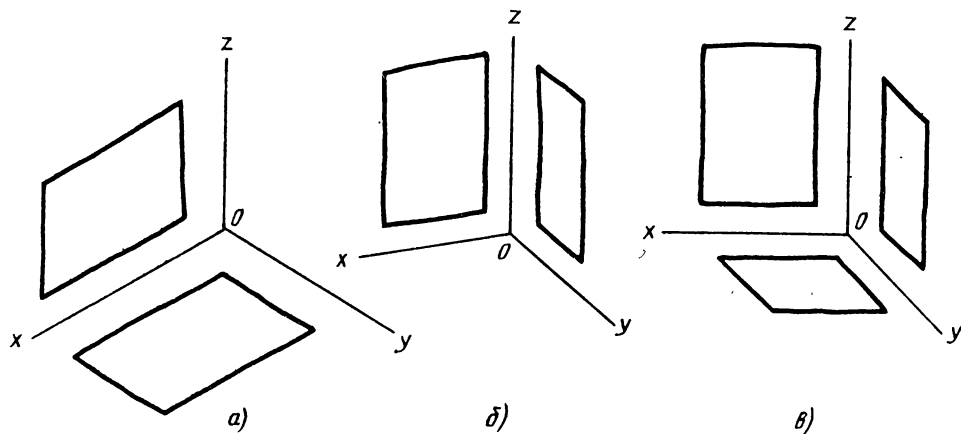


Рис. 332

332, б — в плоскостях  $xOz$  и  $zOy$  прямоугольной диметрической проекции и на рис. 332, в — в плоскостях  $xOy$ ,  $xOz$  и  $zOy$  косоугольной диметрической проекции.

В косоугольной диметрической проекции длину прямоугольника в плоскости  $xOy$  (сторона, параллельная оси  $Oy$ ) и ширину в плоскости  $zOy$  (сторона, параллельная оси  $Oy$ ) изображают с коэффициентом искажения  $\sim 0,5$ .

При построении равнобедренных и равносторонних треугольников необходимо помнить, что их высота перпендикулярна основанию. Поэтому, построив основание такого треугольника в какой-либо плоскости параллельно одной оси, проводят высоту параллельно другой аксонометрической оси.

На рис. 333, а показано построение равнобедренного треугольника в прямоугольной изометрической проекции в плоскостях  $xOz$  и  $xOy$ ; на рис. 333, б — в прямоугольной диметрической

ской проекции в плоскостях  $xOy$  и  $xOz$  (на плоскости  $xOy$  высоту треугольника сокращают в половину, т. е. изображают с коэффициентом искажения 0,5): на рис. 333, в — в косоугольной диметрической (кабинетной) проекции в плоскостях  $xOz$  и  $zOy$  (в плоскости  $zOy$  основание изображают с коэффициентом искажения 0,5).

Построение шестиугольника показано на рис. 334 в ортогональной проекции и в прямоугольной изометрической проекции. Аналогично строят шестиугольник и в других аксонометрических проекциях.

Для построения шестиугольника предварительно строят квадрат на осях, проведенных через его середину (точку  $O$ ). Одну ось квадрата делят на четыре, а другую — на шесть равных частей (рис. 334, а). Ось квадрата, разделенную на четыре части, пересекают стороны квадрата в точках 1 и 4. Эти точки будут

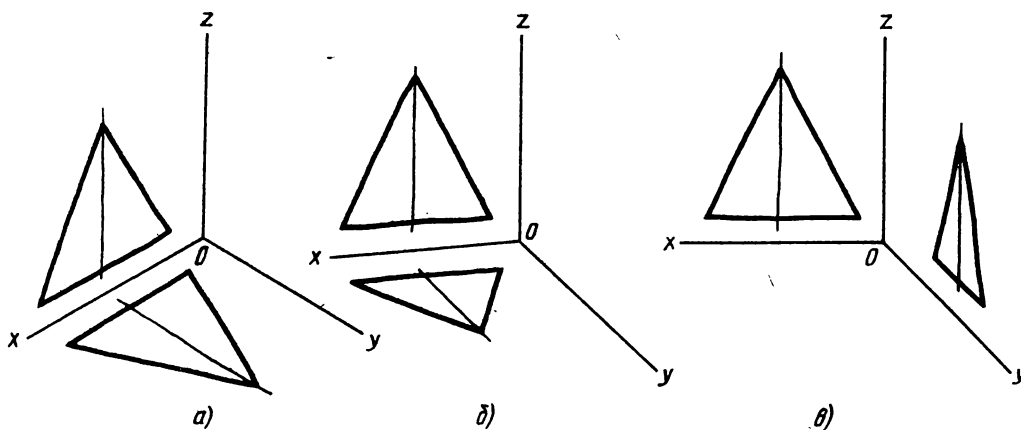


Рис. 333

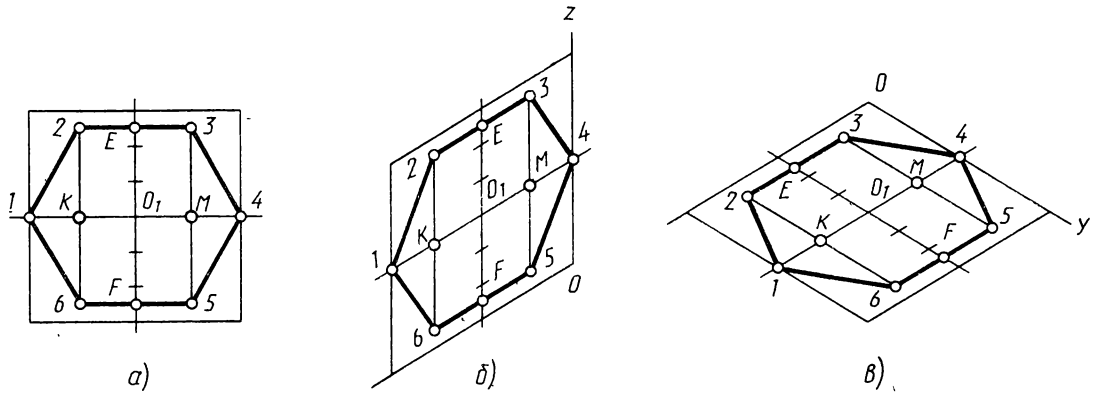


Рис. 334

вершинами двух углов строящегося шестиугольника. Вторую ось квадрата, разделенную на шесть частей, пересекают две стороны шестиугольника на расстоянии  $2,5$  деления с каждой стороны от точки  $O$ . Эти стороны идут параллельно соответствующим сторонам квадрата, их длину ограничивают две линии, проведенные через точки  $K$  и  $M$  параллельно соответствующим сторонам квадрата. Точки  $2, 3, 5, 6$  будут вершинами углов шестиугольника. Последовательно соединив все шесть точек, получают шестиугольник. На рис. 334, б шестиугольник лежит в плоскости  $xOz$ , а на рис. 334, в — в плоскости  $xOy$  в прямоугольной изометрической проекции.

Построение окружности в прямоугольной изометрической проекции показано на рис. 335, б и в, где она изображается в виде эллипса. Так как окружность вписывается в квадрат (рис. 335, а), то сначала строят в аксонометрии квад-

рат. Это значительно упрощает выполнение изображения окружности. На рис. 335, б окружность изображена в плоскости  $xOz$ , а на рис. 335, в — в плоскости  $xOy$ . Сначала строят квадрат, затем отмечаются характерные точки. Точки  $3, 7, 8, 9$  являются точками, в которых эллипс касается сторон квадрата. Большая ось эллипса совпадает с большой диагональю ромба, в который изобразился квадрат в изометрии. Малая ось эллипса совпадает с малой диагональю ромба.

На рис. 335, а окружность изображена в ортогональной проекции, вписанной в квадрат. Диагональ квадрата, на которой лежат точки  $a$  и  $b$ , будет в изометрии той диагональю ромба, с которой совпадает малая ось эллипса. Диагональ квадрата, на которой лежат точки  $c$  и  $d$ , будет в изометрии диагональю ромба, с которой совпадает большая ось эллипса.

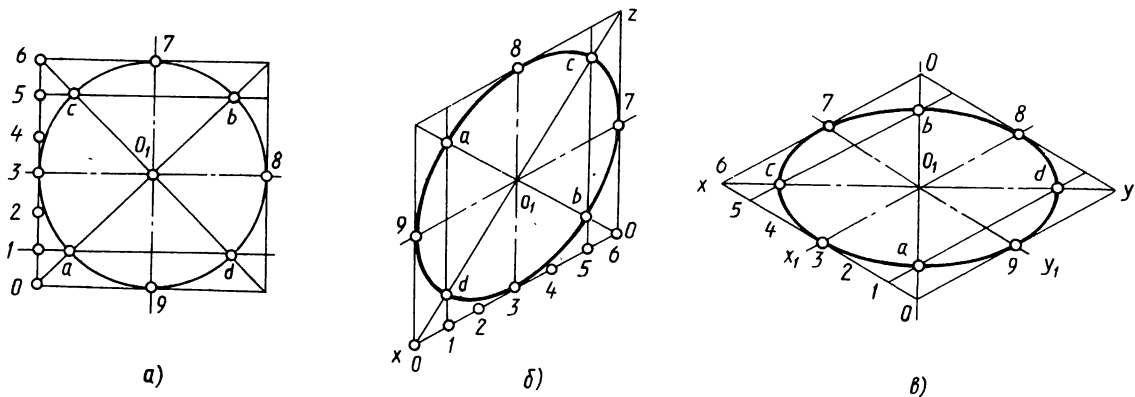


Рис. 335

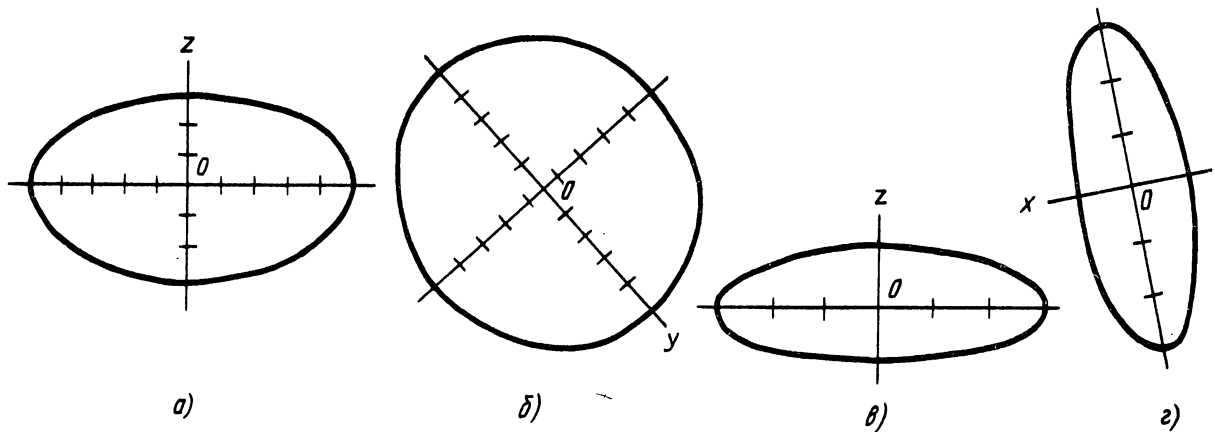


Рис. 336

Если одну сторону квадрата разделить на шесть частей (рис. 335, а) и через первую и пятую точки деления провести горизонтальные линии, то они пройдут через точки  $a$ ,  $d$ ,  $c$  и  $b$ . А так как точки  $a$  и  $b$  являются концами малой оси эллипса в изометрии, а точки  $c$  и  $d$  — концами большой оси эллипса, то для их построения надо сторону квадрата разделить в изометрии на шесть частей и через первую и пятую точки деления параллельно сторонам ромба провести прямые до пересечения их с диагоналями ромба в точках  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$ .

Другим способом эллипс можно построить в аксонометрии по соотношению его осей.

В изометрической проекции отношение большой и малой осей эллипса  $10:6$  (рис. 336, а). Поэтому проводят две взаимно перпендикулярные прямые. От точки их пересечения (точка  $O$ ) откладывают по малой оси в обе стороны по три равных отрезка, а по большой оси в обе стороны — по пять таких же отрезков. Отрезки выбирают произвольно, если построение эллипса не связано в размерах с ортогональным чертежом. Если же эллипс строят в соответствии с размерами, заданными на ортогональном чертеже, то величину отрезка определяют двумя способами: 1) большую ось берут равной диаметру заданной окружности и делят ее на 10; 2) большую ось эллипса берут равной диаметру заданной окружности и умножают на 1,22 (коэффициент увеличения), полученную величину делят на 10. Строя направление осей эллипса, надо помнить о том, что каждая плоскость координат с двух сторон ограничена осями, а третья ось в этой плоскости отсутствует, например, плоскость  $H$  ограничена осями  $Ox$  и  $Oy$ , а ось  $Oz$  лежит вне ее. Малую ось эллипса всегда располагают в направлении отсутствующей оси, а большую ось проводят перпен-

дикулярно малой. Так в плоскости  $xOy$  малая ось расположится в направлении оси  $Oz$ , в плоскости  $xOz$  — в направлении оси  $Oy$ , в плоскости  $zOy$  — в направлении оси  $Ox$ .

При построении окружности в прямоугольной диметрической проекции соотношение большой и малой осей следующее: для плоскости  $xOz$  —  $10:9$  (рис. 336, б) для плоскостей  $xOy$  и  $zOy$  —  $6:2$  (рис. 336, в и г). Направление большой и малой осей в прямоугольной диметрии берется так же, как и в изометрической проекции.

#### § 44. ВЫПОЛНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО РИСУНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ И НАНЕСЕНИЕ СВЕТОТЕНИ НА ИХ ПОВЕРХНОСТИ

Технический рисунок геометрических тел начинают выполнять с аксонометрических осей и построения на них оснований этих тел. Порядок построения технического рисунка геометрических тел ничем не отличается от порядка построения наглядного изображения с помощью чертежных инструментов. Разница состоит лишь в том, что наглядное изображение строят с помощью чертежных инструментов и по размерам, а технический рисунок — от руки, на глаз, с соблюдением пропорций предмета.

Чтобы выразительнее показать объем геометрических тел, на их поверхности наносят условную светотень с помощью параллельных штрихов. Толщина штрихов и интервал между ними зависят от того, на какой части предмета они наносятся. На освещенных участках штрихи наносят тонкими линиями с увеличенным интервалом, а в теневой части штрихи выполняют

толстыми линиями с меньшим интервалом. Поэтому одна и та же линия штриховки может иметь разную толщину. На более освещенном участке она тонкая, а удаляясь от него, линия утолщается. Достигается это легким нажатием на грифель карандаша, когда надо сделать тонкую линию, и постепенным усилением нажима, когда линию требуется утолщить.

На призме направление штрихов выполняют параллельно сторонам грани (рис. 337, а). На боковой поверхности пирамиды и конуса штрихи сходятся в вершине (рис. 337, в и д), на боковой поверхности цилиндра они параллельны образующим (рис. 338, а). На поверхности шара штрихи наносят в виде параллельных эллипсов, расположенных либо как параллели (рис. 338, в), либо как меридианы. При необходимости линию штриховки можно прерывать. Нанесение светотени с помощью параллельных штрихов называют штриховкой. Если провести на поверхности предмета вторую группу штрихов в перпендикулярном направлении к проведенным штрихам, то они образуют клеточки. Такое нанесение светотени называют

шрифировкой (рис. 337, б, г, е; 338, б и г). Можно нанести светотень точками (рис. 338, д). Для этого карандаш ставят перпендикулярно листу бумаги и легким постукиванием грифеля по бумаге в нужном месте ставят точки. На освещенной части точки наносят редко, а в теневой их плотность увеличивают. Такое нанесение светотени называют точечным.

Нанесение и расположение светотени на поверхностях предметов являются в техническом рисунке условными, и выполняется эта условность по следующим правилам.

1. Источник света условно располагается немного сзади рисующего, слева и сверху от него.
2. Верхняя и левая части предмета повернуты к свету, и верхняя горизонтальная часть освещена интенсивнее, чем левая вертикальная.
3. По удаленным линиям контура не проводят толстые темные линии, так как удаленную от рисующего часть выполняю «мягко», с учетом перспективы. Чтобы с освещенной стороны предмет отделился от бумаги, наносят легкую полутень. Ближние к наблюдателю ребра пред-

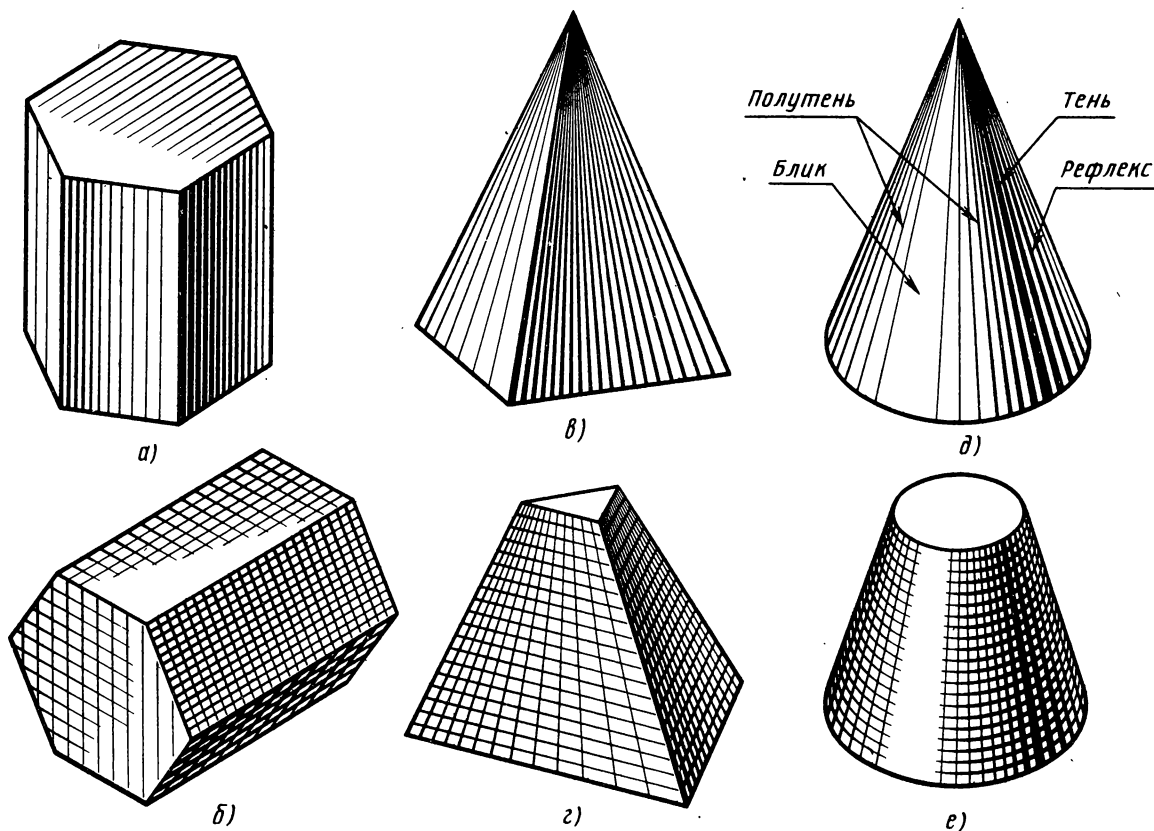


Рис. 337

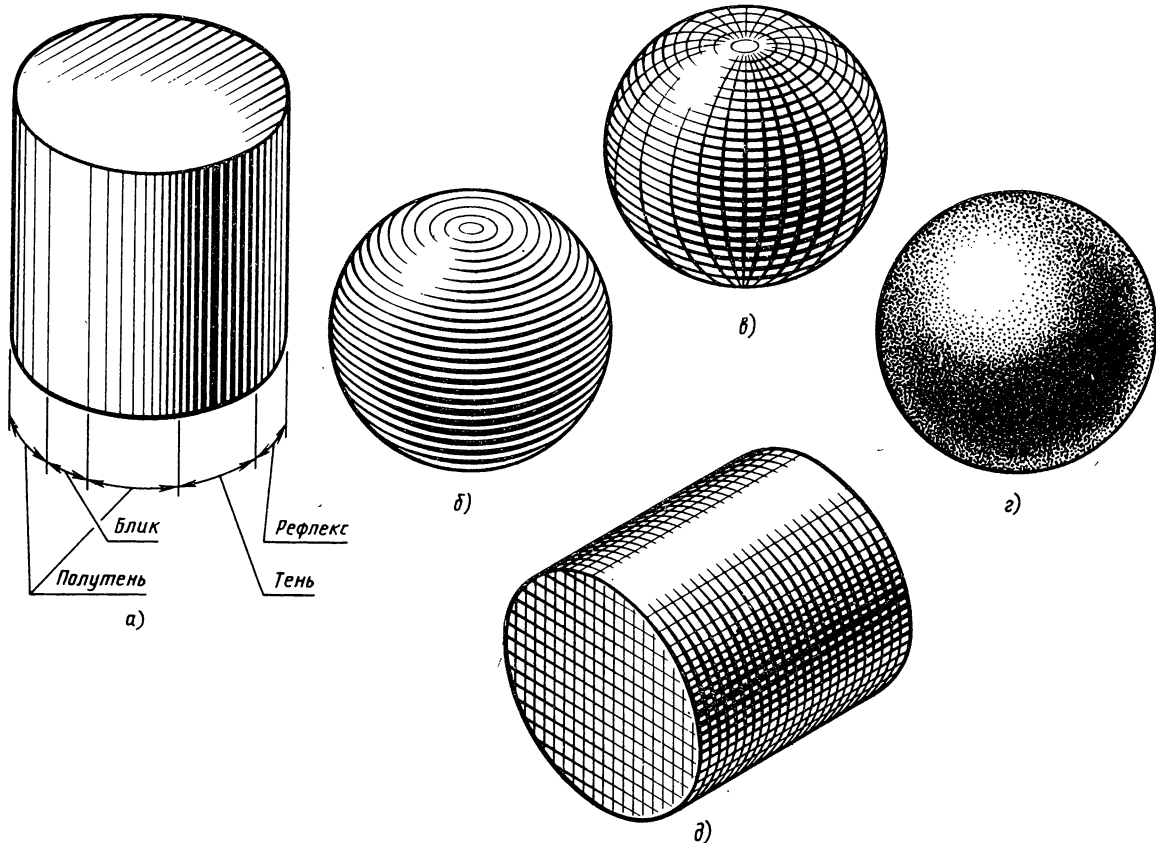


Рис. 338

мета обводят более толстыми и темными линиями.

4. Ребра двух соседних граней призмы или пирамиды обводят резко, а светотень наносят контрастно, т. е. одну грань выполняют темнее другой (особенно на стыке), удаляясь от стыка, штрихуют светлее (рис. 337, а, б, в, г).

5. На телах вращения (цилиндре, конусе, шаре) светотень располагается слева направо по боковой поверхности в следующем порядке (рис. 337, д; 338): а) легкая полутень; б) свет; в) облик; г) полутень, постепенно сгущающаяся в тень; е) тень; ж) полутень (рефлекс).

**Б л и к** — это ярко светящаяся полоса, которая прямо отражает свет. Она хорошо заметна на полированных или шлифованных поверхностях.

**Р е ф л е к с** — это полоска высветленной тени. Свет, падая на окружающие предметы, отражается и, попадая на теньевую часть предмета, делает его светлее.

## § 45. ВЫПОЛНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО РИСУНКА МОДЕЛИ

Выполняя технический рисунок модели, необходимо прежде всего выбрать аксонометрическую проекцию, в которой модель расположится таким образом, чтобы изображение было наглядное, а выполнение ее было бы легким.

Если у модели какая-либо часть имеет форму призмы, в основании которой лежит квадрат, то такую модель следует изображать в прямоугольной диметрической проекции. Не следует располагать модель в изометрической проекции, если у нее есть плоские поверхности, расположенные под углом  $45^\circ$  к плоскости основания модели, так как такие поверхности изображаются отрезками.

Внутреннюю конструкцию модели показывают вырезом четверти модели, где стенки, попавшие в разрез, штрихуют, как и при выполнении наглядного изображения чертежными инструментами. На рис. 339 показан техниче-

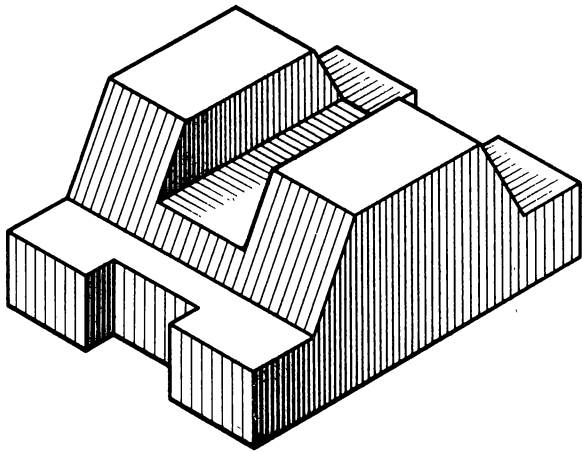


Рис. 339

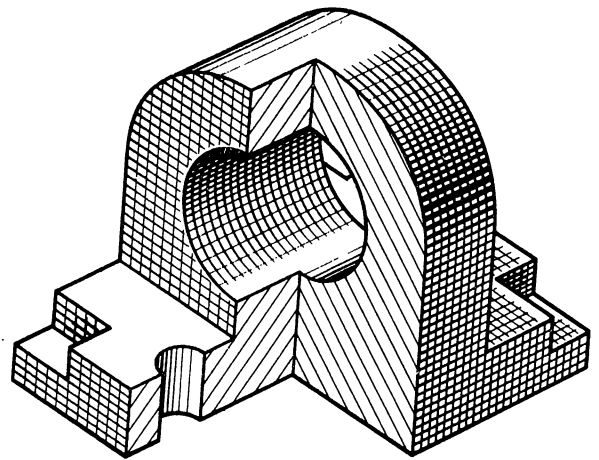


Рис. 340

ский рисунок модели без отверстий. Такие модели не требуют вырезов четверти. Рельефность модели передана штриховкой.

На рис. 340 показан технический рисунок модели с вырезом одной четверти, а рельефность показана шрафировкой. Источник света условно располагается слева, сверху и немного сзади наблюдателя. На отверстиях модели проводят осевые и центровые линии параллельно аксонометрическим осям (рис. 340).

Участки поверхности модели в зависимости от расположения относительно источника света имеют различную степень освещенности. Условно их можно разбить на три группы.

1. Участки, расположенные горизонтально, и, следовательно, хорошо освещенные, не штрихуют или штрихуют очень редко тонкими линиями.

2. Участки, расположенные вертикально и повернутые от света, штрихуют толстыми линиями с небольшими интервалами.

3. Участки, расположенные вертикально и повернутые к свету, штрихуют тонкими линиями с небольшими интервалами.

#### **ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ**

1. Каково назначение технического рисунка?
2. Чем отличается технический рисунок от аксонометрического изображения модели?
3. На какой бумаге выполняют технический рисунок и какой твердости нужно взять карандаш для его выполнения?
4. Последовательность выполнения технического рисунка?
5. Последовательность выполнения технического рисунка геометрического тела?
6. Каково соотношение осей эллипса в изометрической проекции?
7. Каково соотношение осей эллипса в прямоугольной диметрии для окружностей, расположенных в плоскостях  $V$ ,  $H$  и  $W$ ?
8. Где (условно) располагается источник света при выполнении технического рисунка?
9. Чем отличается штриховка от шрафировки?
10. В каком направлении наносят штрихи, чтобы изобразить объем модели?

РАЗДЕЛ  
**III**  
**МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ЧЕРЧЕНИЕ**

---

ГЛАВА XIII

**ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

---

**§ 46. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ЕСКД**

С середины 60-х годов в нашей стране проводилась работа по пересмотру стандартов «Чертежи в машиностроении» и «Система чертежного хозяйства» с целью создания строгой единой системы правил и положений, определяющих порядок выполнения, оформления и обращения конструкторской документации. В 1968 г. был утвержден основной комплект пересмотренных стандартов (всего 94 стандарта), который назвали «Единая система конструкторской документации» (ЕСКД). Требования, устанавливаемые ГОСТами ЕСКД, обязательны для всех отраслей промышленности. При создании ЕСКД учитывались достижения в развитии науки и техники; возросшие требования к чертежу, как основному документу производства; новые способы изготовления, размножения и обращения конструкторских документов. В ЕСКД были сохранены те основные положения, правила и условия действующих ранее стандартов, которые выдержали испытание временем. Вместе с тем в ЕСКД были учтены требования ИСО (Международная организация по стандартизации), МЭК (Международная электротехническая комиссия) и Постоянной комиссии СЭВ по стандартизации. И сейчас продолжается работа по совершенствованию ГОСТов ЕСКД, ее проводит Госкомитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии.

ГОСТ 2.001—70 распределяет все стандарты ЕСКД на десять классификационных групп (с 01 до 9); 0-я группа содержит ГОСТы, определяющие общие положения ЕСКД; 1-я группа — основные положения; 2-я группа — классификацию и обозначение изделий в конструкторских документах; 3-я группа — общие

правила выполнения чертежей; 4-я группа — правила выполнения чертежей изделий машиностроения и приборостроения и т. д.

В соответствии с этим номер ГОСТа ЕСКД состоит из следующих цифр: первая цифра обозначает класс, присвоенный всем ГОСТам, входящим в ЕСКД (после этой цифры ставится точка); вторая цифра обозначает классификацию группы ГОСТа, входящего в ЕСКД; следующие две цифры — порядковый номер ГОСТа в данной группе; две последние цифры (после тире) обозначают год утверждения и регистрации ГОСТа.

Например, ГОСТ 2.304—81: 2 обозначает, что он относится к группе ГОСТов ЕСКД; 3 — определяет общие правила выполнения чертежей; 04 — порядковый номер этого ГОСТа в группе; 81 — год его регистрации.

Помимо государственных стандартов в нашей стране к определенным видам продукции, которая не является объектом государственной стандартизации, применяют отраслевые стандарты (ОСТ), применяемые в какой-либо одной отрасли промышленности, и стандарты предприятий (СТП), разработанные и применяемые на каком-либо отдельном предприятии.

**§ 47. ВИДЫ ИЗДЕЛИЙ**

Виды изделий устанавливает ГОСТ 2.101—68 (СТ СЭВ 364—76). Изделием называют любой предмет или набор предметов, подлежащих изготовлению на предприятии. Изделия в зависимости от их назначения делят на изделия основного и вспомогательного производства. Изделия, выпускаемые предприятием для реализации, — это изделия основного производства. Изделия, которые предприятие изготавливает для нужд собственного про-

изводства (например, оснастка, приспособления, инструменты, требующиеся для изготовления изделий основного производства), — это изделия вспомогательного производства.

Все изделия ГОСТ 2.101—68 делит на следующие виды: детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты. Сборочные единицы, комплексы и комплекты относятся к специфицируемым изделиям, т. е. к таким, которые состоят из двух и более составных частей и на которые нужно составлять спецификацию — перечень этих составных частей. Деталь не имеет отдельных составных частей и поэтому ее относят к неспецифицируемым изделиям.

Детали изготавливают из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Литой из чугуна, стали или другого материала корпус, втулка или гайка, выполненные из одного куска металла, являются деталями.

Нанесение защитного или декоративного покрытия на деталь, применение местной сварки, склеивания и т. п. при изготовлении детали из одного куска листового материала не делают ее сборочной единицей.

Сборочная единица — это изделие, состоящее из двух и более составных частей, соединенных между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сваркой, клепкой, опрессовкой и т. п.). Станок, микрокалькулятор, водопроводный кран или газовый вентиль, пластмассовая ручка управления с запрессованной металлической втулкой — примеры сборочных единиц.

Комплекс составляют два и более специфицированных изделия, которые не соединены сборочными операциями, но служат для выполнения взаимосвязанных функций во время работы комплекса. Цех-автомат, завод-автомат, бурильная установка — примеры таких комплексов.

Комплект составляют два и более отдельных, не соединенных сборочной операцией изделия, т. е. набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера. Примером могут служить комплекты запасных частей, инструментов, измерительной аппаратуры.

## § 48. КОНСТРУКТОРСКИЕ ДОКУМЕНТЫ И СТАДИИ ИХ РАЗРАБОТКИ

Конструкторские документы — это графические (чертежи, схемы) и текстовые (спецификации, ведомости, инструкции) документы, которые в отдельности или в совокупности опре-

деляют состав и устройство изделия. Они содержат необходимые данные для его разработки или изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта. ГОСТ 2.102—68 определяет 28 видов документов.

1. Чертеж детали — документ, содержащий изображение детали и данные, необходимые для ее изготовления и контроля (размеры, предельные отклонения, обозначения шероховатости поверхностей, данные о материале, термообработке, отделке).

2. Сборочный чертеж — документ, содержащий изображение сборочной единицы и данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля.

3. Чертеж общего вида — документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его основных составных частей и поясняющий принцип работы изделия.

4. Схема — документ, показывающий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними.

5. Спецификация — документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта. Основным конструкторским документом для деталей считают чертеж детали, для других изделий — спецификацию (документ, который в отдельности или в совокупности с другими документами полностью и однозначно определяет какое-либо изделие и его состав). В зависимости от способа выполнения конструкторские документы делятся на оригиналы, подлинники, копии и дубликаты.

Оригиналы — это выполненные на любом материале документы, по которым изготавливают подлинники.

Подлинники — это документы, которые оформлены подлинными установленными подписями и выполнены на материале, позволяющем многократное получение копий этих документов.

Копии — это документы, выполненные таким способом, который обеспечивает их идентичность с подлинником. Копии предназначены для непосредственного использования при изготовлении, эксплуатации и ремонте изделия.

Дубликаты — это копии подлинников, с которых можно снимать копии. Дубликат повторяет подлинник и действует на правах второго экземпляра подлинника.

Стадии разработки конструкторских документов изделия определяет ГОСТ 2.103—68 (СТ СЭВ 208—75). Перечень документов, выполняемых на каждой стадии разработки, определяет ГОСТ 2.102—68. Конструкторские документы делят на проектные (техническое предложение, эскизный проект и технический проект) и рабочие (рабочая документация).

Техническое предложение — совокупность конструкторских документов, дающих обоснование целесообразности разработки документации изделия с учетом анализа технического задания и возможных вариантов решения, сравнительной оценки решений и особенностей разрабатываемого и существующего изделия, а также патентных материалов. После согласования и утверждения техническое предложение является основанием для выполнения эскизного проекта.

Эскизный проект — совокупность конструкторских документов, содержащих принципиальные конструкторские решения и дающих представление об устройстве изделия, принципе его работы, основных параметрах и габаритах. Эскизный проект после согласования и утверждения служит основанием для разработки технического проекта.

Технический проект — совокупность конструкторских документов, содержащих окончательное техническое решение, дающее

полное представление об устройстве проектируемого изделия, содержащее все необходимые данные для разработки рабочей документации.

Рабочая документация — совокупность конструкторских документов, предназначенных для изготовления, сборки и контроля изделия и его основных частей. Сюда входят различные инструкции, чертежи деталей, сборочные чертежи, спецификации, ремонтные чертежи и т. п.

Объем работ и требования к различным документам на каждой стадии разработки конструкторской документации подробно рассмотрены в ГОСТ 2.118—73, ГОСТ 2.119—73 и ГОСТ 2.120—73.

Одним из важных этапов в разработке документации является прохождение нормоконтроля. Нормоконтролю подвергаются конструкторские документы на всех стадиях разработки. Порядок проведения нормоконтроля, его цели, задачи и содержание определяет ГОСТ 2.111—68.

#### ГЛАВА XIV

### ИЗОБРАЖЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЧЕРТЕЖАХ

Машиностроительное черчение представляет собой часть технического черчения. Машиностроительные чертежи выполняют, используя правила и приемы, рассмотренные при изучении геометрического и проекционного черчения. Кроме этого, для выполнения машиностроительных чертежей необходимы знания таких технических дисциплин, как детали машин, технология машиностроения и др. В машиностроительном черчении учащиеся знакомятся с техническими понятиями и терминами, вопросами конструирования и технологией изготовления, приобретают навыки по выполнению и оформлению чертежей, учатся пользоваться необходимыми стандартами, изучают условности, используемые в машиностроительном черчении.

Машиностроительный чертеж изделия может иметь различное число изображений, которое определяется сложностью внешней и внутренней формы этого изделия. В зависимости от содержания изображения делятся на виды, разрезы и сечения. Число изображений (видов, разрезов, сечений) должно быть на чертеже минимальным, но дающим полное представление о предмете. Правила выполнения изображения предметов устанавливает ГОСТ 2.305—68.

#### § 49. ВИДЫ. ВЫНОСНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Вид — это изображение видимой части поверхности предмета.

Допускается изображать штриховой линией невидимые части поверхности предмета, если это ведет к уменьшению числа изображений.

Основные виды представляют собой виды, расположенные на шести гранях развернутого куба, при этом все грани совмещаются с плоскостью чертежа. На рис. 341 показано расположение основных видов, которые устанавливает ГОСТ 2.305—68. Изображение, выполненное на фронтальной плоскости проекций, является главным видом. Этот вид должен давать наиболее полное представление о форме и размерах изображаемого предмета. Название видов на машиностроительных чертежах не надписывают, если они располагаются в проекционной связи с главным видом. Если на чертеже нет места для расположения в проекционной связи какого-либо основного вида, его располагают на свободном месте чертежа, сделав над ним надпись типа «А». Надпись располагается над изображением горизонтально и обозначает, что это вид в направлении «А». Направление взгляда

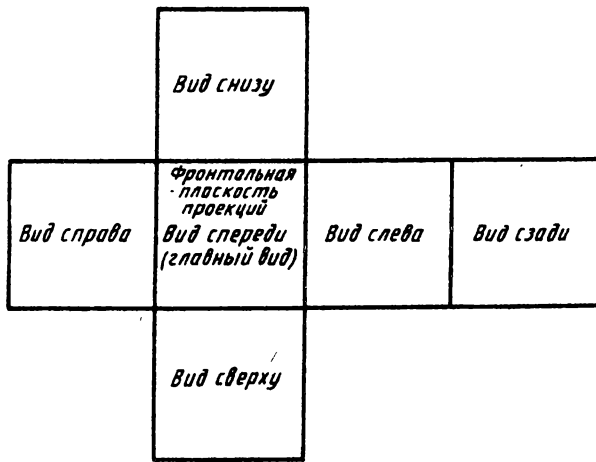


Рис. 341

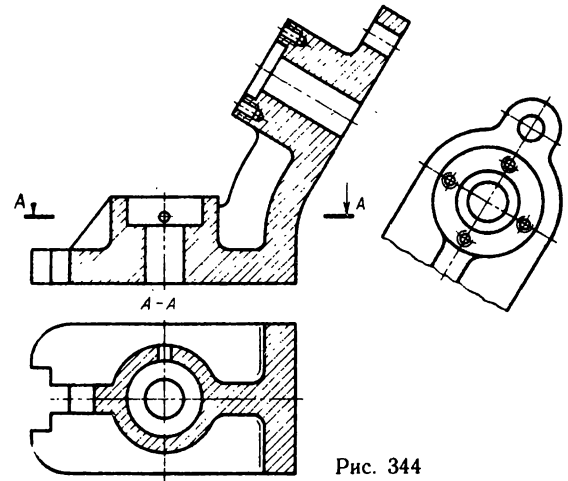


Рис. 344

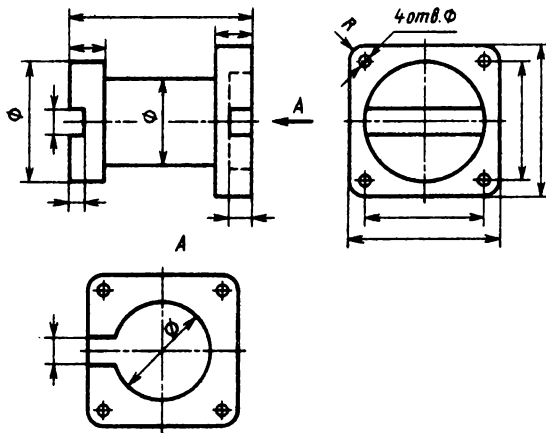


Рис. 342

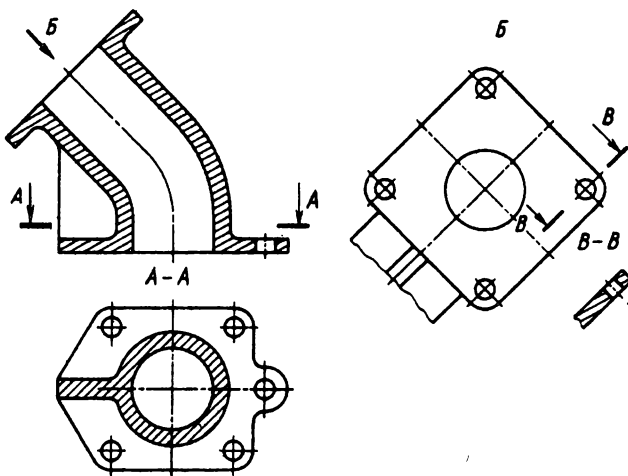


Рис. 343

указывается стрелкой на основном изображении. Около стрелки пишут прописную букву русского алфавита (рис. 342). При отсутствии изображения, на котором можно показать направление взгляда, название вида надписывают.

Дополнительные виды применяют тогда, когда какую-либо часть предмета невозможно показать на основных видах без искажения его формы и размеров. Этот вид располагается на плоскости, не параллельной ни одной из основных плоскостей проекций. Обозначают дополнительные виды на чертеже так же, как и основные, расположенные вне проекционной связи (рис. 343). Если дополнительный вид расположен в проекционной связи с соответствующим изображением, то надпись над этим видом не наносят и направление взгляда стрелкой не указывают (рис. 344). Дополнительный вид можно повернуть, но при этом сохраняют положение, принятое для этого предмета на главном виде, т. е. верхняя часть вида должна остаться вверху. Над видом делают надпись типа *Б* со знаком после буквы —  $\odot$ , обозначающим, что изображение повернуто, размеры знака показаны на рис. 347, в.

Местным видом называют изображение отдельного узко ограниченного места поверхности предмета. На чертеже этот вид может быть ограничен линией обрыва (рис. 346, *Б*) и может быть не ограничен (рис. 346, *Б*). Местный вид обозначается надписью типа «*Б*». Направление взгляда указывается стрелкой, обозначенной прописной буквой русского алфавита (рис. 346). Форма и размеры стрелок, указывающих направление взгляда, показаны на рис. 347, *б*. Надпись, сопровождающая вид, выполняется всегда горизонтально. Размер шрифта для надписи над видом берется на номер больше, чем размер шрифта, взятого для размерных чисел.

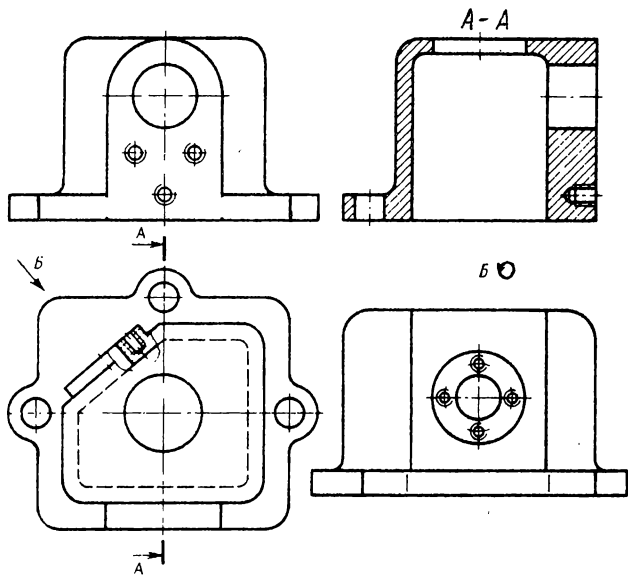


Рис. 345

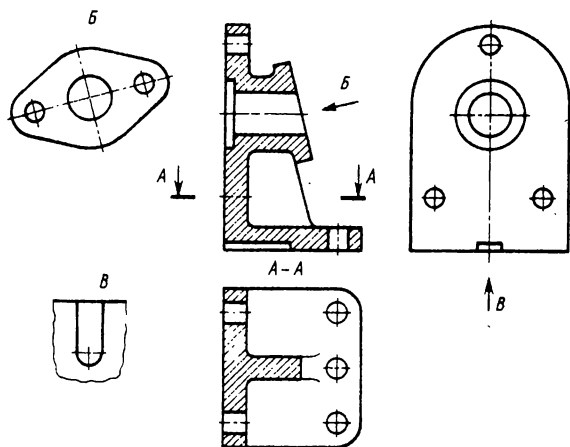


Рис. 346

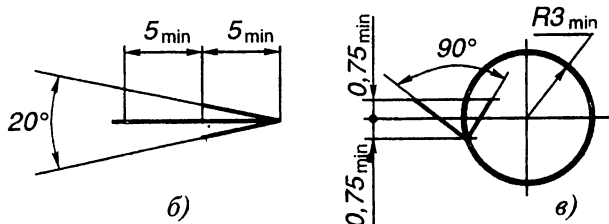
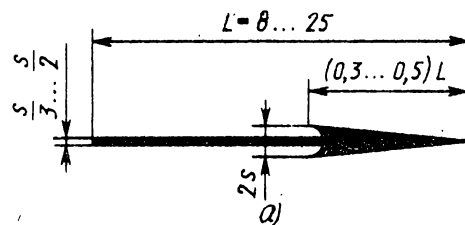


Рис. 347

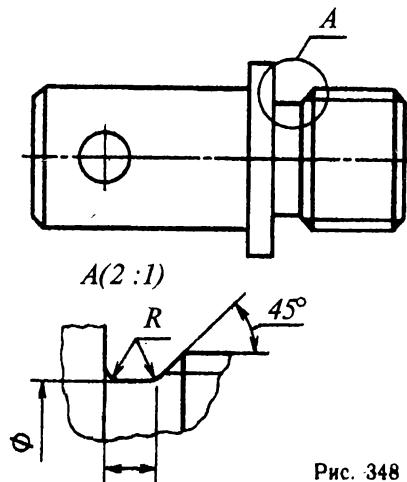


Рис. 348

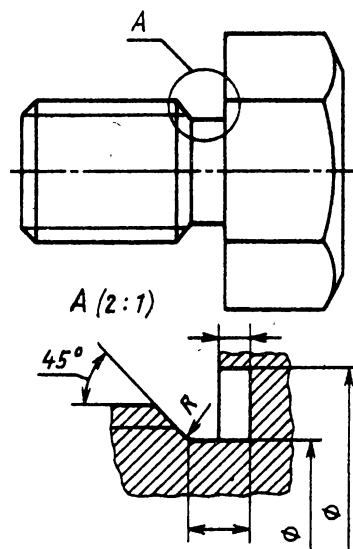


Рис. 349

Выносной элемент — это отдельное дополнительное изображение какой-либо части предмета. Чаще всего это изображение выполняется в увеличенном виде, когда необходимо более четко показать форму какой-то части предмета, проставить размеры или нанести какие-либо другие данные. Место чертежа, которое изображается на выносном элементе, обводят замкнутой тонкой сплошной линией в виде овала или окружности, от которой проводят линию-выноску с полкой, над которой пишут обозначение — прописную букву русского алфавита. Над выносным элементом параллельно основ-

ной надписи пишут обозначение — прописную букву русского алфавита и после нее пишут масштаб, в котором выполнен выносной элемент (рис. 348). Располагать выносной элемент стараются ближе к соответствующему участку изображенного предмета. Выносной элемент по своему содержанию может отличаться от основного изображения. Например, основное изображение представляет собой вид, а выносной элемент — разрез (рис. 349), где показывают углубление для прокладки, расположенное с нижней стороны головки пробки. Выносной элемент ограничивается линией обрыва так, чтобы его площадь была наименьшей.

## § 50. РАЗРЕЗЫ

Простые разрезы в машиностроительном черчении выполняют по ГОСТ 2.305—68. Учитывая сложность и разнообразие форм деталей, в машиностроительном черчении кроме рассмотренных в § 42 простых разрезов применяются и другие простые разрезы.

Если простой разрез выполнен плоскостью, перпендикулярной к какой-либо плоскости проекций, но эта плоскость разрезает деталь на две неодинаковые части, то положение секущей плоскости указывают на основном изображении линией сечения. Эта линия представляет собой два разомкнутых штриха толщиной от  $s$  до  $1,5s$ , где  $s$  — толщина основной линии. Длина каждого штриха 8...20 мм (на учебных чертежах рекомендуется брать 8...12 мм).

В направлении взгляда на разрез к разомкнутым штрихам перпендикулярно ставят стрелки на расстоянии 2...3 мм от наружных концов (см. рис. 344, 345). Стрелки обозначают прописными буквами русского алфавита шрифтом на номер или два больше, чем номер шрифта, которым написаны цифры размерных чисел. Буквы наносят параллельно горизонтальным линиям основной надписи, независимо от наклона стрелок и располагают во внешнем углу, образованном стрелкой и продолжением штриха, как показано на рис. 350.

Разомкнутые штрихи линии сечения наносят так, чтобы они не пересекали контур детали и размерные линии. Над разрезом делают надпись типа «А—А». В надписи используют те же буквы, которыми обозначены стрелки. Между буквами ставится тире. Надпись всегда располагают горизонтально (см. рис. 344 и 345).

На несимметричных деталях в одной секущей плоскости могут быть выполнены два разреза. В этом случае след секущей плоскости

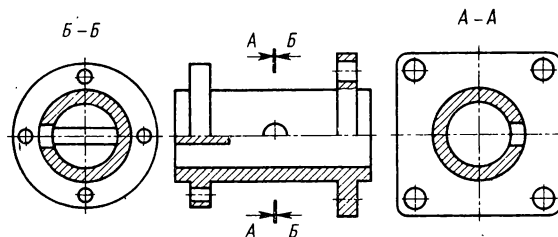


Рис. 350

и соответствующие разрезы оформляются так, как показано на рис. 350.

Если секущая плоскость разрезает деталь на две несимметричные части, но при этом изображение разреза является симметричным, то разрешается изображать половину разреза до оси симметрии, располагая его справа от оси (рис. 351, разрез Б—Б) или снизу (рис. 351, разрез А—А).

Если простой разрез выполнен плоскостью, расположенной под углом, отличным от прямого, к горизонтальной плоскости проекций, то такой разрез называется наклонным. Наклонный разрез располагают в соответствии с направлением взгляда, указанным стрелками, в непосредственной близости от основного изображения (рис. 352, а). Разрешается располагать этот разрез на свободном месте поля чертежа. Допускается наклонный разрез поворачивать в такое положение, которое не отличалось бы от положения предмета на главном виде. Рядом с обозначением такого разреза пишут знак  $\odot$  (рис. 352, б).

Сложный разрез — это разрез, выполненный двумя и более плоскостями. Сложные разрезы используют при выполнении чертежей деталей, на которых нельзя показать внутреннюю конструкцию с помощью простых разрезов.

В зависимости от взаимного расположения секущих плоскостей сложные разрезы делятся на ступенчатые, ломанные и комбинированные.

Ступенчатые разрезы — это разрезы, где секущие плоскости располагаются параллельно друг другу (рис. 353).

Ломанные разрезы — это разрезы, когда секущие плоскости пересекаются друг с другом под углом, отличным от прямого (рис. 354).

Комбинированный разрез — это разрез, когда секущие плоскости располагаются частично как при ступенчатом разрезе (параллельно друг другу), частично как при ломаном разрезе (пересекаясь) (рис. 355). Положения секущих плоскостей на чертеже отмечают разомкнутыми штрихами.

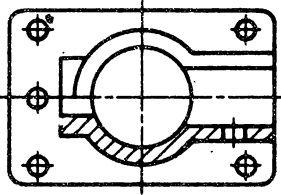
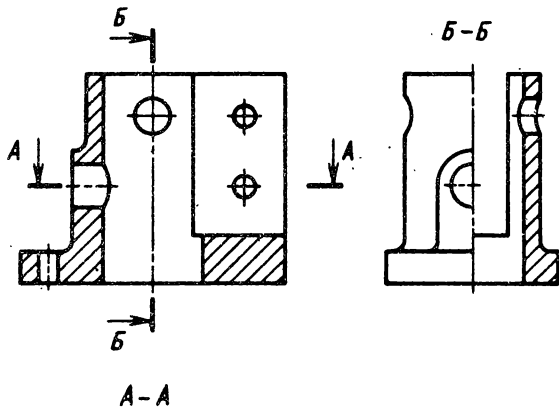


Рис. 351

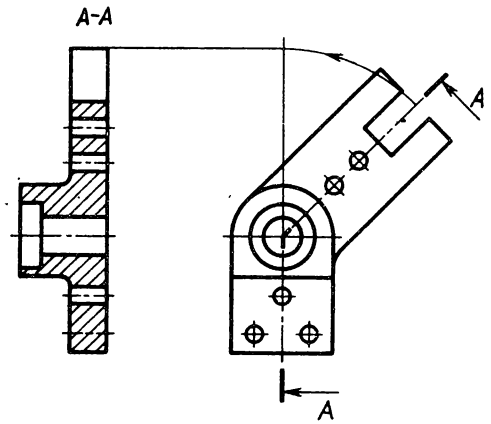


Рис. 354

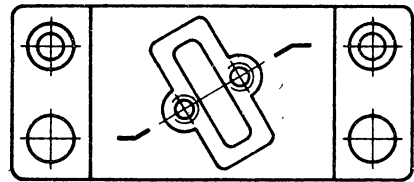
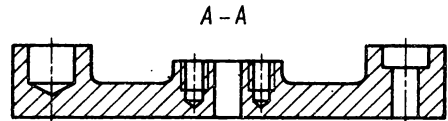


Рис. 355

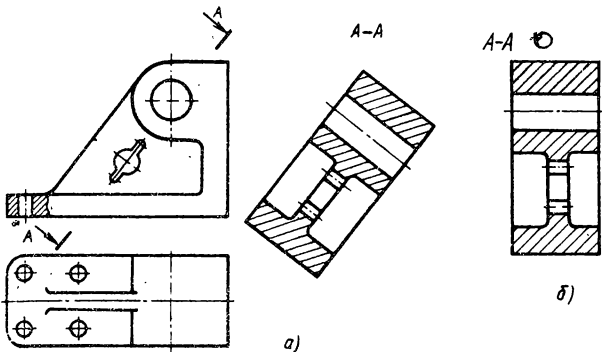


Рис. 352

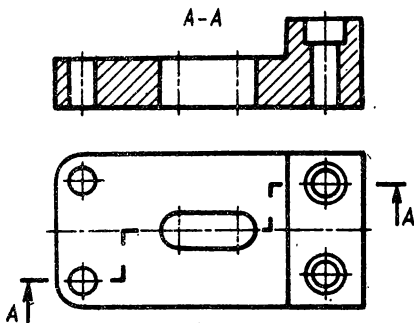


Рис. 353

Начало первой секущей плоскости и конец последней отмечают разомкнутыми штрихами со стрелками и буквами, как на простых разрезах. В том месте, где одна плоскость разреза переходит в другую, линию сечения выполняют с перегибом под прямым углом для ступенчатых разрезов и под углом, отличным от прямого, для ломаных разрезов. Длина штрихов линии сечения с перегибом определяется размером чертежа и расположением контурных линий изображения. Эти линии также не должны пересекать контур детали, размерные и выносные линии. Над сложным разрезом делают такую же надпись, как и над простым разрезом. Сложные разрезы могут располагаться на любом свободном месте чертежа в соответствии с направлением, указанным на линии сечения. При выполнении ступенчатого разреза секущую плоскость как бы совмещают в одну плоскость. При выполнении ломаного разреза секущую плоскость, не параллельную плоскости проекций, поворачивают и совмещают в одну плоскость, при этом направление поворота плос-

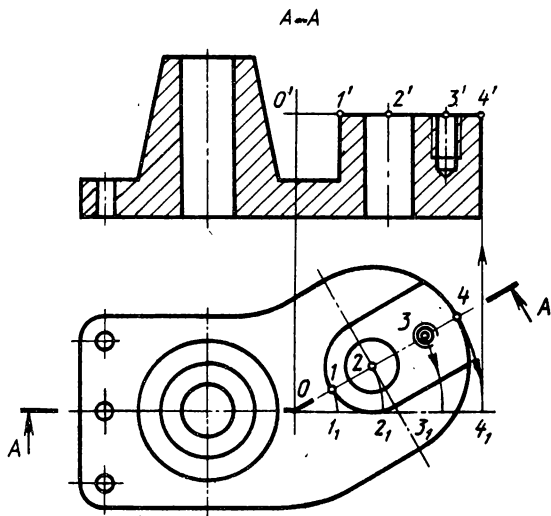


Рис. 356

кости может не совпадать с направлением взгляда (рис. 356).

Разрез выполняют в такой последовательности.

1. Строят часть разреза, лежащую в секущей плоскости и расположенную параллельно плоскости проекций, на которой строят разрез. На рис. 356 это левая часть детали, лежащая во фронтальной плоскости.

2. На виде сверху последовательно измеряют от точки  $o$  расстояния до точек 1, 2, 3 и 4 по следу секущей плоскости и откладывают их на разрезе от точки  $o'$ .

3. Строят правую часть разреза.

При выполнении комбинированного разреза сначала строят часть разреза, которая расположена в секущей плоскости, параллельной плоскости, на которой строят разрез (см. рис. 355, левую часть). Затем мысленно поворачивают наклонную плоскость, совмещая её с первой. Строят разрез, расположенный в этой плоскости, так же, как ломанный разрез, выполненный на рис. 356. Заканчивают построение разрезом, лежащим в последней секущей плоскости и расположенным параллельно первой секущей плоскости и параллельно плоскости проекций, на которой выполняют разрез. Изображение разреза получают увеличенным в проекционной связи по отношению к виду сверху. Это происходит из-за совмещения наклонной секущей плоскости с другими плоскостями разреза в одну плоскость.

Границы между секущими плоскостями на сложных разрезах не указывают, а данный разрез оформляют так же, как простой разрез, выполненный не по оси симметрии. Если совме-

щенные секущие плоскости на сложных разрезах располагаются параллельно какой-либо основной плоскости проекций, то можно вид заменить разрезом, как показано на рис. 353—356, если это не затрудняет чтение чертежа.

## § 51. СЕЧЕНИЯ

Сечение так же, как и разрез, представляет собой изображение, получившееся при мысленном рассечении предмета одной или несколькими плоскостями. Если на разрезе изображается то, что лежит в секущей плоскости, и то, что расположено за ней (рис. 357, а), то на сечении изображают только то, что расположено в секущей плоскости (рис. 357, б). При выполнении сечения секущую плоскость располагают перпендикулярно к одной из основных плоскостей проекций. Разрез выполняют в том случае, если за секущей плоскостью располагается невыявленная форма детали. В других случаях выполняют сечение (рис. 357, б). На рис. 357 разрез показан для сравнения. Сечения оформляют так же, как и разрезы. В зависимости от расположения сечения на чертеже они могут быть наложенными и вынесенными (предпочтительны вынесенные сечения).

Наложённое сечение располагают непосредственно на изображении детали. Контур такого сечения обводят сплошной тонкой линией. Контур детали в месте, где расположено наложенное сечение, не прерывают. Наложённое сечение выполняют в том случае, если деталь имеет простую внешнюю форму и сечение не мешает чтению чертежа, а также при отсутствии свободного места на поле чертежа. Наложённое сечение может иметь как симметричную, так и несимметричную форму. Если форма сечения симметричная, то след секущей плоскости не проводят и сечение не сопровождают надписью (рис. 358, а). Если форма сечения несимметричная, то проводят след секущей плоскости со стрелками, показывающими на-

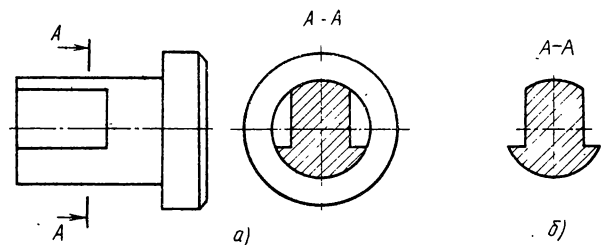


Рис. 357

правление взгляда, но буквенное обозначение у стрелок и надпись над сечением не выполняют (рис. 358, б).

Вынесенное сечение располагают вне контуров изображения детали. Контур такого сечения обводят сплошной основной линией. Форма сечения может быть как симметричной, так и несимметричной.

Вынесенное сечение располагают следующим образом.

1. На продолжении следа секущей плоскости. Если фигура сечения симметричная и ось симметрии совпадает со следом секущей плоскости, то след секущей плоскости разомкнутыми штрихами со стрелками и буквами не обозначают. На месте условного сечения проводят штрихпунктирную линию (рис. 359, а). Если фигура сечения несимметричная, то след секущей плоскости изображают разомкнутыми штрихами со стрелками и обозначают буквами, над сечением делают соответствующую надпись (рис. 359, б).

2. В проекционной связи на месте одного из видов. Такое сечение всегда сопровождают надписью, а след секущей плоскости изображают разомкнутыми штрихами со стрелками, обозначенными буквами (рис. 360, сечение А—А).

3. На свободном месте чертежа. Такое сечение всегда обозначают и показывают след секущей плоскости (рис. 360, сечение Б—Б).

4. В разрыве между частями одного и того же изображения. Если форма сечения симметричная, след секущей плоскости не показывают и сечение не обозначают (рис. 361, а). Если форма сечения несимметричная, то показывают след секущей плоскости, но буквами не обозначают (рис. 361, б).

Если секущая плоскость проходит через ось отверстия или углубления, ограниченных поверхностью вращения (цилиндрической, конической или сферической), то показывают полностью контур отверстия или углубления (см. рис. 360, сечение А—А). Если секущая плоскость проходит через отверстие или углубление, имеющее призматическую или пирамидальную форму, то края отверстия не замыкают (см. рис. 360, сечение Б—Б).

Если секущая плоскость проходит через отверстие, края которого на сечении не соединяются (призматическое или пирамидальное) и при этом сечение получается состоящим из отдельных частей, то следует выполнять разрез, а не сечение. На рис. 362 показан такой случай. На рис. 362, а А—А является разрезом, а на рис. 362, б А—А — сечение.

На рис. 363 сечение А—А выполнено двумя секущими плоскостями. При выполнении такого сечения секущие плоскости мысленно сов-

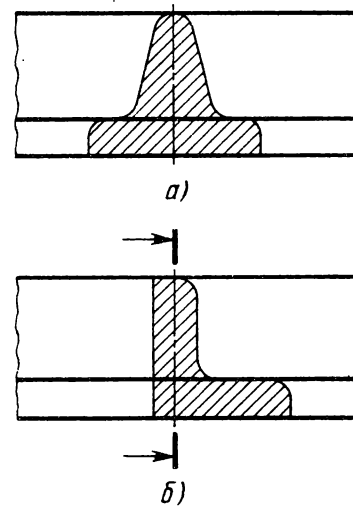


Рис. 358

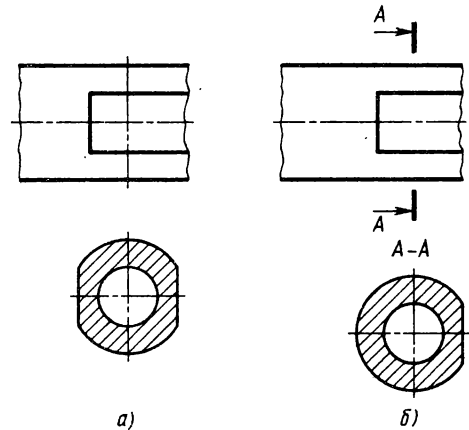


Рис. 359

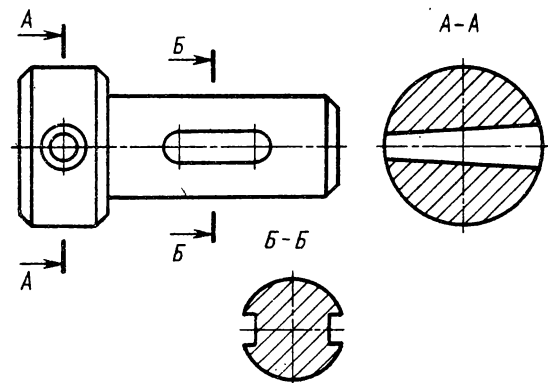


Рис. 360

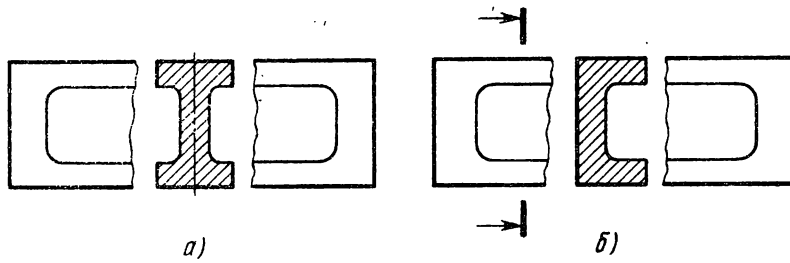


Рис. 361

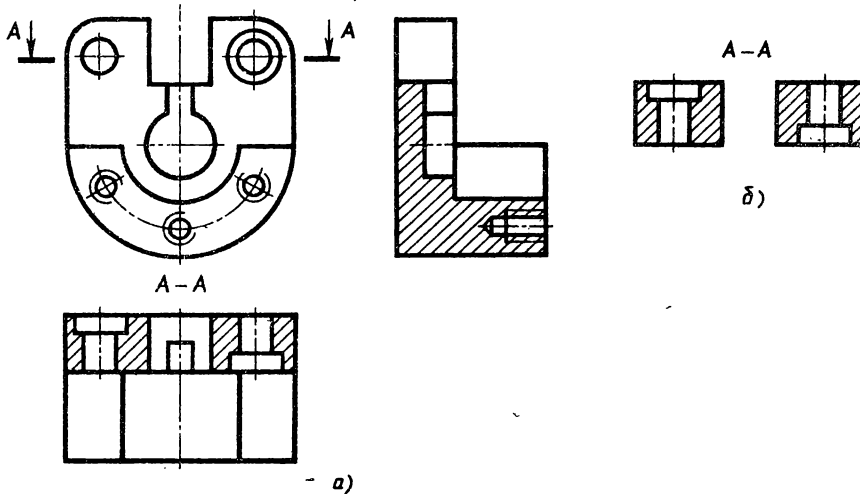


Рис. 362

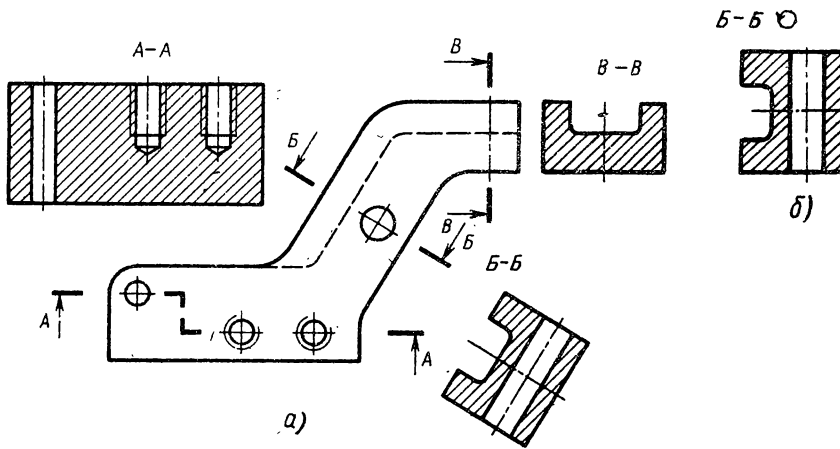


Рис. 363

мещают в одну плоскость, как это делается при построении ступенчатого разреза.

Если след секущей плоскости показывают разомкнутыми штрихами со стрелками, то сечение располагают на чертеже в соответствии с направлением стрелок (рис. 363). Наклонное сечение располагают наклонно относительно основной надписи и в соответствии с положением секущей плоскости (рис. 363, а, сечение *Б—Б*). Сечение, выполненное наклонной плос-

костью, допускается поворачивать. В этом случае после обозначения ставят знак  $\odot$  (рис. 363, б, сечение *Б—Б*).

Если на одном чертеже несколько видов, разрезов и сечений, то их обозначают буквами в алфавитном порядке в перечисленной выше последовательности (виды, разрезы, сечения).

На одном чертеже все разрезы и сечения одной детали заштриховывают в одном направлении с одинаковыми интервалами.

## § 52. ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ПРАВИЛА ИХ НАНЕСЕНИЯ НА ЧЕРТЕЖАХ

ГОСТ 2.306—68 (СТ СЭВ 860—78) устанавливает графические обозначения материалов в сечениях и на фасадах, а также правила нанесения их на чертежи всех отраслей промышленности и строительства. В зависимости от вида материалов их графическое обозначение в сечениях должно соответствовать обозначениям, приведенным в табл. 7. Допускается применять дополнительные обозначения материалов, не предусмотренных в стандарте, поясняя их на чертеже. ГОСТ устанавливает общее графическое обозначение материалов в сечениях независимо от вида материала (табл. 7, п. 1).

Параллельные линии штриховки должны проводиться наклонно под углом  $45^\circ$  к линиям рамки чертежа, или к оси изображения сечения, или к линиям контура сечения. Если направление линии штриховки совпадает с направлением линий контура изображения или его оси, то угол наклона штриховых линий берут  $30$  или  $60^\circ$ .

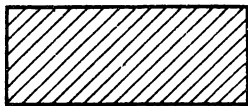
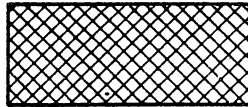


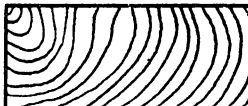
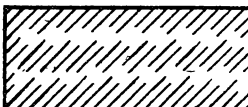

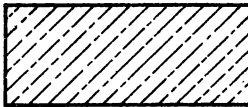
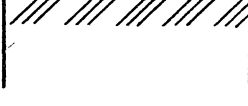

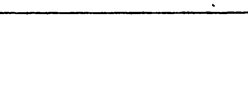
Независимо от количества листов, на которых изображена деталь, все сечения, выполненные на изображении этой детали, должны иметь одинаковую штриховку по направлению и одинаковое расстояние между параллельными линиями штриховки. Расстояние между линиями штриховки должно быть от  $1$  до  $10$  мм. На учебных чертежах, с учетом их размеров и сложности, рекомендуется расстояние между линиями штриховки брать от  $1,5$  до  $2$  мм. Расстояние зависит от площади штриховки и необходимости разнообразить штриховку смежных сечений.

Узкие и длинные формы сечений, ширина которых от  $2$  до  $4$  мм, штрихуют полностью только на концах и у контуров отверстий, а остальную площадь штрихуют в нескольких местах небольшими участками (рис. 364). На узких сечениях деталей, изготовленных из стекла, штриховку следует наносить с наклоном  $15 \dots 20^\circ$  к линии большей стороны контура сечения (рис. 365). Штриховку на узких и длинных площадях сечений выполняют от руки.

Узкие площади сечений, ширина которых на чертеже менее  $2$  мм, допускается не штриховать, а зачернять (рис. 366). При этом оставляют условный зазор между смежными сечениями не менее  $0,8$  мм.

На сечениях двух смежных деталей следует делать разный наклон штриховки (влево или вправо). Если же в смежных сечениях направление штриховок совпадает, то на одном се-

## 7. Условные графические обозначения материалов

Графическое обозначение	Материал
	1. Металлы и твердые сплавы
	2. Пластмассы, резина и другие неметаллические материалы
	3. Стекло и другие светопрозрачные материалы
	4. Жидкости
	5. Дерево
	6. Камень естественный
	7. Керамика и силикатные материалы для кладки
	8. Бетон
	9. Грунт естественный
	10. Засыпка из любого материала
	11. Обозначение сетки из любого материала

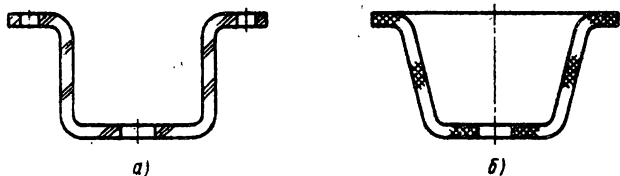


Рис. 364

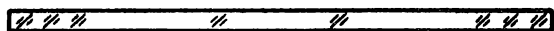


Рис. 365



Рис. 366

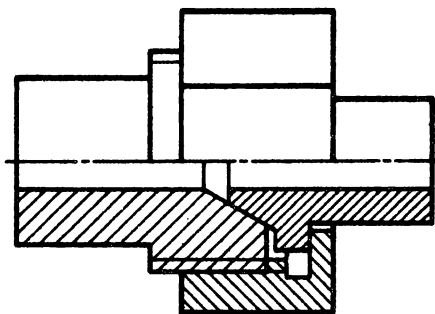


Рис. 367

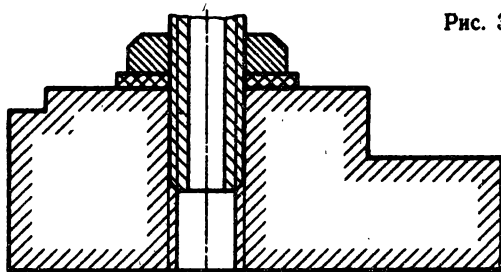
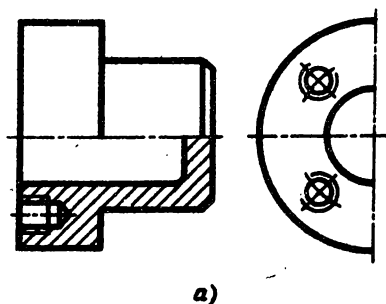
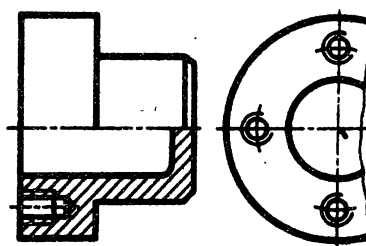


Рис. 368



а)



б)

Рис. 369

чении изменяют расстояния между линиями штриховки (рис. 367) или сдвигают линии штриховки одного сечения относительно другого.

Если смежные сечения деталей штрихуют «в клетку», то в каждом сечении должно быть разное расстояние между линиями штриховки.

На больших площадях сечений допускается штриховку наносить только по контуру сечения узкой полосой одной ширины (рис. 368).

## § 53. УСЛОВНОСТИ И УПРОЩЕНИЯ

Для сокращения объема графических работ и наглядности чертежей в машиностроительном черчении применяют условности и упрощения, которые устанавливает ГОСТ 2.305—68.

Если вид, разрез или сечение имеют симметричную форму, можно вычерчивать половину изображения до оси симметрии (рис. 369, а) или больше половины с линией обрыва (рис. 369, б). Если изображаемый предмет имеет несколько одинаковых равномерно расположенных элементов (отверстий, пазов, зубьев и т. п.), то разрешается показывать не все элементы, а один-два. Остальные элементы показывают условно или упрощенно. На рис. 370 из восьми отверстий изображено только одно. На месте расположения центров остальных отверстий проведены центровые линии.

Допускается изображать часть детали, сопровождая такой чертеж надписью, указывающей число одинаковых равномерно расположенных элементов. На рис. 371 изображена часть главного вида и часть вида слева махового колеса, где на виде слева показана одна из пяти вертикально расположенная спица махового колеса. На месте расположения других спиц проводят штрихпунктирные осевые линии спиц.

Чтобы упростить чертеж, допускается вместо полного изображения детали давать только контур отверстия (рис. 372) или паза (рис. 373).

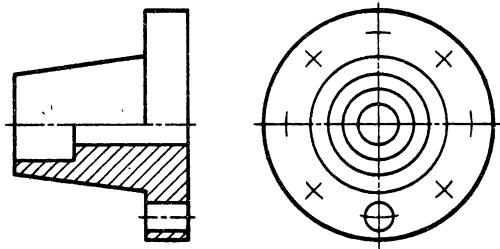


Рис. 370

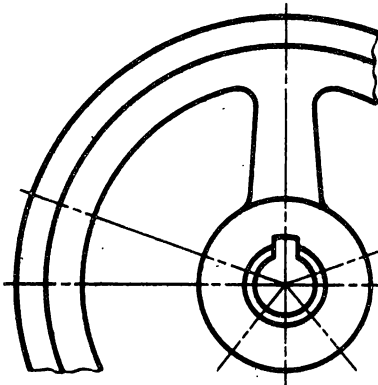
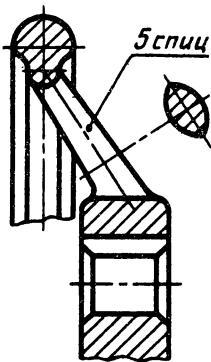


Рис. 371

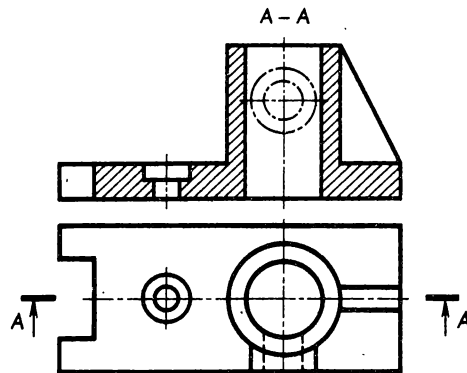


Рис. 374

Если при выполнении разреза теряется элемент, форму которого нужно показать, то разрешается на разрезе нанести его изображение утолщенной штрихпунктирной линией (рис. 374).

Допускается изображать на разрезе отверстия, не попадающие в плоскость разреза, если они находятся на цилиндрической части детали типа фланца (рис. 375), помещая их на вертикальную ось симметрии в плоскости разреза.

Длинные предметы (валы, шатуны, фасонный прокат и т. п.), имеющие постоянное поперечное сечение или закономерно изменяющееся, допускается изображать с разрывами (рис. 376).

Если на чертеже необходимо выделить плоские поверхности детали, то на них проводят диагонали сплошными тонкими линиями (рис. 376).

На чертежах общего вида и на сборочных чертежах показывают неразрезанными и, следовательно, незаштрихованными попавшие в продольный разрез такие детали, как винты, болты, шпильки, шпонки, стандартные гайки и шайбы, заклепки, сплошные валы и оси, рукоятки и т. п. Не заштриховывают также

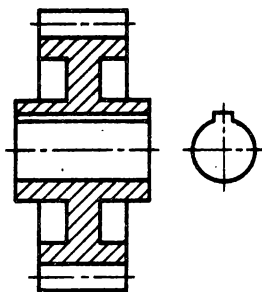


Рис. 372

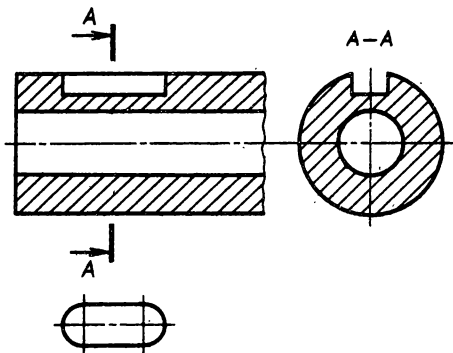


Рис. 373

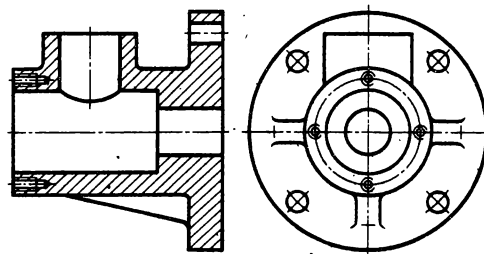


Рис. 375

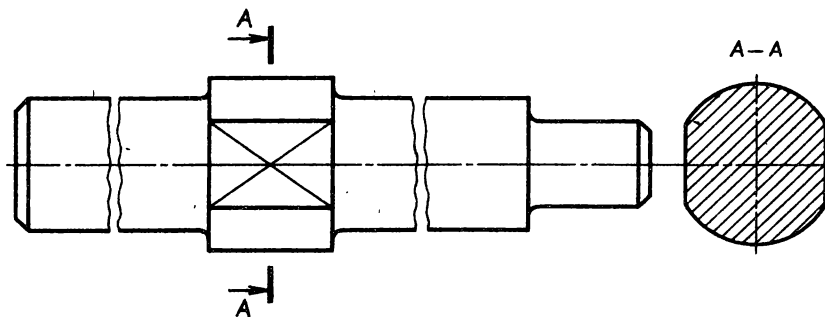


Рис. 376

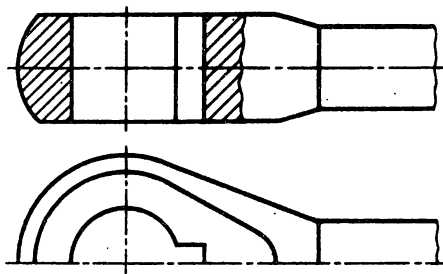


Рис. 377

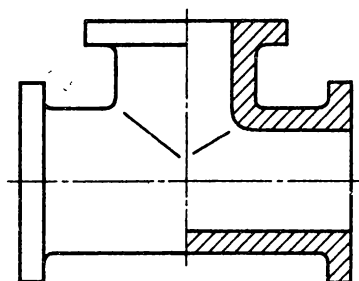


Рис. 378

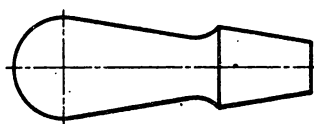


Рис. 379

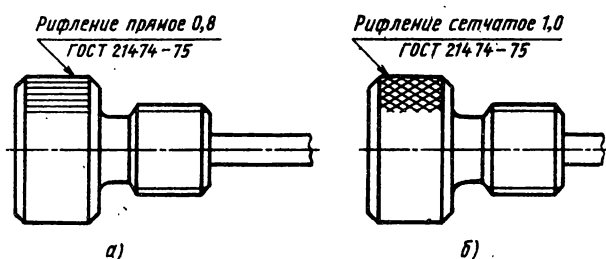


Рис. 380

попавшие в продольный разрез такие элементы деталей, как спицы маховиков, зубчатых колес, ребра жесткости и тонкие перегородки (см. рис. 371, 375).

Если на чертеже не требуется показывать точно линию взаимного пересечения поверхностей вращения, то ее изображают упрощенно, заменив лекальную кривую линию окружностью или прямой линией. На рис. 375 кривая, по которой пересеклись два цилиндра, заменена окружностью. На рис. 377 гипербола заменена прямой линией.

Допускается также изображать упрощенно края отверстия или углубления (см. рис. 373).

Плавные переходы от одной поверхности к другой условно изображают тонкой линией (рис. 378) или совсем не показывают (рис. 379).

На чертежах рифления, орнаменты, плетения допускается изображать частично с возможным упрощением (рис. 380).

На цилиндрических деталях типа головки, рукоятки, крышки, круглые гайки, завинчиваемые вручную, делают р и ф л е н и е, что не дает руке скользить по поверхности детали во время ее вращения. Рифление представляет собой выступы и впадины. Расстояние между смежными выступами называется шагом. Стандартизованы два вида рифления: прямое, которое наносится параллельно образующим поверхности, и сетчатое, которое наносится в виде сетки с наклоном  $30^\circ$  к образующим поверхности. Величина шага зависит от диаметра заготовки, ширины полосы рифления и материала, из которого выполняется деталь. На чертеже шаг рифления выполняют на глаз. Размеры рифления устанавливает ГОСТ 21474—75. На рабочих чертежах проставляют диаметр заготовки (деталь до рифления) и указывают надписью вид рифления, его шаг и номер стандарта. На рис. 380 показан пример условного изображения и обозначения рифления. Если на детали выполняют нестандартное рифление, то на чертеже показывают все его размеры.



## § 55. ВИНТОВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

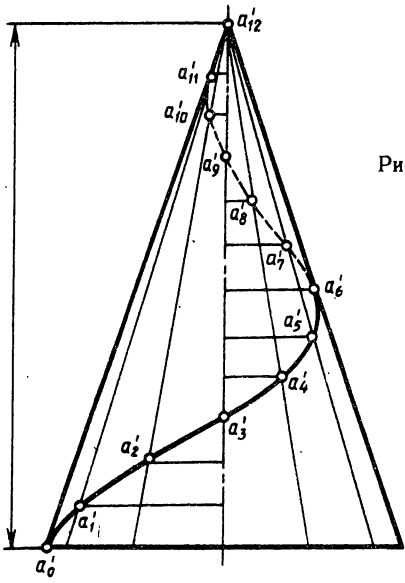
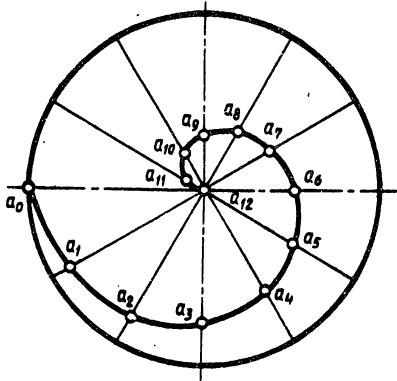


Рис. 382



линией и обводят по лекалу. Фронтальная проекция винтовой линии представляет собой синусоиду, а горизонтальная — окружность.

Коническая винтовая линия образуется при равномерном движении точки вдоль образующей прямого кругового конуса, которая равномерно вращается вокруг оси. Строится она так же, как цилиндрическая винтовая линия. Окружность основания прямого кругового конуса и заданный шаг делят на равное количество частей и находят положения точки при движении по вращающейся образующей. Полученные точки соединяют плавной кривой линией и обводят по лекалу. Фронтальная проекция винтовой линии представляет собой синусоиду с затухающей волной, а горизонтальная — спираль Архимеда (рис. 382). Коническая винтовая линия может быть также правой и левой.

Винтовой поверхностью называют поверхность, которую описывает какая-либо образующая, перемещающаяся по винтовой линии. Такие поверхности могут быть образованы отрезком прямой линии, окружностью или ее дугой, а также любой другой линией.

Рассмотрим винтовые поверхности, образованные отрезками прямой линии. Такие поверхности называют линейчатыми. Если образующая (отрезок прямой линии) расположена перпендикулярно к оси, то такая поверхность будет называться прямой линейчатой поверхностью. Если образующая наклонена к оси, то поверхность называется наклонной линейчатой поверхностью.

На рис. 383, а показано образование и построение прямой линейчатой винтовой поверхности, на рис. 383, б — наклонной линейчатой винтовой поверхности. На горизонтальную плоскость проекций винтовая поверхность проецируется в круг.

Строят винтовую поверхность аналогично построению цилиндрической винтовой линии. Шаг и окружность делят на равное количество частей. Фиксируют положение образующей через равные промежутки движения. Один конец образующей скользит по оси снизу вверх. Второй конец образующей (отрезка) вращается вокруг оси по винтовой линии, образуя наружный край винтовой поверхности,

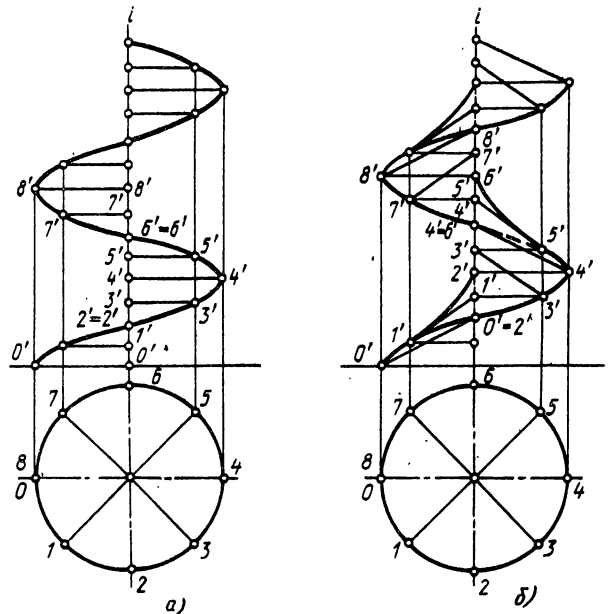


Рис. 383

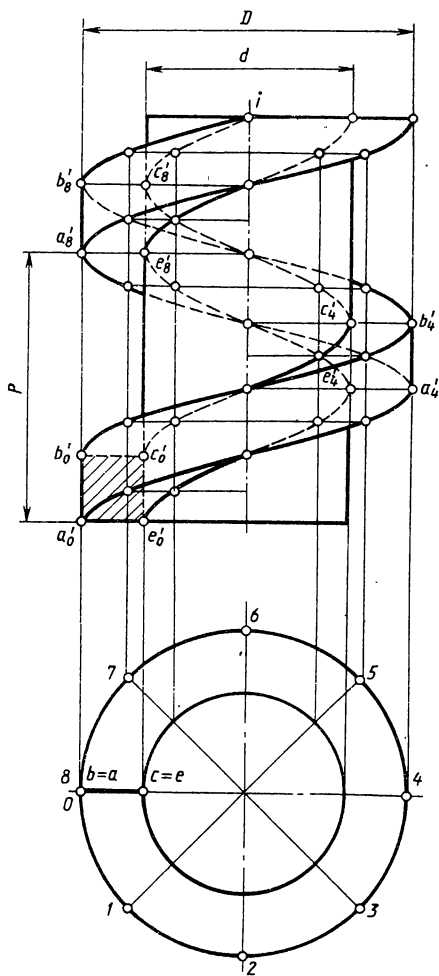


Рис. 384

зует отрезок  $AB$ . Построение витка начинают с построения винтовых линий, описываемых точками  $A$  и  $B$  по наружному диаметру и точками  $C$  и  $E$  по внутреннему диаметру. Когда производящий профиль (прямоугольник  $ABCE$ ) совершит один полный оборот вокруг оси, он опишет винтовую поверхность — виток и поднимется на расстояние, равное шагу  $P$ . Последующие витки образуются аналогично первому.

На рис. 385 показано построение витка винтового выступа резьбы, который образуется производящим треугольником  $ABC$ . Треугольник  $ABC$  стороной  $AC$  примыкает к образующей цилиндра диаметра  $d$ . Стороны треугольника ( $AB$  и  $BC$ ) наклонены к оси под углом  $60^\circ$  и при движении образуют наклонные линейчатые винтовые поверхности, которые ограничивают виток резьбы. Для построения витка сначала строят винтовые линии, которые описывают точки  $A$ ,  $B$  и  $C$  при вращательно-поступательном движении треугольника  $ABC$ . Точки  $A$  и  $C$  описывают винтовые линии по внутреннему диаметру  $d$ , а точка  $B$  — по наружному диаметру  $D$ .

а сам отрезок (образующая) образует винтовую поверхность, которая может быть как правой, так и левой, в зависимости от заданного направления движения.

Винтовые поверхности часто применяются в технике. Например, прямые и наклонные линейчатые поверхности применяются при конструировании ходовых винтов станков, домкратов, ручных прессов, в различных резьбовых изделиях.

Рассмотрим применение винтовых поверхностей в резьбовых изделиях. На рис. 384 показано построение витка резьбы прямоугольного профиля. Прямоугольник  $ABCE$  стороной  $CE$  касается образующей цилиндра диаметром  $d$  и, совершая одновременно вращательное и поступательное движение относительно оси цилиндра, описывает винтовой выступ, ограниченный двумя винтовыми поверхностями, которые образуют отрезки  $AE$  и  $BC$ , и цилиндрической поверхностью, которую обра-

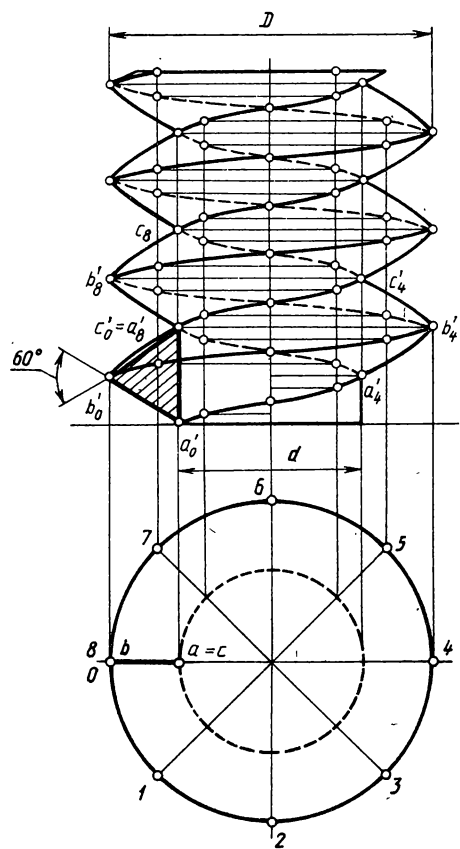


Рис. 385

## РЕЗЬБА И РЕЗЬБОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ

## § 56. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЗЬБЕ

Резьба применяется в технике для разъемного соединения деталей. Резьбы, применяемые для неподвижных соединений, называют крепежными резьбами. В зависимости от применения к ним предъявляют требования на прочность или герметичность. Крепежные резьбы имеют обычно треугольный профиль резьбы. Резьбы, применяемые в подвижных соединениях, называются кинематическими (ходовыми). В подвижных соединениях одна деталь перемещается относительно другой детали. К такой резьбе предъявляются требования на прочность, точность перемещения, снижение трения. Кинематические резьбы имеют преимущественно трапецеидальный или прямоугольный профиль.

Резьбы классифицируют: 1) по характеру поверхности — цилиндрические или конические; 2) по расположению — наружные или внутренние; 3) по профилю — треугольные, упорные, прямоугольные, трапецеидальные и круглые; 4) по направлению винтовой линии — правые и левые; 5) по числу заходов — однозаходные и многозаходные; 6) по назначению — крепежные, кинематические и специальные.

Резьба — это винтовая нарезка, имеющая определенный профиль, диаметр и шаг. Она нарезается на деталях, имеющих цилиндрическую или коническую поверхность. Поверхность резьбы образуется плоским контуром фигуры, лежащей в одной плоскости с осью резьбы, и перемещающимся по винтовой линии цилиндрической или конической поверхности. Ось резьбы называют ось цилиндрической или конической поверхности, на которой образуется резьба. Термины, определения и основные параметры резьбы устанавливает ГОСТ 11708—82 (СТ СЭВ 2631—80).

Резьбу можно нарезать на стержне, такая резьба называется наружной резьбой; или в отверстии, такая резьба называется внутренней резьбой. Нарезание резьбы на стержне осуществляется специальными режущими инструментами, например, резцом или плашкой, а в отверстии — резцом или метчиком. Если резьба выполняется с помощью режущих инструментов, то этот процесс называется нарезкой резьбы. Если резьба

выполняется нажимным инструментом, то такой процесс называется накаткой резьбы.

Резьба, выполненная на цилиндрической поверхности, называется цилиндрической резьбой. Резьба, выполненная на конической поверхности, называется конической резьбой.

Нарезание резьбы на стержне выполняется следующим образом. Цилиндрической заготовке придают равномерно-вращательное движение. Резец подводят к поверхности заготовки и, углубив его в заготовку, придают ему равномерное поступательное движение вдоль оси вращающегося цилиндра. В результате на поверхности цилиндрической заготовки образуется канавка, идущая по винтовой линии. Резьба состоит из выступов, которые называются витками резьбы, и канавок (рис. 386).

Резьба нарезается обычно за несколько проходов резца, который при каждом последующем проходе увеличивает ширину и глубину канавки. Последний проход резца дает полный профиль заданной резьбы. Профиль резьбы зависит от формы заточки резца. Если витки резьбы поднимаются слева направо, то резьба правая, а если справа налево, то резьба левая.

Профиль резьбы представляет собой контур сечения (полную фигуру) витка резьбы, полученный секущей плоскостью, проходящей через ось резьбы.

Углом профиля называют угол между его боковыми сторонами. Профиль канавки и витки резьбы будут такими же, как профиль заточки резца. Название резьбы: треугольная, трапецеидальная, прямоугольная, круглая — определяется ее профилем. Широко применяемые в технике резьбы стандартизованы. Стандарт на резьбу устанавливает ее диаметр, шаг, форму и размеры профиля. Если применяется нестандартная резьба (специальная), то на изображении такой резьбы проставляют все ее размеры.

Шаг резьбы  $P$  — это расстояние между соседними витками, измеренное параллельно оси резьбы (рис. 386) между ее одноименными элементами.

Ход резьбы  $P_h$  представляет собой величину осевого перемещения детали за один ее полный оборот вокруг оси (рис. 386). Он измеряется в той же плоскости, что и шаг резьбы.

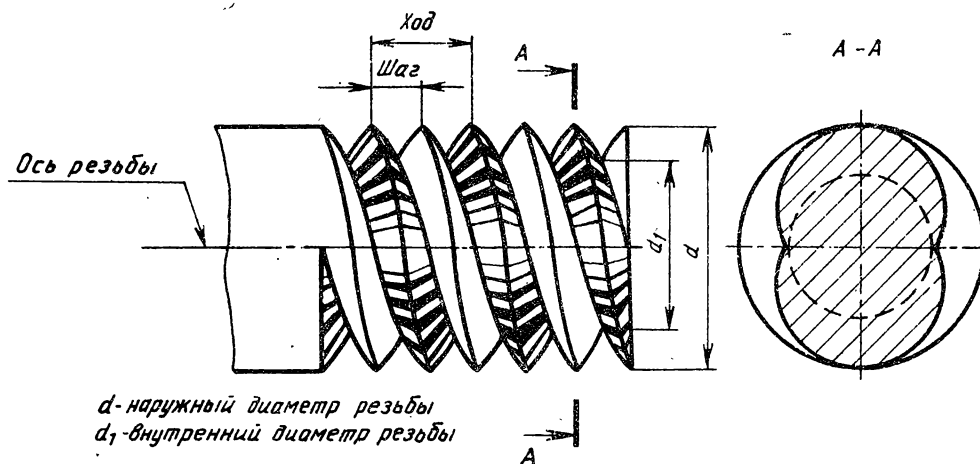


Рис. 386

В однозаходной резьбе ход равен шагу, а в многозаходной — произведению шага  $P$  и числа заходов  $n$ , т. е.  $P_h = nP$ .

Многозаходная резьба образуется несколькими одинаковыми производящими профилями в зависимости от заданного числа заходов. На рис. 386 показана двухзаходная резьба. Число заходов легко подсчитать на торцевой части, где отчетливо видны концы винтовых ниток в виде полукругов. Винтовой ниткой (витком резьбы) называют винтовой выступ, который образуется при врезании резца, перемещающегося равномерно вдоль оси вращающегося цилиндра за один его оборот. Многозаходную резьбу применяют там, где при малых углах поворота нужно получить большое перемещение.

## § 57. ПРОФИЛИ РЕЗЬБ И ИХ ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

По профилю резьбы делятся на треугольные, трапецидальные, упорные, прямоугольные и круглые.

### Треугольные резьбы

Резьбы с треугольным профилем применяются для крепления деталей и называются крепежными.

Метрическая резьба является основной крепежной резьбой. Она измеряется в миллиметрах. Теоретическим профилем метрической резьбы является равносторонний треугольник с основанием, равным шагу резьбы (рис. 387, а). Действительный профиль тре-

угольной резьбы имеет срезанные (притупленные) вершины. Форма среза может быть выполнена по прямой линии или по дуге окружности. При соединении двух деталей с такой резьбой получается зазор между срезанной вершиной профиля на одной детали и срезанной вершиной впадины на другой детали. Метрическая резьба может быть как цилиндрической, так и конической.

Цилиндрическая метрическая резьба с диаметрами от 1 до 600 мм получила наиболее широкое распространение. Профиль этой резьбы устанавливает ГОСТ 9150—81 (СТ СЭВ 180—75); шаги от 0,075 до 6 мм и диаметры от 0,25 до 600 мм устанавливает ГОСТ 8724—81 (СТ СЭВ 181—75). Стандарт делит все диаметры резьбы на три ряда. Предпочтительным является первый ряд, затем второй и третий.

Метрическая резьба может быть выполнена с крупным или мелким шагом. Отличие резьбы с мелким шагом от резьбы с крупным шагом состоит в том, что при одинаковом наружном диаметре величина шага резьбы меньше у резьбы с мелким шагом. Метрическая резьба с крупным шагом применяется для диаметров от 0,25 до 68 мм, а с мелким шагом для диаметров от 1 до 600 мм. Каждому наружному диаметру резьбы с крупным шагом соответствует определенный шаг, а у резьбы с мелким шагом одному и тому же наружному диаметру могут соответствовать различные шаги.

Резьба с крупным шагом применяется там, где требуется высокая прочность. Резьба с мелким шагом применяется там, где в процессе работы деталь испытывает вибрацию или различный рода сотрясения, так как эта резьба

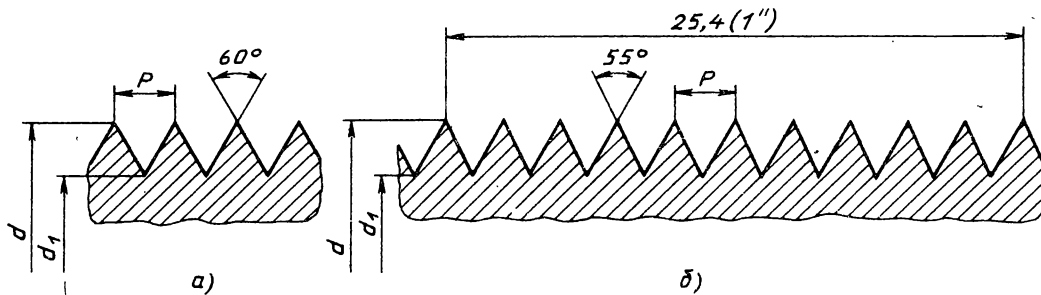


Рис. 387

является более стойкой к самоотвинчиванию. Резьба с мелким шагом более герметична. На тонкостенных деталях нарезают резьбу преимущественно с мелким шагом. Основные размеры на метрическую резьбу общего назначения с профилем по ГОСТ 9150—81 (СТ СЭВ 180—75), диаметрами и шагами по ГОСТ 8724—81 (СТ СЭВ 181—75) устанавливает ГОСТ 24705—81 (СТ СЭВ 182—75).

Резьба метрическая коническая нарезается или на коническом стержне, или в коническом отверстии, которые имеют стандартную конусность 1:16. Биссектриса угла производящего треугольника располагается перпендикулярно оси конуса. ГОСТ 25229—82 (СТ СЭВ 304—76) распространяется на метрическую коническую резьбу с конусностью 1:16 и диаметром от 6 до 60 мм, которая применяется для конических резьбовых соединений наружной конической резьбы с внутренней цилиндрической резьбой с номинальным профилем по ГОСТ 9150—81 (СТ СЭВ 180—75). Если соединяется внутренняя цилиндрическая резьба с наружной конической резьбой, то профиль резьбы в отверстии должен иметь плоскосрезанные вершины впадин.

Трубная резьба может быть нарезана на деталях цилиндрической и конической формы. Такая резьба применяется главным образом в соединениях трубопроводов. Профиль трубной резьбы представляет собой равнобедренный треугольник с углом при вершине  $55^\circ$  (рис. 387, б). Если не требуется большой герметичности соединения, то вершины имеют плоские срезы, а для большей герметичности их закругляют. При требованиях повышенной герметичности соединения применяют или коническую трубную резьбу, или сочетание цилиндрической внутренней резьбы с конической наружной резьбой, которую устанавливает ГОСТ 6211—81 (СТ СЭВ 1159—78). Цилиндрическую трубную резьбу с плоскими срезами выполняют в соответствии с ГОСТ 6357—81 (СТ СЭВ 1157—78). Трубная резьба измеряется в дюймах (один дюйм равен приблизительно 25,4 мм).

Эта резьба характеризуется не шагом, а числом ниток (витков) на один дюйм. На рис. 387, б на один дюйм, отмеренный вдоль оси, приходится 11 ниток (витков).

Резьба метрическая для деталей из пластмассы широко применяется в приборостроении и машиностроении. Она может быть получена на деталях из пластмассы путем пресования, литья под давлением, резанием. Профиль резьбы может быть любой, но чаще всего она выполняется с треугольным профилем (метрическая). Пластмассовые детали, имеющие резьбу, могут соединяться как с пластмассовыми, так и с металлическими деталями, также имеющими резьбу. ГОСТ 11709—81 (СТ СЭВ 1158—78) на эту резьбу устанавливает диаметры от 1 до 180 мм, основные размеры, профиль. Детали из пластмассы могут иметь резьбу как с крупным, так и с мелким шагом.

### Трапецидальная резьба

Трапецидальная резьба имеет в профиле равнобоковую трапецию с углом  $30^\circ$  между боковыми сторонами (рис. 388). Она относится к кинематическим резьбам и может быть как однозаходной, так и многозаходной, левой и правой. Ее диаметры могут изменяться в пределах от 8 до 640 мм. Для каждого диаметра имеется три различных шага. ГОСТ 9484—81

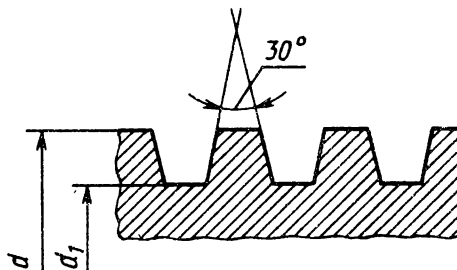


Рис. 388

(СТ СЭВ 146—78) устанавливает ее профиль. Основные размеры однозаходной трапецеидальной резьбы устанавливает ГОСТ 24737—81 (СТ СЭВ 838—78), а диаметры и шаги — ГОСТ 24738—81 (СТ СЭВ 639—77). Основные размеры на многозаходную трапецеидальную резьбу устанавливает ГОСТ 24739—81 (СТ СЭВ 185—79). Применяется эта резьба на ходовых винтах различных станков, в штурвальных винтах и т. п.

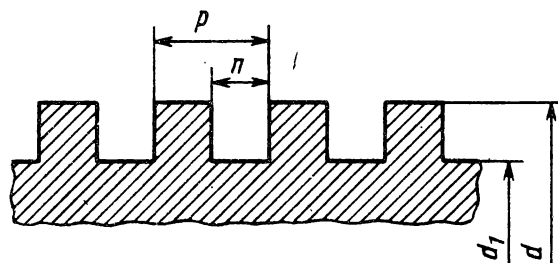


Рис. 390

### Упорная резьба

Упорная резьба имеет в профиле неравностороннюю трапецию, у которой одна сторона имеет наклон  $3^\circ$ , а вторая —  $30^\circ$  относительно линии, перпендикулярной оси резьбы (рис. 389). Выступающие вершины профиля имеют плоские срезы, а у впадин — скругления. Эта резьба относится к кинематическим резьбам и применяется в тех случаях, когда при поступательном движении винта действует большая нагрузка в одном направлении, например, в домкратах большой грузоподъемности, на грузовых крюках подъемных машин, в прокатных станах, винтовых прессах и т. п. Для каждого диаметра упорной резьбы предусматриваются три различных шага, равные по величине соответствующим шагам трапецеидальной резьбы. Профиль и основные размеры устанавливает ГОСТ 10177—82 (СТ СЭВ 1781—79).

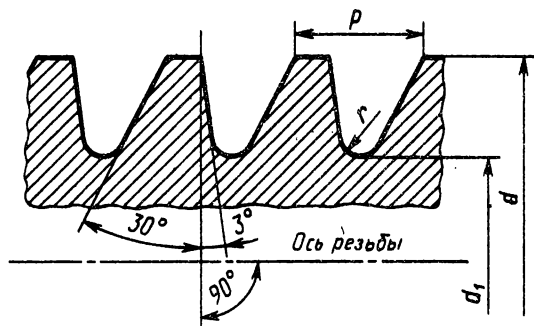


Рис. 389

### Прямоугольная резьба

Эта резьба относится к нестандартным кинематическим резьбам (рис. 390). Она может быть однозаходной и многозаходной, левой и правой. Применяется такая резьба на ходовых винтах ручных прессов, винтовых ступлях и т. п. Эта резьба выполняется с прямоугольным и квадратным профилем.

### Круглая резьба

Эта резьба (рис. 391) применяется в машиностроении там, где имеются большие динамические нагрузки или высокая загрязненность (пыль, песок), например, в пожарной арматуре, на крюках грузоподъемных машин и т. п. Применяется круглая резьба и для предохранительных стекол и корпусов электроосветительной арматуры, в тонкостенных деталях, например в цоколях и патронах электрических ламп.

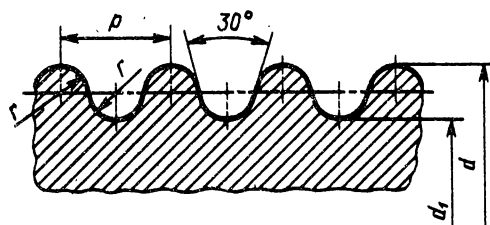


Рис. 391

## § 58. ИЗОБРАЖЕНИЕ И ОБОЗНАЧЕНИЕ РЕЗЬБЫ

Для всех отраслей промышленности и строительства ГОСТ 2.311—68 (СТ СЭВ 284—76) устанавливает правила изображения и нанесения обозначения резьбы на чертежах.

### Изображение резьбы на чертежах

Резьба на чертежах изображается условно, независимо от формы ее профиля. Наружным диаметром ( $d$ ) резьбы считают диаметр, проведенный по вершинам выступов на стержне, и диаметр, проведенный по вершинам впадин в отверстиях, т. е. наибольший диаметр резьбы. Внутренним диаметром ( $d_1$ ) резьбы считают

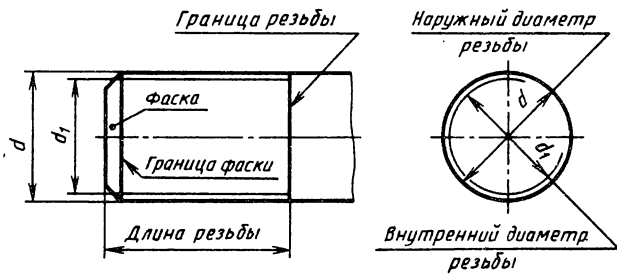


Рис. 392

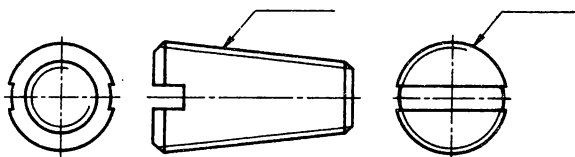


Рис. 393

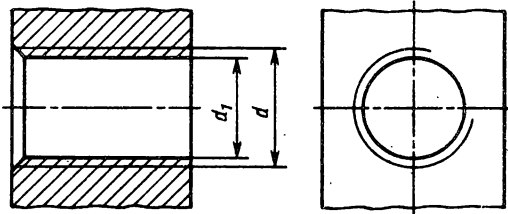


Рис. 394

На изображениях, построенных на плоскости, параллельной оси стержня, сплошную тонкую линию проводят по внутреннему диаметру резьбы на всю длину резьбы без сбега. На изображениях, построенных на плоскостях, перпендикулярных к оси стержня, по внутреннему диаметру резьбы проводят тонкой сплошной линией дугу, приблизительно равную  $\frac{3}{4}$  окружности, разомкнутую в любом месте. Концы этой дуги не должны находиться на центральных линиях. Один конец дуги заводят на некоторое расстояние за центровую линию, а другой конец не доводят до второй центральной линии приблизительно на такое же расстояние. На этих изображениях окружности фаски не проводят. На рис. 392 изображена резьба на цилиндрическом стержне, а на рис. 393 — на коническом.

Границу резьбы на изображении стержня проводят сплошной основной линией до наружного диаметра резьбы (рис. 392) в конце полного профиля резьбы (до начала сбега). Тонкая линия резьбы на стержне должна пересекать линию фаски. В отверстии резьба изображается по внутреннему диаметру  $d_1$  (наименьшему) сплошной основной линией, а по наружному диаметру  $d$  (наибольшему) — сплошной тонкой линией (рис. 394, 395). Если резьба нарезана в сквозном отверстии детали не до конца (рис. 396, а) или нарезана в глухом отверстии (рис. 396, б), то границу резьбы проводят сплошной основной линией до наибольшего диаметра резьбы в конце полного профиля резьбы (до начала сбега).

На чертежах, по которым резьбу не выполняют, границу резьбы можно изображать, как показано на рис. 396, в. Штриховку в разрезах и сечениях проводят на стержне и в отверстии до сплошной основной линии.

Если резьба изображается как невидимая, то ее показывают штриховыми линиями одной толщины по наружному и внутреннему диаметру. Границу резьбы также изображают штриховой линией (рис. 397).

При соединении двух деталей на резьбе их наружные и внутренние диаметры совпадают,

диаметр, проведенный по вершинам впадин на стержне, и диаметр, проведенный по вершинам выступов в отверстии, т. е. наименьший диаметр резьбы.

На стержне резьбу изображают сплошной основной линией по наружному диаметру ( $d$ ) и сплошными тонкими линиями по внутреннему диаметру ( $d_1$ ), который наносят на расстоянии не менее 0,8 мм от основных линий и не более величины шага резьбы.

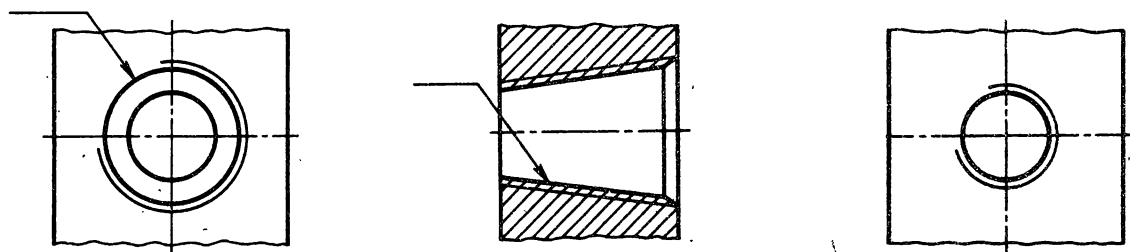


Рис. 395

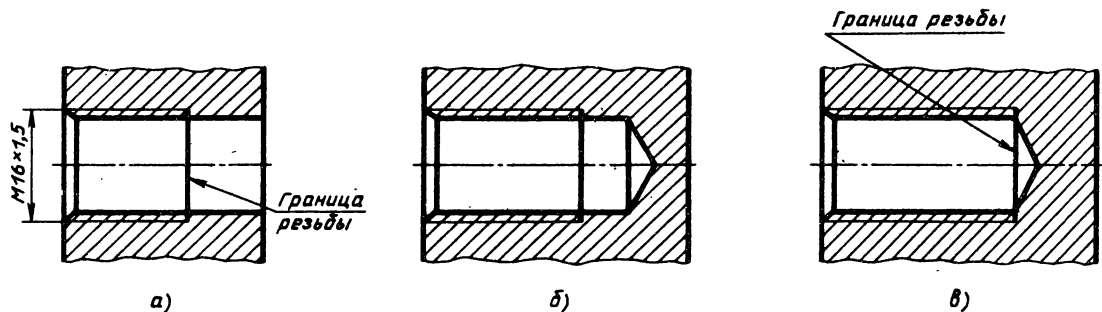


Рис. 396

так как имеют одинаковые номинальные размеры. Изображение резьбового соединения показано на рис. 398. В том месте, где диаметры совпадают, изображение резьбы выполняют по стержню, так как в разрезе стержень расположен ближе к наблюдателю и закрывает отверстие.

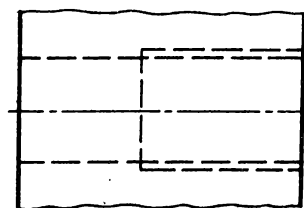


Рис. 397

### Обозначение резьбы

Обозначение резьбы на чертежах представляет собой условное буквенное обозначение для каждого ее типа. Метрическая резьба обозначается буквой *M*, трапецеидальная — *Tr*, упорная — *S*, трубная цилиндрическая — *G*, трубная коническая — *R*, коническая метрическая — *MK*. В обозначение резьбы входят обозначение геометрических параметров и обозначение полей допусков, которое состоит из цифры, обозначающей степень точности, и буквы (строчной для стержня и прописной для отверстия), обозначающей основное отклонение (например, 6h; 6g; 6H; 6G). В учебных чертежах обозначение полей допусков не представляют.

Обозначение метрической цилиндрической резьбы с крупным шагом состоит из буквы *M* и размера номинального диаметра (знак диаметра не представляют) (рис. 399). Резьба с мелким шагом обозначается буквой *M*, размером диаметра и размером шага (см. рис. 396, а). На стержне обозначение резьбы проставляют по сплошной основной линии, а в отверстии — по сплошной тонкой линии, т. е. и в том, и в другом случае — по наибольшему диаметру (рис. 396, а; 399, а). В случае необходимости нанесения размера на изображении, выполненном в плоскости, перпендикулярной оси стержня или отверстия, обозначение резьбы наносят, как показано на рис. 399, б и 400, б. Правая резьба дополнительных обозначений не имеет, а у левой резьбы после условного обозначения пи-

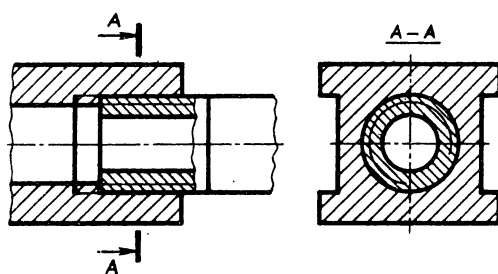


Рис. 398

шут буквы *LH* (рис. 400). Многозаходные резьбы в обозначении имеют числовое значение хода и в скобках букву *P* с числовым значением шага, например,  $M24 \times 4,5 (P1,5)$ , где *M* означает метрическую резьбу, 24 — диаметр, 4,5 — величину хода, 1,5 — величину шага в

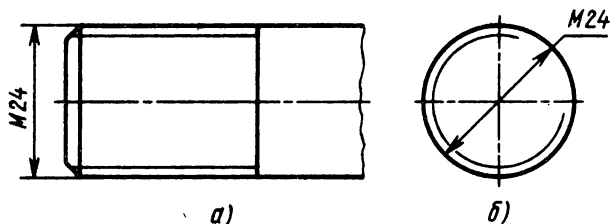


Рис. 399

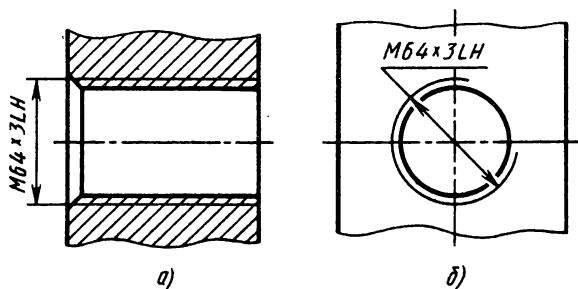


Рис. 400

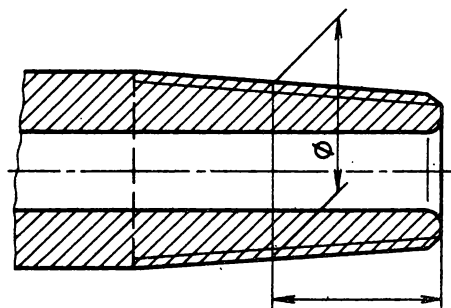


Рис. 401

миллиметрах. Для определения количества заходов следует величину хода разделить на величину шага (в данном случае резьба будет трехзаходная).

Обозначение метрической конической резьбы с крупным шагом состоит из букв *МК* и размера номинального диаметра, например, *МК6*. Для резьбы с мелким шагом указывают величину шага, например, *МК20×1,5*. Левую резьбу обозначают так: *МК20×1,5 LH*. Все диаметры конической резьбы измеряют в основной плоскости. При необходимости основную плоскость конической резьбы на стержне указывают тонкой сплошной линией, как показано на рис. 401. Обозначение конической резьбы наносят над полкой линии-выноски. Стрелки должны упираться в сплошную основную линию (см. рис. 393, 395).

Соединение внутренней метрической цилиндрической резьбы с наружной конической резьбой обозначают дробью *М/МК*, номинальным диаметром, шагом и номером стандарта на коническую резьбу, например, *М/МК20×1,5 ГОСТ 25229—82*; *М/МК20×1,5 LH ГОСТ 25229—82*. Обозначение метрической резьбы с крупным и мелким шагом для деталей из пластмассы выполняют по общим правилам, например, *М24* или *М24×1,5*.

Обозначение трапецеидальной резьбы состоит из букв *Tr*, номинального диаметра и шага, например, *Tr40×6*. В обозначение левой резьбы добавляют букву *LH*, например, *Tr40×6 LH*. Многозаходную трапецеидальную резьбу обозначают буквами *Tr*, номинальным диаметром резьбы, числовым значением хода и в скобках буквой *P* с числовым значением шага, например, *Tr80×40 (P10)*, где номинальный диаметр — 80, ход — 40, шаг — 10, число заходов равно четырем, так как  $40:10=4$ .

Обозначение упорной резьбы состоит из буквы *S*, номинального диаметра и

шага, например, *S80×10*. Для левой резьбы добавляются буквы *LH*, например, *S80×10 LH*. Многозаходная упорная резьба обозначается буквой *S*, номинальным диаметром, значением хода и в скобках буквой *P* и значением шага, например, *S80×20 (P10)* или *S80×20 (P10) LH*.

Обозначение прямоугольной резьбы на чертеже отличается от обозначения рассмотренных резьб, так как эта резьба нестандартная. Изображая такую резьбу, показывают ее профиль (обычно увеличенный) и наносят все размеры, необходимые для ее изготовления: наружный и внутренний диаметры, шаг резьбы, толщину зуба или ширину впадины. Направление резьбы и число заходов указывают над полкой линии-выноски, например, «Резьба трехзаходная», «Резьба левая», «Резьба двухзаходная левая» (рис. 402). Линия выноски заканчивается стрелкой, упирающейся острием в наружный контур резьбы.

Обозначение трубной цилиндрической резьбы состоит из буквы *G* и размера резьбы, например, *G1 1/2*. В обозначение левой резьбы добавляют буквы *LH*, например, *G1 1/2 LH*. В отличие от других видов резьб

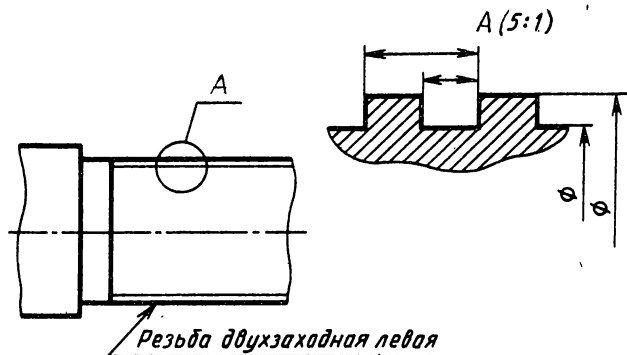


Рис. 402

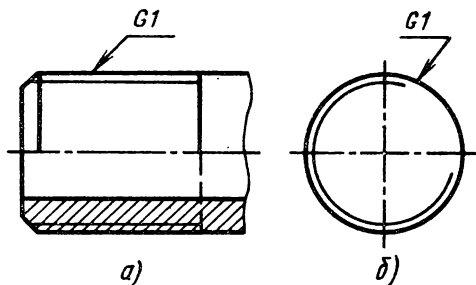


Рис. 403

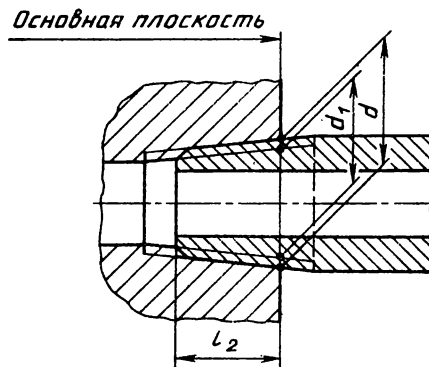


Рис. 405

номинальный размер трубной резьбы характеризуется не ее наружным диаметром, а числовым значением (в дюймах) условного диаметра отверстия трубы, на которой нарезана резьба. Например, если на трубной цилиндрической резьбе стоит обозначение  $G^{1/2}$ , то этот размер ( $1/2'' = 12,7$  мм) относится к диаметру отверстия трубы, а наружный диаметр, на котором нарезана резьба, равен 20,456 мм, т. е. диаметр отверстия трубы плюс две толщины ее стенок. Обозначение размера трубной резьбы приводится без обозначения единицы физической величины. Стрелка линии-выноски упирается в сплошную основную линию резьбы (рис. 403, 404). Обозначение резьбы в плоскости, перпендикулярной оси резьбы, проставляется только в случае необходимости.

Обозначение трубной конической резьбы состоит из буквы  $R$  (для наружной резьбы) или букв  $R_c$  (для внутренней резьбы) и величины размера резьбы, которая приводится без обозначения единицы физической величины, как у трубной цилиндрической резьбы. Обозначение резьбы наносят над полкой линии-выноски. Диаметр трубной конической резьбы и ее условный размер измеряют в основной плоскости, которую проводят услов-

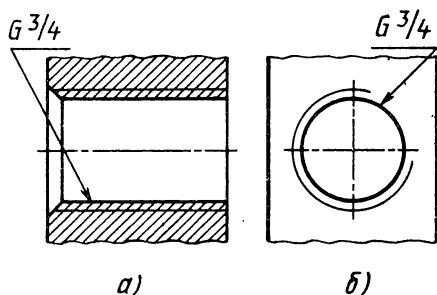


Рис. 404

но перпендикулярно оси трубы, и которая совпадает с торцом накрутой детали, имеющей внутреннюю резьбу (рис. 405).

## § 59. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗЬБЫ

К технологическим элементам резьбы относятся сбеги, недорезы, проточки и фаски. Форму и размеры этих элементов в зависимости от профиля резьбы устанавливают соответствующие ГОСТы.

Сбегом резьбы называют участок резьбы, на котором режущий инструмент, выходя из металла (или другого материала) на поверхность, нарезает резьбу с постепенным уменьшением высоты профиля. Резьбу на чертеже, как правило, изображают без сбега, но если его необходимо показать, то показывают сбеги тонкими сплошными прямыми линиями, как изображено на рис. 406. Размер длины резьбы на чертеже указывают до сбега, но при необходимости указывают длину резьбы со сбегом (рис. 406, б) или указывают длину резьбы до сбега и величину сбега ( $x$ ) (рис. 406, а).

В просверленном глухом отверстии от сверла образуется коническое углубление, которое на чертеже всегда вычерчивают с углом при вершине конуса, равным  $120^\circ$  (рис. 406, б). Размеры этого углубления на чертеже не проставляют. Глубину сверления отверстия ( $l$ ) проставляют без учета конуса. Определяющим размером для сбегов служит шаг резьбы  $P$ .

Недорезом резьбы называют участок, включающий в себя сбеги и оставшуюся ненарезанной часть стержня или отверстия (рис. 407). Недорез получается при нарезании резьбы в упор, когда на стержне выступающая поверхность, а в отверстии дно препятствуют дальнейшему проходу режущего инструмента (рис. 407, а и б). Размеры недорезов устанавли-

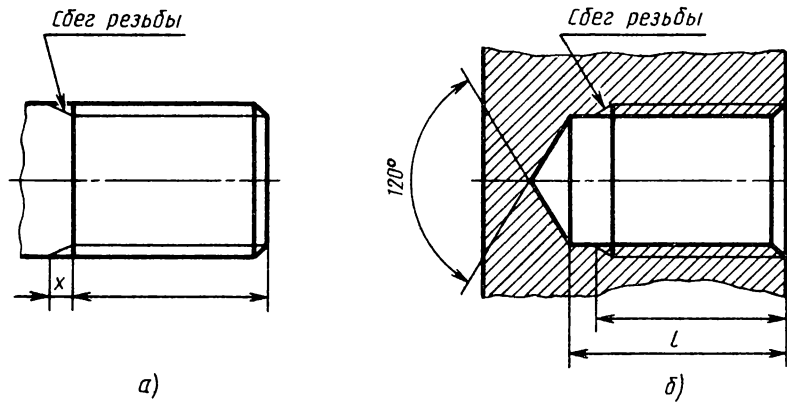


Рис. 406

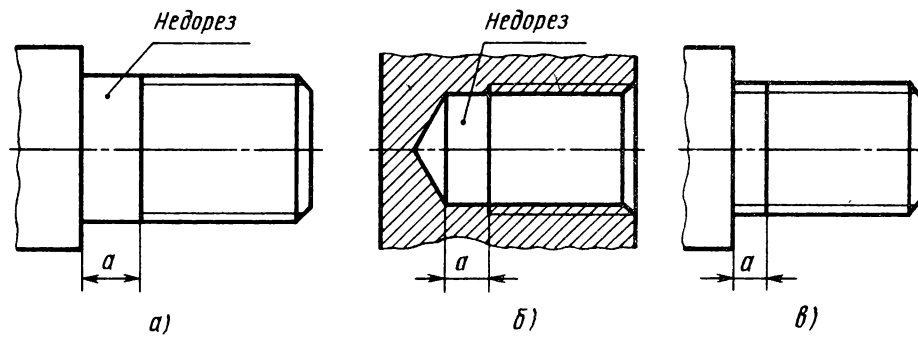


Рис. 407

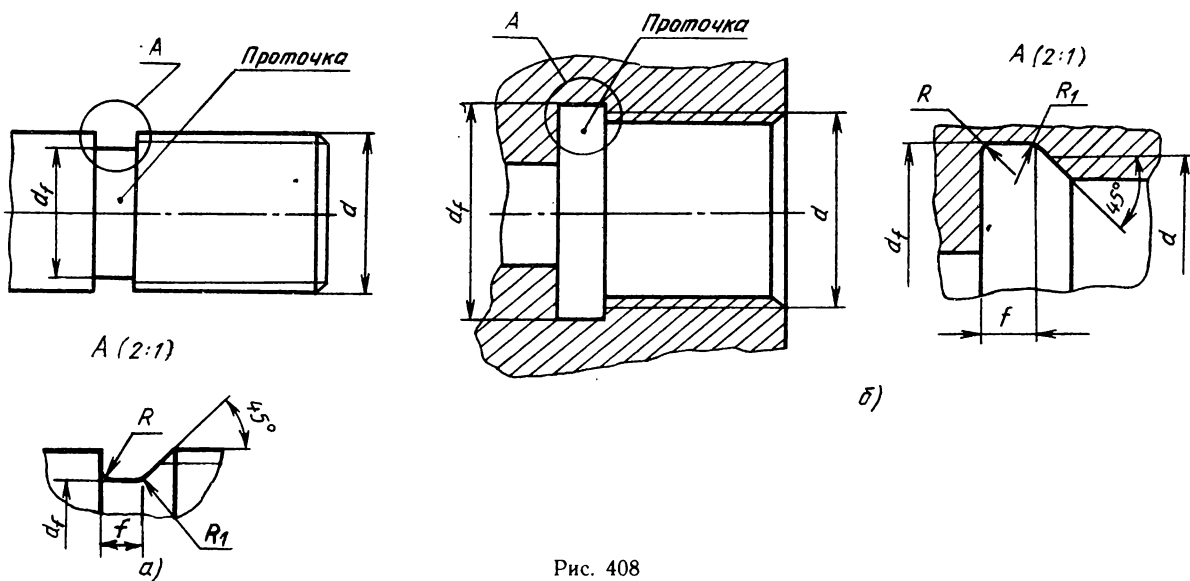


Рис. 408

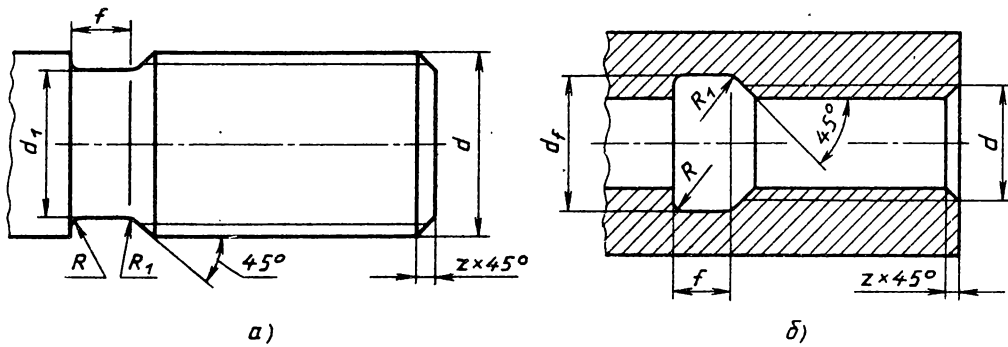


Рис. 409

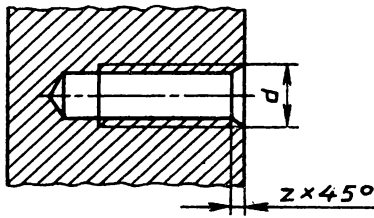


Рис. 410

ливаает ГОСТ 10549—80. Определяющим размером служит шаг резьбы  $P$ . Допускается изображать недорез тонкими сплошными линиями, как показано на рис. 407, в.

Проточки выполняют при нарезании резьбы на станках с помощью резца, чтобы избежать сбега резьбы и получить полный ее профиль, а также для обеспечения свободного выхода режущего инструмента. Для этого диаметр наружной проточки делают меньше внутреннего диаметра резьбы, а диаметр внутренней проточки — больше наружного диаметра резьбы (рис. 408).

На чертежах проточки изображают упрощенно и при необходимости поясняют выносным элементом, на котором показывают форму проточки и проставляют ее размеры (рис. 408). В зависимости от масштаба, в котором выполняется чертеж, возможно изображение формы проточки и нанесение ее размеров на самом изображении детали, как это показано на рис.

409. Размеры проточки и ее форму устанавливает ГОСТ 10549—80 в зависимости от типа резьбы и ее шага.

Фаски выполняют на конце стержня и в начале отверстия. Они упрощают процесс нарезания резьбы и способствуют более удобному и быстрому соединению двух деталей, как направляющие элементы. Фаска представляет собой небольшой усеченный конус, высота которого обозначается буквой  $z$ , а угол наклона образующих равен  $45^\circ$  (рис. 409 и 410). Размеры фасок для метрической резьбы устанавливает ГОСТ 10549—80.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. В каких случаях применяются крепежные и кинематические резьбы?
2. Какую форму имеет профиль метрической резьбы?
3. Что такое шаг резьбы?
4. Какая разница между шагом и ходом резьбы?
5. Чем отличается правая резьба от левой?
6. В каких случаях в обозначении метрической резьбы указывается ее шаг?
7. Какими линиями изображают наружный и внутренний диаметры резьбы на стержне и в отверстии?
8. К какому диаметру проставляют размер резьбы?
9. Расшифруйте обозначения резьб:  $M20 \times 1,5$ ;  $M24 \times 4,5 (P1,5)$ ;  $Tr40 \times 6LH$ ;  $G1^{1/2}$ .
10. К чему относится величина размера трубной резьбы, проставленная к наружному диаметру резьбы на трубе?
11. Что такое недорез?
12. Что такое фаска?
13. Какую роль играет фаска на деталях, имеющих резьбу?
14. Для чего на резьбовой детали выполняют проточки?
15. Что такое сбега резьбы?

## РАЗЪЕМНЫЕ И НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

В любом изделии детали, из которых оно состоит, соединены и взаимодействуют между собой. Они перемещаются относительно друг друга, вращаются одна в другой, накрутены одна на другую и выполняют определенную функцию. Существует группа деталей, с помощью которых осуществляют соединение отдельных частей изделия, их установку относительно друг друга в заданном положении, предотвращают детали от провертывания, самоотвинчивания. К таким деталям относятся крепежные резьбовые изделия, штифты, шпильки, шпонки, заклепки. С помощью этих деталей можно осуществить разъемное или неразъемное соединение частей изделия.

Разъемным соединением является соединение, которое можно многократно разбирать на отдельные части (детали) и снова собирать их без разрушения самих деталей и связующих их элементов, например, болтовое соединение, шпоночное.

Неразъемное соединение в разборке не подлежит, так как или одна из деталей, или связующий их элемент при этом разрушаются, например, соединение заклепками.

### § 60. РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

Одним из распространенных в технике разъемных соединений является соединение с помощью резьбовых крепежных деталей: гаек, болтов, винтов и шпилек. Технические требования к этим деталям устанавливает ГОСТ 1759—70 (СТ СЭВ 607—77, СТ СЭВ 1018—78, СТ СЭВ 4203—83). Он устанавливает виды и обозначения покрытий, классы прочности, обозначение групп, определяющих их механические свойства, а также их условное обозначение.

Условное обозначение должно содержать: наименование детали, вид ее исполнения, диаметр резьбы, мелкий шаг резьбы (метрической), обозначение поля допуска резьбы, длину детали (кроме гаек), класс прочности или группу указания о применении спокойной стали, обозначение вида покрытия, толщины покрытия, номер размерного стандарта (ГОСТ). Например, условное обозначение болта повышенной точности с шестигранной головкой, второго исполнения с диаметром 8 мм, с мелким ша-

гом 1 мм, с полем допуска диаметров резьбы 6g, рабочей длиной 40 мм, из материала группы 21, с покрытием 01 (цинковое с хромированием) толщиной 9 мкм будет выглядеть следующим образом: *Болт П2М8×1—6g×40.21.019 ГОСТ 7805—70*. На учебных чертежах ограничиваются упрощенным обозначением крепежных изделий по типу: *Болт 2М8×40 ГОСТ 7805—70* и т. п.

Гайка — крепежное изделие (деталь) с резьбовым отверстием, навинчивающееся на стержни с такой же резьбой для прижима какой-либо детали, находящейся на этом же стержне. Гайки могут быть круглыми, квадратными, шестигранными. В технике широко применение получили шестигранные гайки. ГОСТ предусматривает изготовление шестигранных гаек нормальной высоты, а также низких, высоких, прорезных, корончатых, нормальной и повышенной точности.

На рис. 411 показана шестигранная гайка нормальной точности по ГОСТ 5915—70 (СТ СЭВ 3683—82) (исполнения 1). В исполнении 2 гайка выполняется с одной фаской. В табл. 8 приведены размеры гаек нормальной точности по ГОСТ 5915—70. Внутренняя фаска на гайке выполняется под углом до 120°. Наружная фаска на гайке снимается под углом 15...30°.

8. Размеры гаек нормальной точности по ГОСТ 5915—70, мм

Номинальный диаметр резьбы $d$	8	10	12	16	20	24	30
Размер «под ключ» $S$	13	17	19	24	30	36	46
Диаметр описанной окружности $D$	14,2	18,7	20,9	26,5	33,3	39,6	50,9
Высота $t$	6,5	8	10	13	16	19	24

В пересечении поверхности фаски с гранями гайки получаются гиперболы. При выполнении чертежа гайки их заменяют дугами окружности. Построение трех точек для каждой дуги показано на рис. 412. Для построения фаски на торце гайки откладывают размер  $d_w \approx 0,95S$ . Из концов построенного отрезка проводят образующие конуса фаски под углом 15...30° к торцу гайки и получают точки  $1'$  и  $4'$ , в которых фаска отсекает крайние ребра гайки. Остальные ребра гайки отсекаются на таком же рас-

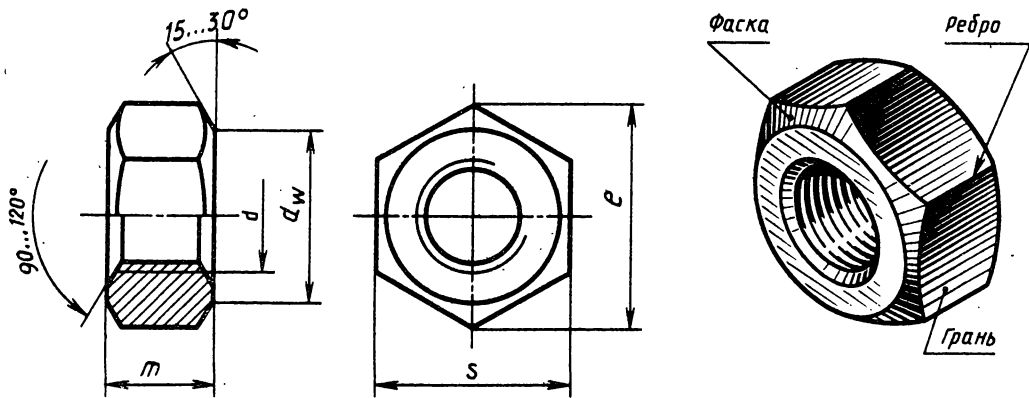


Рис. 411

стоянии от торца, поэтому, соединив точки 1' и 4' тонкой линией, получают аналогичные точки на других ребрах (2' и 3'). В точках 1', 2', 3', 4' будут находиться концы гипербол. Вершины гипербол располагаются в каждой грани на средней линии, проведенной параллельно ребрам гайки. От точки пересечения центровых линий гайки все шесть вершин находятся на расстоянии, равном  $S/2$ , т. е. лежат на окружности, вписанной в шестиугольник, ее диаметр равен  $S$ . Проекции вершин — точки 5', 6' и 7' — находятся в пересечении фронтальной проекции этой окружности со средними линиями граней. Для построения дуг окружностей, заменяющих гиперболы, на каждой грани имеется по три точки. Проведение дуги окружности через три точки рассматривалось в § 13.

На чертеже гайки (рис. 413) концы гипербол, находящиеся на ребрах гайки, располагаются на линиях, проведенных из точек пересечения образующей фаски с крайним ребром на главном виде, а вершины гипербол — на линиях, проведенных из точек пересечения образующей фаски с крайней гранью на виде слева. На рабочих чертежах гаек, в том числе нестандартных, или деталей, имеющих фаску, подобную той, которая выполняется на гайке, фаска вычерчивается, как описано выше.

На чертежах, по которым детали не изготавливаются (сборочные чертежи и т. п.), гайки вычерчивают упрощенно и фаски не показывают (см. рис. 416). Форма и размеры гайки полностью определяются записью в ее условном обозначении. Для учебных чертежей можно ограничиться упрощенным обозначением, например, *Гайка М20 ГОСТ 5915—70*.

Шайба — деталь, имеющая форму диска с отверстием без резьбы. Ее нельзя отнести к

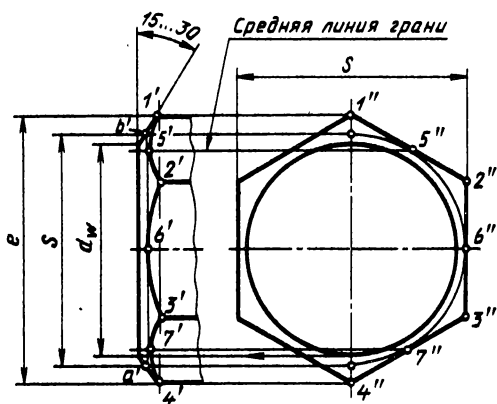


Рис. 412

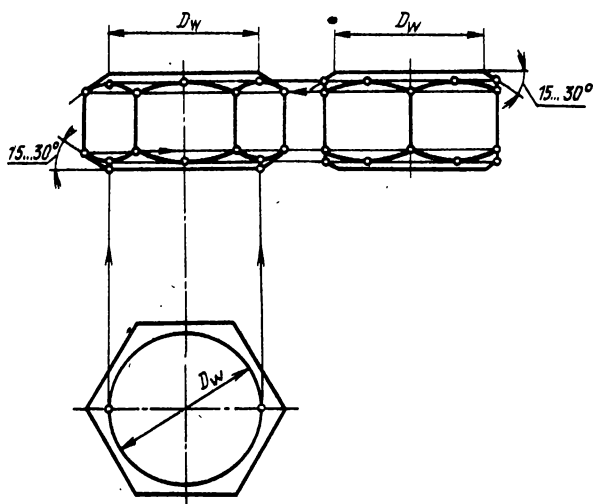


Рис. 413

резбовым изделиям, но целесообразно рассматривать ее форму и размеры вместе с резьбовыми изделиями, так как шайба применяется обычно с болтом, гайкой и шпилькой. Ее устанавливают под гайку для того, чтобы предотвратить повреждение поверхности соединяемых деталей.

ГОСТ предусматривает изготовление нормальных, увеличенных и уменьшенных шайб в двух исполнениях: исполнение 1 — без фаски (рис. 414, а) и исполнение 2 — с фаской (рис. 414, б). На рис. 414 вычерчены шайбы нормальные по ГОСТ 11371—78, размеры которых приведены в табл. 9. На рис. 415 показана пружинная шайба по ГОСТ 6402—70 (СТ СЭВ 2665—80). Такие шайбы используют, чтобы предотвратить самоотвинчивание гайки при вибрации деталей во время работы. Их устанавливают так, как показано на рис. 416. Пружинные шайбы изготовляют четырех типов: легкие, нормальные, тяжелые и особо тяжелые. В табл. 10 приведены размеры нормальных пружинных шайб.

#### 9. Размеры нормальных шайб по ГОСТ 11371—78, мм

Диаметр резьбы крепежной детали	8	10	12	16	20	24	30
$d_1$	8,4	10,5	13	17	21	25	31
$d_2$	17	21	24	30	37	44	56
$s$	1,6	2	2,5	3	3	4	4
$e$ , не более	0,8	1,0	1,25	1,5	1,5	2,0	2,0
$x$ , не менее	0,8	1,0	1,25	1,5	1,5	2,0	2,0

#### 10. Размеры нормальных пружинных шайб по ГОСТ 6402—70, мм

Номинальный диаметр резьбы крепежной детали	8	10	12	16	20	24	30
Номинальный диаметр отверстия шайбы $d$	8,2	10,2	12,2	16,3	20,5	24,5	30,5
Ширина кольца и высота шайбы $b = s$	2,0	2,5	3,0	3,5	4,5	5,5	6,5

Болт — это резьбовое крепежное изделие, представляющее собой стержень с головкой с одной стороны и резьбовой частью с другой стороны. Наиболее распространенными являются болты с шестигранной головкой (рис. 417). Размеры  $S$  и  $e$  (рис. 418) в зависимости от диаметра болта  $d$  берут такие же, как и для гайки (см. табл. 8). Высота головки болта  $k$  несколько меньше, чем высота гайки. Для болта диа-

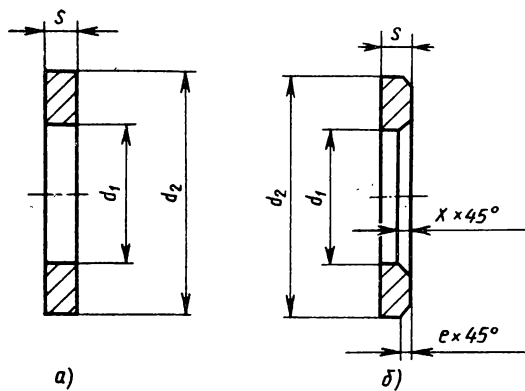


Рис. 414

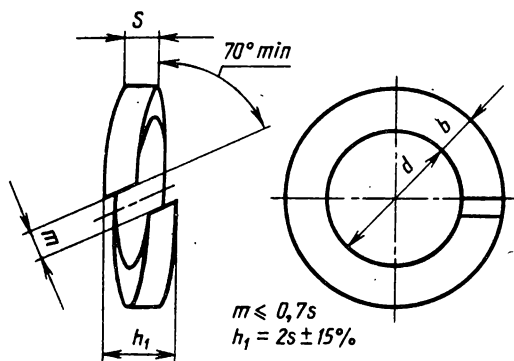


Рис. 415

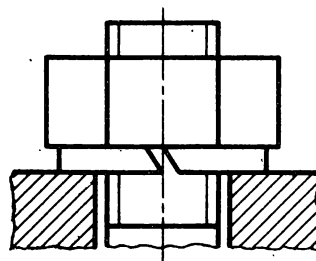


Рис. 416

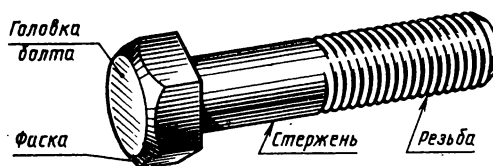


Рис. 417

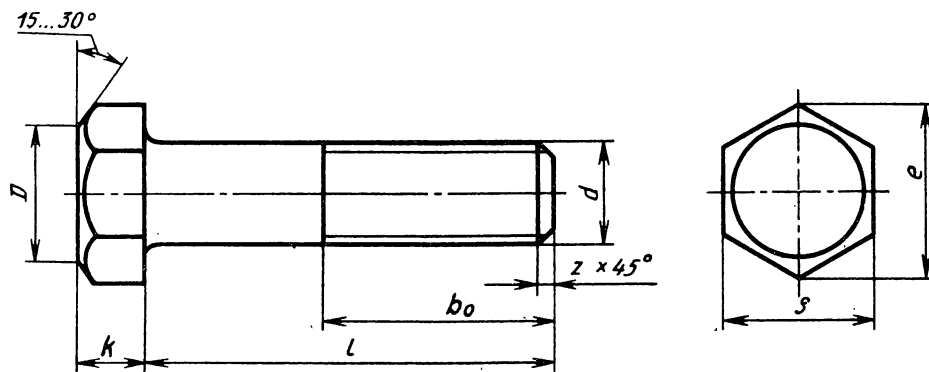


Рис. 418

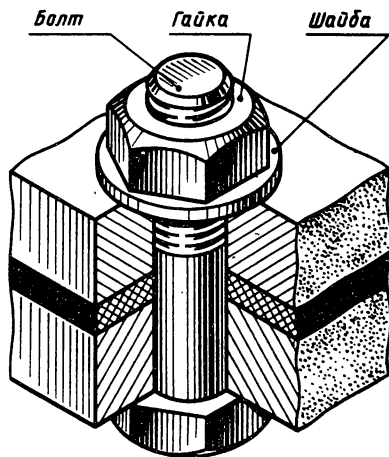


Рис. 419

метра 8 она равна 5,3; для 10—6,4; для 16—10; для 20—12,5; для 24—15; для 30—18,7 мм. Фаски на головке болта снимаются только с внешнего торца и вычерчиваются так же, как на гайке (см. рис. 412). Болты выпускаются нормальной, повышенной и грубой точности, с шестигранными, квадратными и другими головками. На рис. 418 показан болт с шестигранной головкой, нормальной точности по ГОСТ 7798—70. Длина стержня  $l$  — рабочая длина. Она получается расчетом и уточняется по таблице ГОСТа. Длина нарезанной части болта  $b$  также определена ГОСТом и равна  $2d+6$  р.

Соединение болтом — одно из наиболее распространенных соединений деталей. Такое соединение осуществляется с помощью болта, гайки и шайбы (рис. 419). Диаметр болта  $d$  определяется конструкторскими расчетами. Отверстия в соединяемых деталях для прохода болта сквозные. Диаметр  $d_1$  берется по ГОСТ 11284—75 (СТ СЭВ 2515—80).

В табл. 11 выборочно даются два ряда диаметров от 8 до 30 мм для сквозных отверстий под крепежные детали: болты, шпильки, винты и заклепки. Диаметры из первого ряда берут для более точных сборок. Рекомендуемые размеры обеспечивают зазор между болтом и соединяемыми деталями (рис. 420). На чертежах зазор можно показывать несколько увеличенным.

11. Размеры сквозных отверстий для крепежных деталей по ГОСТ 11284—75 (СТ СЭВ 2515—80), мм

Диаметры стержней крепежных деталей $d$	Диаметры сквозных отверстий $d_1$	
	1-й ряд	2-й ряд
8,0	8,4	9,0
10,0	10,5	11,0
12,0	13,0	14,0
14,0	15,0	16,0
16,0	17,0	18,0
18,0	19,0	20,0
20,0	21,0	22,0
22,0	23,0	24,0
24,0	25,0	26,0
30,0	31,0	33,0

Длину стержня болта ( $l$ ) определяют в зависимости от толщины соединяемых деталей ( $b_1+b_2+b_3...$ ); толщины шайбы ( $s$ ), высоты гайки ( $m$ ), длины конца болта, выступающего над гайкой ( $a$ ), и высоты фаски ( $z$ ). Полученную величину сравнивают с длинами болтов по таблице ГОСТ 7798—70 и берут ближайшее значение, так же определяют длину нарезанной части болта ( $b$ ). На рис. 420 показано соединение болтом двух фланцев и прокладки. Болты, гайки и шайбы на продольном разрезе показывают неразрезанными. Головку болта и гайку на главном виде изображают так, чтобы было видно три грани. На рис. 421, показано упрощенное изображение соединения болтом. На учебных чертежах общего вида

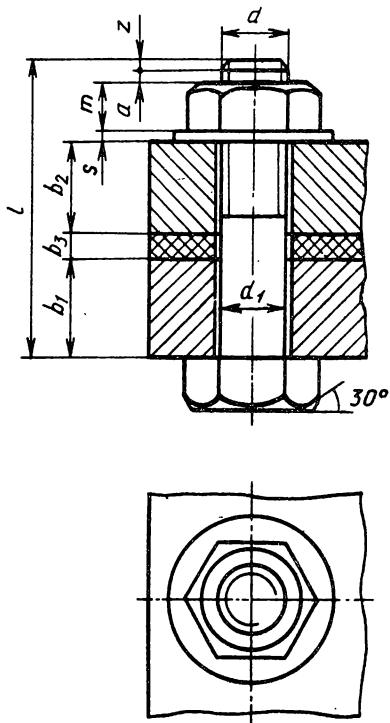
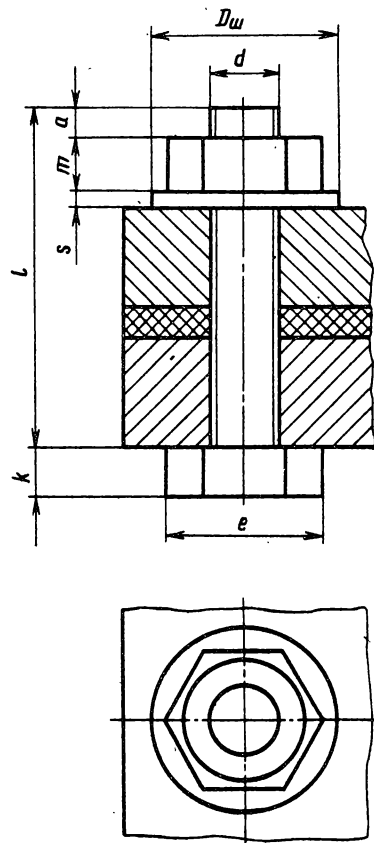


Рис. 420



$$\begin{aligned}
 m &= 0,8d & D_{ш} &= 2,2d \\
 k &= 0,7d & s &= 0,15d \\
 e &= 2d & a &= (0,3-0,4)d
 \end{aligned}$$

Рис. 421

и сборочных чертежах целесообразно применять конструктивное изображение этого соединения, упрощая лишь изображение гайки и головки болта, т. е. не показывая на них фаску. Упрощенное изображение соединения болтом рекомендуется вычерчивать по условным соотношениям размеров (см. рис. 421) в зависимости от заданного диаметра болта ( $d$ ).

Шпилька — крепежное изделие, представляющее собой цилиндрический стержень с резьбой на обоих концах (рис. 422). Один конец шпильки  $b_1$  ввинчивается в отверстие одной из деталей, а на другой конец  $b$  навинчивается гайка (рис. 422, а). Размер  $b$  выбирают по ГОСТу. Длина ввинчиваемого конца ( $b_1$ ) шпильки зависит от материала детали, в которую она ввинчивается. Для стали, бронзы и латуни  $b_1 = d$ ; для чугуна —  $1,25d$ ; для легких сплавов —  $2d$ . Применяют также шпильки, у которых  $b_1 = 1,6d$  и  $2,5d$ . На рис. 422 показана шпилька, выполненная по ГОСТ 22032—76, у которой  $b_1 = d$ . На учебных чертежах при обозначении шпильки ограничиваются значением диаметра, рабочей длины шпильки ( $l$ ) и номером ГОСТа. Например: Шпилька М20 × 100 ГОСТ 22032—76.

Соединение деталей шпилькой применяют тогда, когда в одной из соединяемых деталей в связи с ее конструктивными

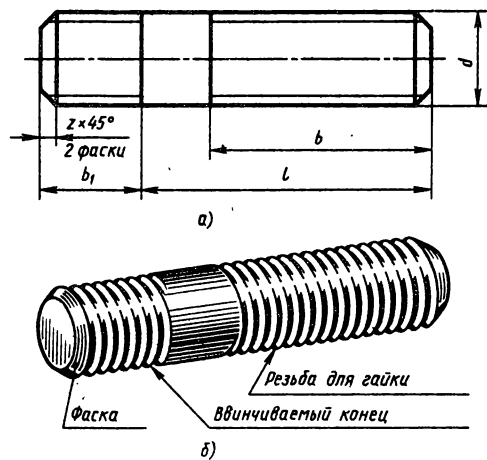


Рис. 422

особенностями нельзя или нецелесообразно сверлить сквозное отверстие. В простое соединение шпилькой входят шпилька, шайба и гайка

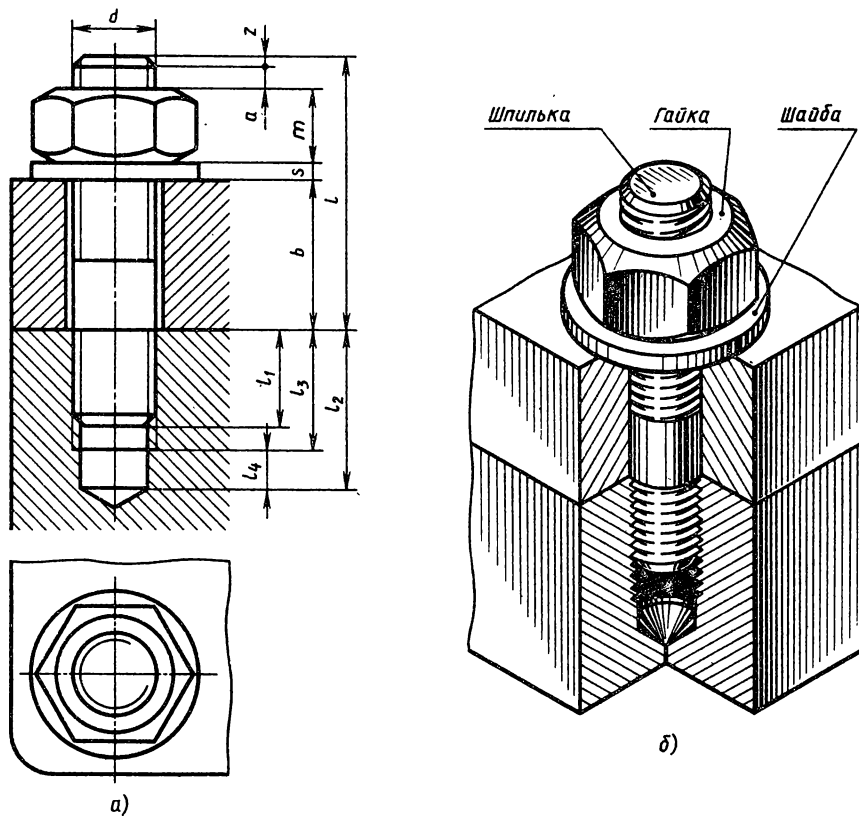


Рис. 423

(рис. 423). Диаметр шпильки  $d$  определяется конструкторскими расчетами, рабочая длина  $l$  рассчитывается и изображается так же, как рабочий конец болта с шайбой и гайкой (рис. 423, а). Диаметр проходного отверстия под шпильку в скрепляемой детали берется из табл. 11. Шпилька изображается ввернутой в отверстие на всю длину ввинчиваемого конца. Глубина отверстия под шпильку  $l_2 = l_1 + 6P$ , где  $P$  — шаг резьбы; или  $l_2 = l_1 + 2P + l_4$ , где  $l_4$  — недорез. Величину недорезов определяет ГОСТ 10549—80. Длина нарезанной части отверстия  $l_3 = l_1 + 2P$ . На рис. 424 показано

упрощенное изображение шпильчного соединения по ГОСТ 2.315—68 (СТ СЭВ 1978—79).

Винт — это резьбовое крепежное изделие, представляющее собой цилиндрический стержень, на одном конце которого нарезана резьба, а на другом имеется головка. Винты делятся на крепежные и установочные. Они имеют разные головки (установочные винты могут не иметь головки) и разные концы. Винты изготовляют нормальной (класс точности В) и повышенной (класс точности А) точности. Обозначаются винты так же, как и все крепежные детали. На учебных чертежах указывают

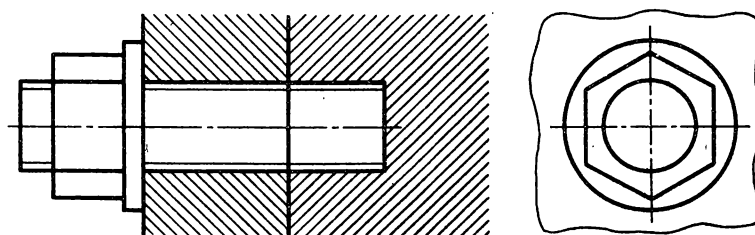


Рис. 424

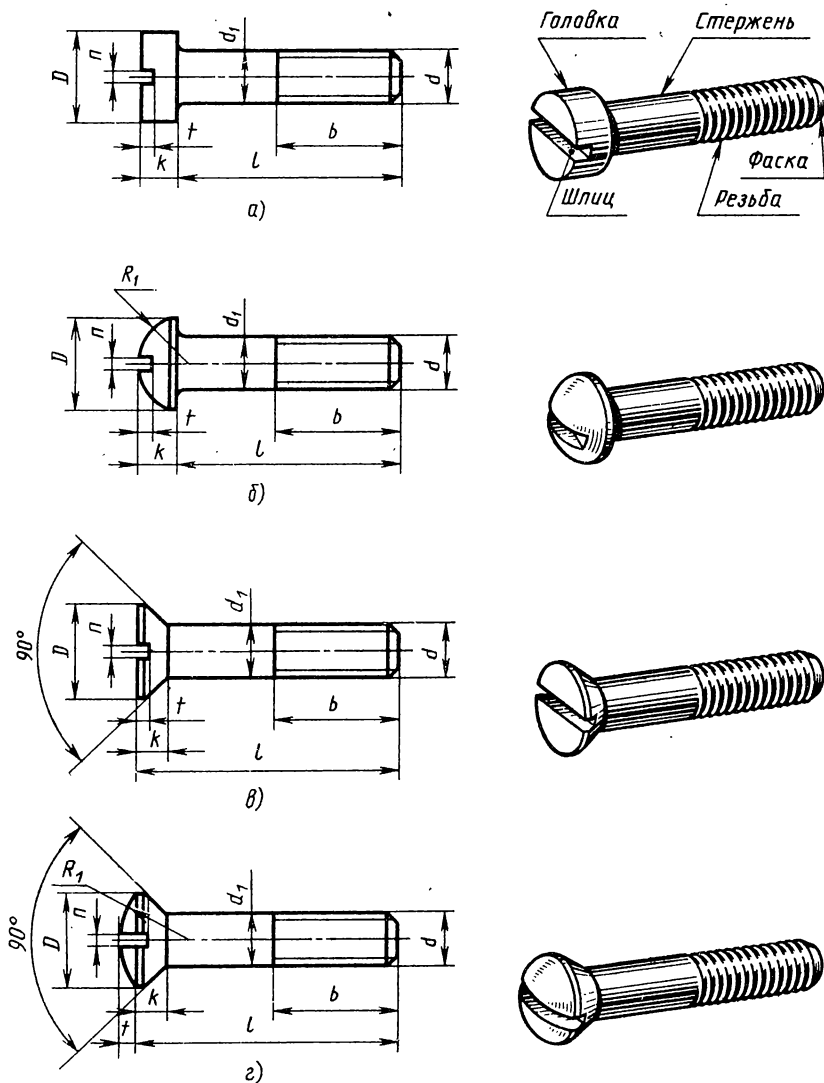


Рис. 425

диаметр винта  $d$ , его длину  $l$  и ГОСТ. Например: Винт  $M5 \times 50$  ГОСТ 1491—80.

На рис. 425, а показан винт с цилиндрической головкой исполнения 1 по ГОСТ 1491—80 (СТ СЭВ 2653—80). В табл. 12 приведены его размеры. Формы и размеры крепежных винтов

с полукруглой головкой (рис. 425, б) устанавливает ГОСТ 17473—80, с потайной головкой (рис. 425, в) — ГОСТ 17475—80 (СТ СЭВ 2652—80), с полупотайной головкой (рис. 425, г) — ГОСТ 17474—80 (СТ СЭВ 2655—80). В исполнении 2 эти винты выполняют с крестообразными шлицами.

При вычерчивании соединений деталей винтами их головки можно выполнять по условным соотношениям размеров (рис. 426) в зависимости от  $d$ . Соединение деталей винтом осуществляют, ввинчивая винт в одну из деталей и прижимая к ней тем самым другую деталь (рис. 427), имеющую сквозное отверстие без резьбы, через которое проходит винт. Диаметр этого отверстия несколько больше, чем диаметр винта, что обеспечивает свободный проход винта. Рабочая длина винта

12. Размеры винтов с цилиндрической головкой по ГОСТ 1491—80 (СТ СЭВ 2653—80), мм

$d$	$D$	$k$	$l$	$b$
5	8,5	3,3	6—50	16
6	10	3,9	7—60	18
8	13	5	12—80	22
10	16	6	18—100	26
12	18	7	18—100	30
16	24	9	30—100	38
20	30	11	40—120	46

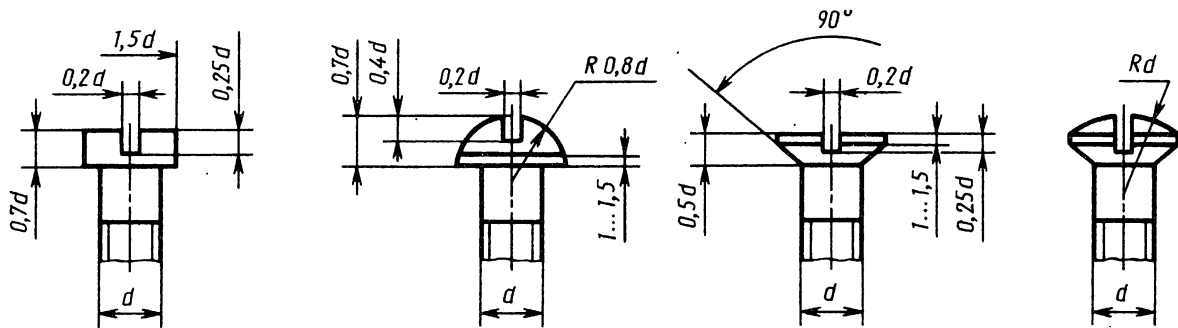


Рис. 426

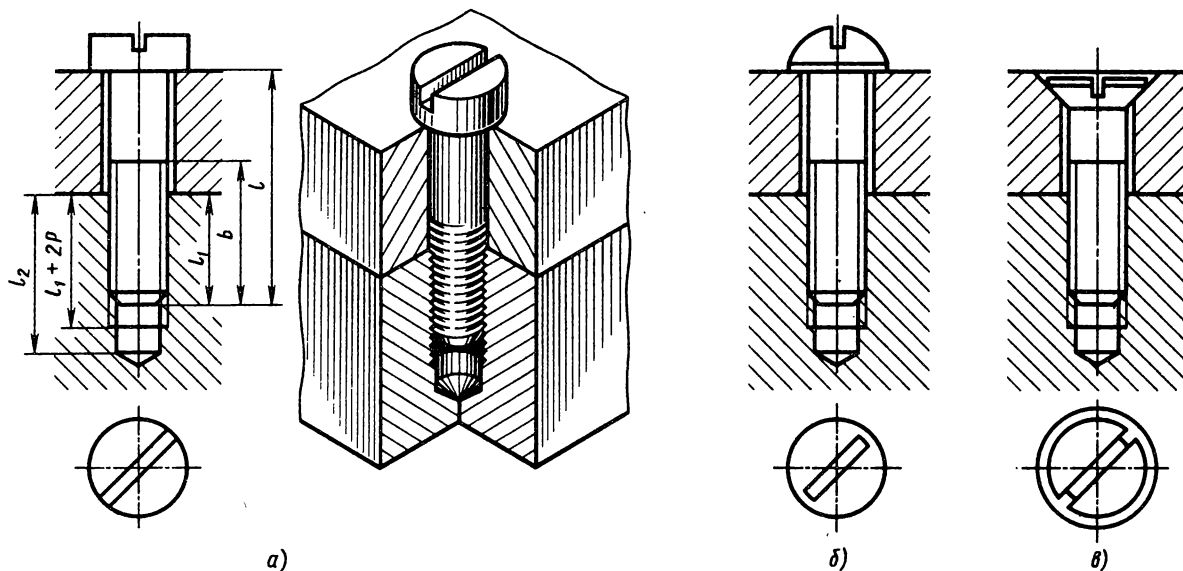


Рис. 427

( $l$ ) определяется суммой толщины прикрепляемой детали и длины ввинчиваемой части винта, которая зависит от материала детали, в которую ввинчивается винт, и от диаметра винта. Расчет глубины отверстия под винт и длины нарезанной части этого отверстия выполняется так же, как и отверстия под шпильку. Длина нарезанной части винта ( $b$ ) выбирается по ГОСТу в зависимости от типа винта так, чтобы выполнялось условие  $b > l_1$ . Шлицы винтов, изображенных в соединении, принято показывать условно, независимо от действительного положения (на виде сверху — под углом  $45^\circ$  к рамке чертежа, в плоскости, параллельной оси винта, — по оси). Если наклоненная центровая линия совпадает с линиями шлица, то линии шлица проводят под углом  $45^\circ$  к центральной линии.

Соединение труб фитингами широко используется в технике в пневматических, гидравлических и других устройствах, в системах отопления, газо- и водоснабжении.

Фитингами называют специальные детали, применяемые для соединения труб. Они имеют различную форму, конструкцию и позволяют осуществлять различные варианты соединений труб.

Прямая муфта (рис. 428) позволяет соединить две трубы одинакового диаметра, а переходная муфта (рис. 429) — трубы с разными диаметрами. Для лучшего захвата муфт специальным ключом на их поверхностях делают ребра. Тройники (рис. 430) позволяют сделать отвод под прямым углом, крестовины (рис. 431) — пересечение труб под прямым углом, угольники (рис. 432) — изменить направ-

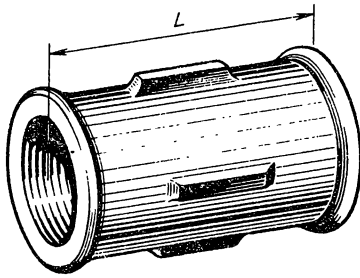


Рис. 428

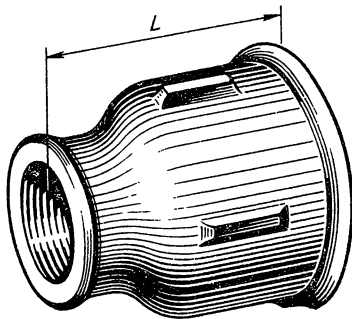


Рис. 429

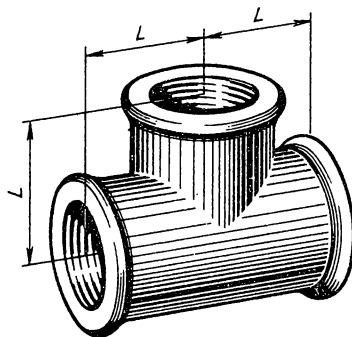


Рис. 430

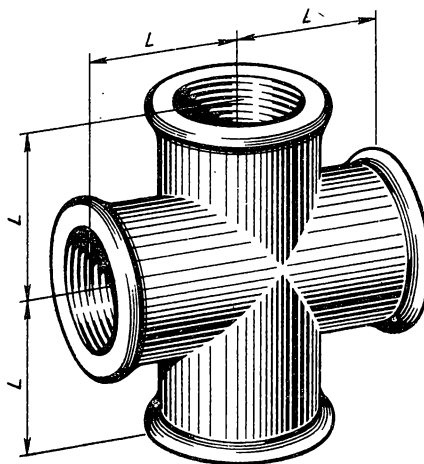


Рис. 431

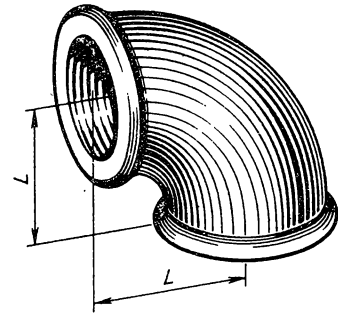


Рис. 432

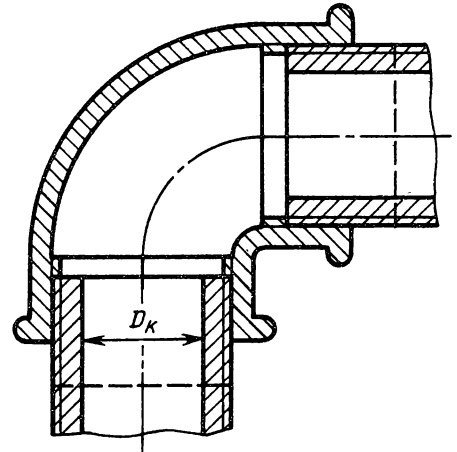


Рис. 433

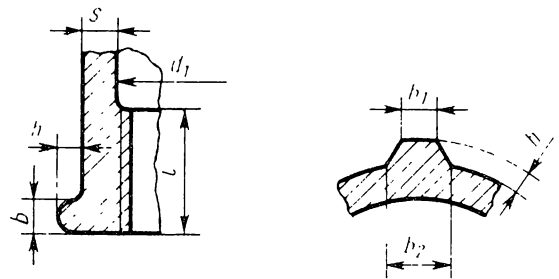


Рис. 434

ление трубопровода на  $90^\circ$ . Тройники, крестовины и угольники могут иметь и другую конструкцию, позволяющую обеспечивать соединение труб разных диаметров.

Соединение труб фитингами осуществляется, как правило, с помощью трубной цилиндрической резьбы по ГОСТ 6357—81 (СТ СЭВ 1157—78). Размер стандартных труб и фитингов характеризуется величиной проходного отверстия трубы  $D_y$ . В зависимости от этого размера выбирают и размеры конструктивных

13. Конструктивные размеры фитингов, мм

Условный проход $D_y$	Размер резьбы, дюймы	$d$	$b_1$	$h$	$d_1$	$l$	$b$	$s$	$b_2$	$L$	
										Угольники и тройники	Муфты прямые
8	$1/4$	13,2	2,0	2	13,5	10,0	3,0	2,5	3,5	24	26
10	$3/8$	16,7	2,0	2	17,0	12,0	3,0	2,5	3,5	28	30
15	$1/2$	20,9	2,0	2	21,5	14,0	3,5	2,8	4,0	32	34
20	$3/4$	26,4	2,0	2,5	27,0	16,0	4,0	3,0	4,0	36	38
25	1	33,2	2,5	2,5	34,0	18,0	4,0	3,3	4,5	40	42
32	$1 1/4$	41,9	2,5	3	42,5	20,0	4,0	3,6	5,0	46	48
40	$1 1/2$	47,8	3,0	3	48,5	22,0	4,0	4,0	5,0	52	52
50	2	59,6	3,0	3,5	60,5	24,0	5,0	4,5	6,0	60	56

Примечание. Число ребер на прямых муфтах  $G^{1/2} \dots G^{3/4}$  — два,  $G1 \dots G2$  — четыре.

элементов фитингов. Соединение труб угольником показано на рис. 433. Конструктивные элементы фитингов показаны на рис. 434, а их размеры приведены в табл. 13.

Наряду с крепежными резьбовыми изделиями при различных соединениях деталей в качестве соединительных элементов используют штифты, шпильки, шпонки.

Штифт — это стержень круглого сечения, имеющий цилиндрическую (рис. 435, а, б) или коническую (конусность 1:50) форму (рис. 435, в). Цилиндрические штифты выполняют по ГОСТ 3128—70 (СТ СЭВ 238—75, СТ СЭВ 239—75), конические — по ГОСТ 3129—70 (СТ СЭВ 238—75, СТ СЭВ 240—75). Основными размерами для штифтов являются их диаметр  $d$  и длина  $l$ . Второй диаметр конического штифта  $d_1 = d + \frac{l}{50}$  (справочный размер) (рис. 435, в).

Соединение деталей штифтом применяют в тех случаях, когда нужно передать осевое усилие (рис. 436, б) или крутящий момент от одной цилиндрической детали к другой (рис. 436, а). Часто штифты применяют вместе с винтами. В этом случае с помощью цилиндрического штифта фиксируют точную установку одной детали относительно другой, а

прижатие деталей осуществляется винтом (рис. 436, в). Так крепят различные направляющие, кондукторные плиты. Соединения штифтом показывают обычно на разрезе (рис. 437, а; 436, а) или в сечении (рис. 436, б). Штифт изображают на разрезах неразрезанным. Если штифт проходит через сплошной вал или ось, то его положение показывают местным разрезом (рис. 436, а). На рис. 436, б и в дано упрощенное изображение соединения штифтом. На учебных чертежах в условное обозначение штифта входят диаметр, длина и номер ГОСТа. Например: Штифт  $5 \times 40$  ГОСТ 3128—70. Размеры штифтов приведены в табл. 14.

Шпильки — это крепежные детали, которые применяют для предотвращения соскальзывания деталей, надетых на вал или ось, и самоотвинчивания гаек (рис. 438). Размеры, параметры и обозначения шпилек определяет ГОСТ 397—79 (СТ СЭВ 220—75). Шпильку применяют со специальными прорезными или корончатыми гайками, болтами или шпильками, имеющими на конце специальное отверстие под шпильку. Шпильки изготовляют из мягкой стали. После установки шпильки его концы разводят (рис. 439 и 440). Обозначение шпильки на учеб-

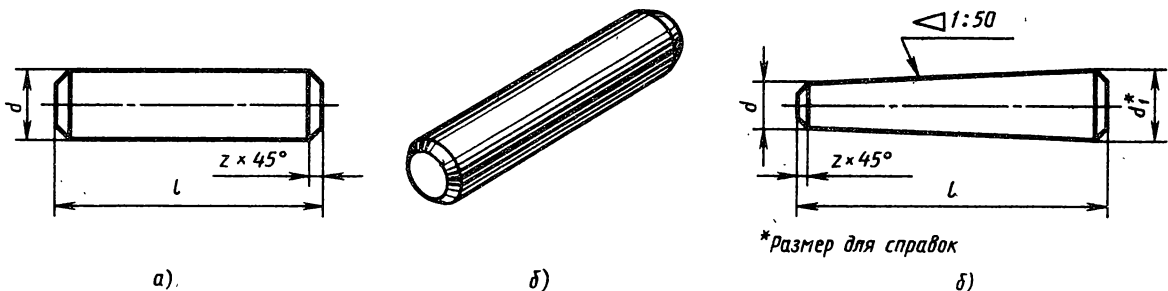


Рис. 435

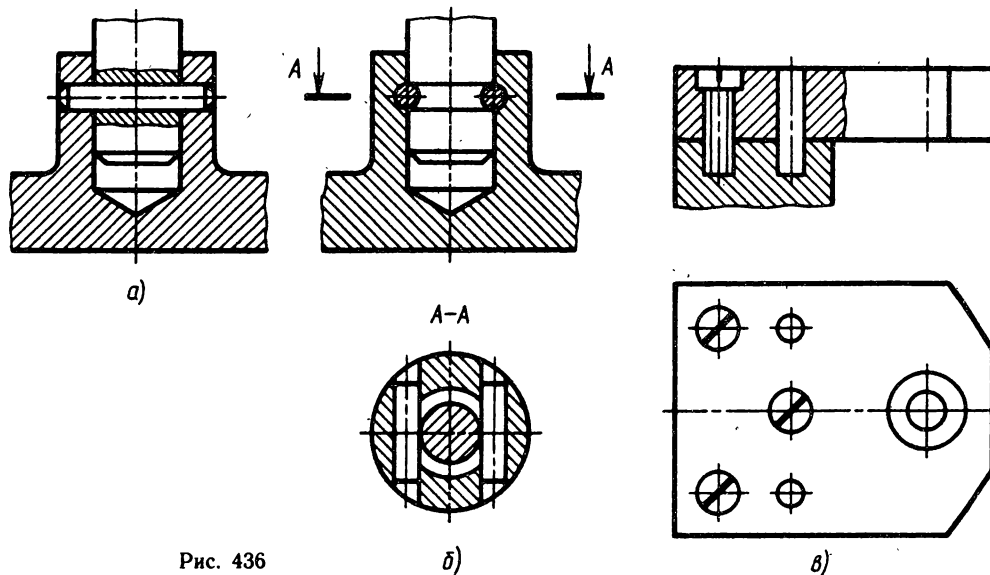


Рис. 436

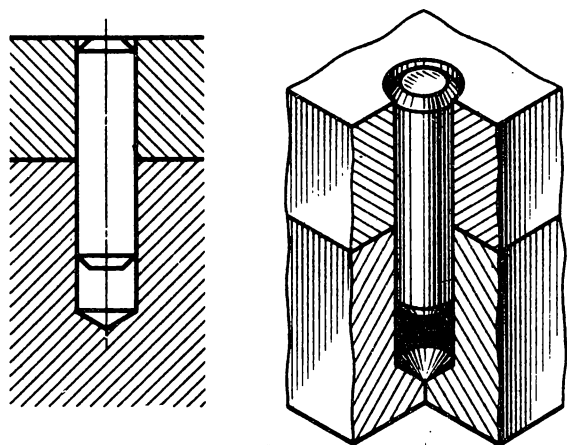


Рис. 437

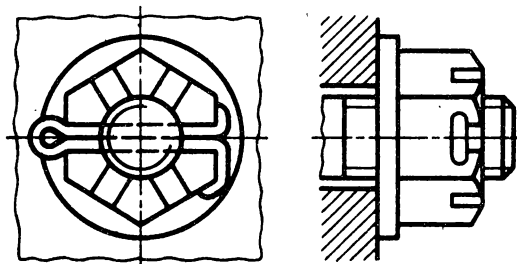


Рис. 439

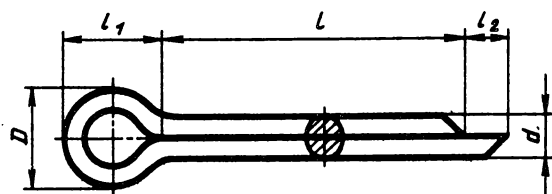


Рис. 438

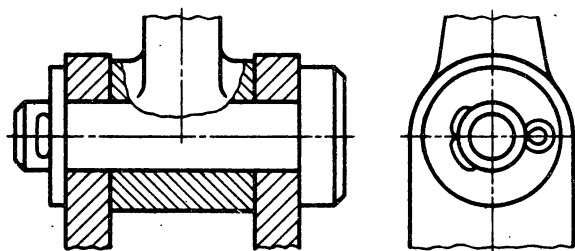


Рис. 440

14. Размеры цилиндрических штифтов по ГОСТ 3128—70, мм

$d$	2	3	4	5	6	8	10
$z$	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
$L$	4...40	6...60	8...80	10...100	12...120	16...160	20...160

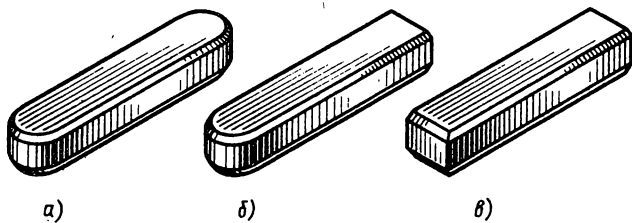


Рис. 441

вают), размеры сечения  $b \times h$ , длина  $l$  и номер ГОСТа. Например: *Шпонка 2—6×6×35 ГОСТ 23360—78*. Сегментная шпонка — это часть цилиндра с диаметром  $d_1$ , полученная сечением его тремя плоскостями, две из которых перпендикулярны оси цилиндра и определяют ее толщину  $b$ , а третья плоскость параллельна оси цилиндра и определяет высоту  $h$  шпонки (рис. 443). По всему контуру шпонки снимают

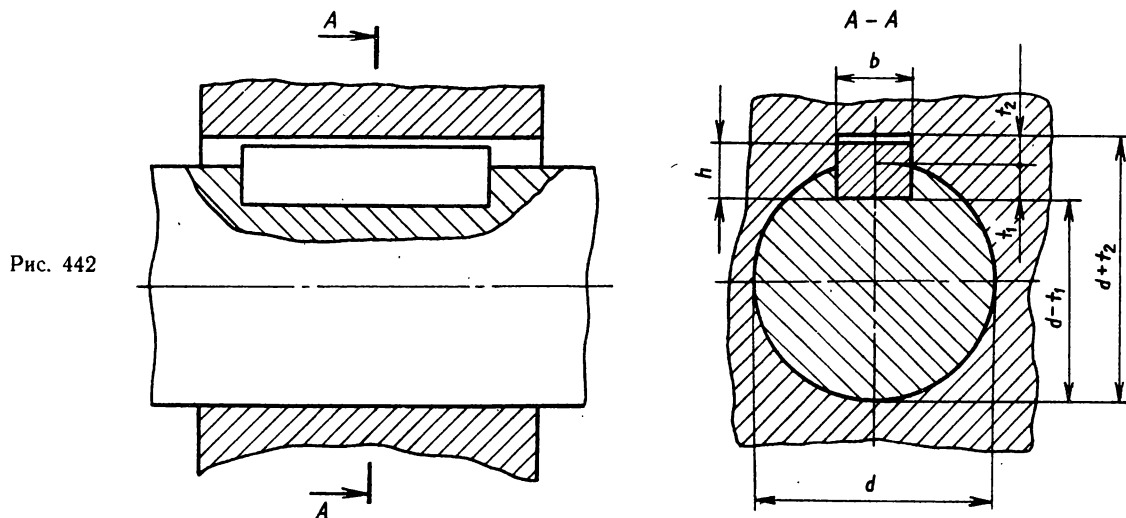


Рис. 442

ных чертежах выполняют по типу: *Шплинт 2×14 ГОСТ 397—79*, где 2 — его условный диаметр (условным диаметром шплинта считают диаметр отверстия, в которое его вставляют); 14 — его длина  $l$ .

Соединение деталей шпонкой позволяет передавать вращательное движение с вала на колесо и наоборот.

Шпонка — это деталь, устанавливаемая в специальный паз вала таким образом, что часть ее выступает над поверхностью вала и входит в углубление (паз) соединяемой с валом детали. С помощью шпонок закрепляют на валах шкивы, шестерни, муфты, рычаги, предотвращая их проворачивание.

По форме шпонки делятся на призматические (ГОСТ 23360—78), сегментные [ГОСТ 24071—80 (СТ СЭВ 647—77)] и клиновые [ГОСТ 24068—80 (СТ СЭВ 645—77)]. Призматические шпонки имеют три исполнения (рис. 441). Размеры сечения шпонки и глубину паза выбирают в зависимости от диаметра вала (рис. 442). В табл. 15 приведены некоторые диаметры валов и размеры шпонок. Длина шпонки выбирается в зависимости от ее рабочей нагрузки. В условное обозначение шпонки входят: исполнение (исполнение 1 не указы-

фаски. На чертежах соединений их не показывают. На изображении шпоночного соединения в продольном разрезе вала шпоночный паз выявляют местным разрезом, так как вал обычно показывают нерассеченным (см. рис. 442). Шпонки в продольном разрезе также показывают нерассеченными. На рабочих чертежах деталей шпоночного соединения размеры шпоночного паза на валу и в отверстии ставят, как показано на рис. 444.

15. Размеры призматических шпонок по ГОСТ 23360—78, мм

Диаметр вала $d$	Размеры сечений шпонок		Глубина паза	
	$b$	$h$	вала $t_1$	втулки $t_2$
Св. 17 до 22	6	6	3,5	2,8
Св. 22 до 30	8	7	4	3,3
Св. 30 до 38	10	8	5	3,3
Св. 38 до 44	12	8	5	3,3
Св. 44 до 50	14	9	5,5	3,8
Св. 50 до 58	16	10	6	4,3

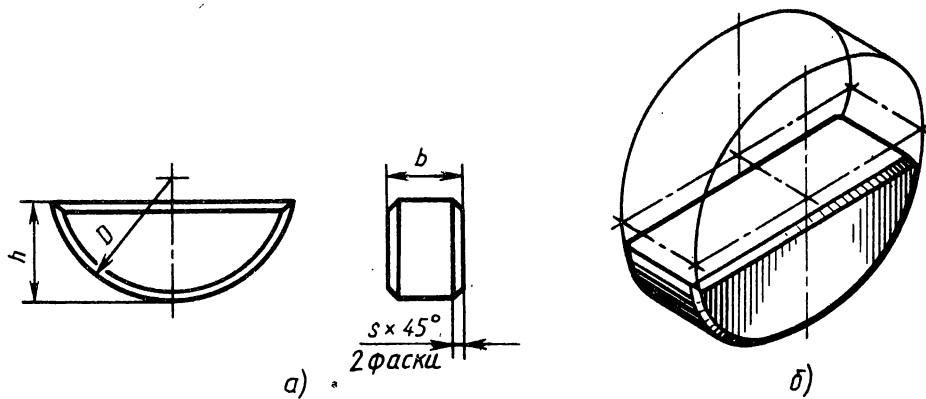


Рис. 443

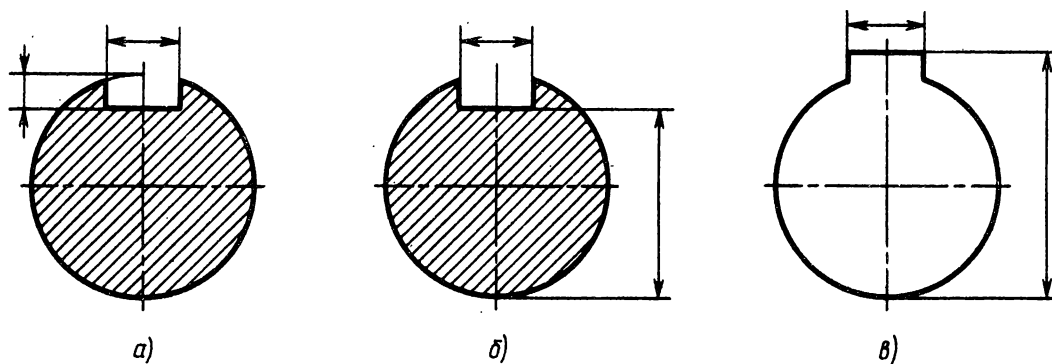


Рис. 444

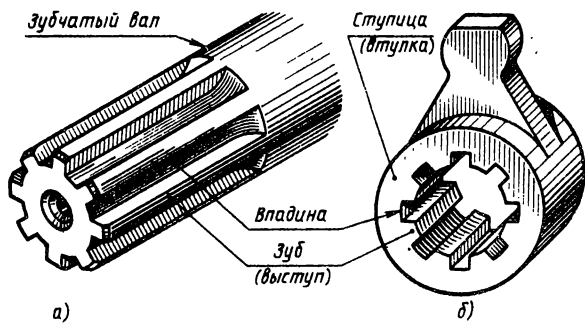


Рис. 445

Шлицевое соединение осуществляется с помощью зубьев (выступов) на одной детали и впадин на другой. Это соединение, так же как и шпоночное, позволяет передавать крутящий момент. Передавая вращательное движение с вала на втулку или ступицу и наоборот, шлицевые соединения способны выдерживать значительно бóльшие нагрузки, чем шпоночные, так как каждый зуб шлицевого соединения, входя во впадину ступицы, работает как шпонка, выполненная непосредственно на валу, и является единым целым с валом (рис. 445).

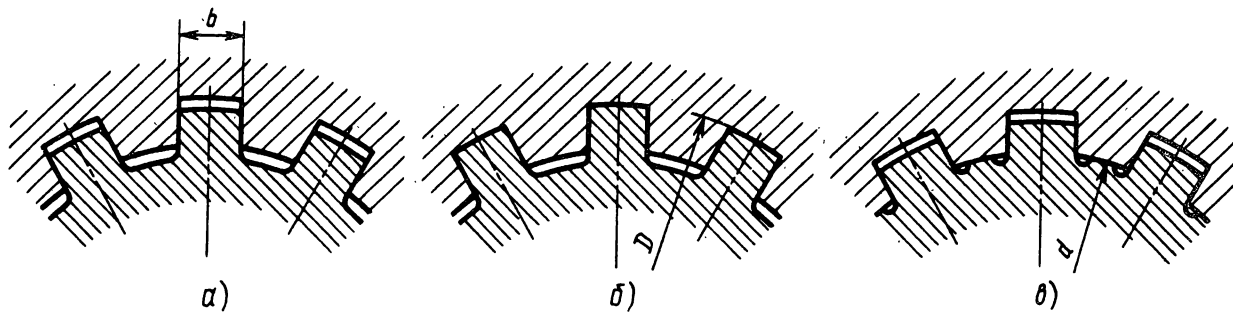


Рис. 446

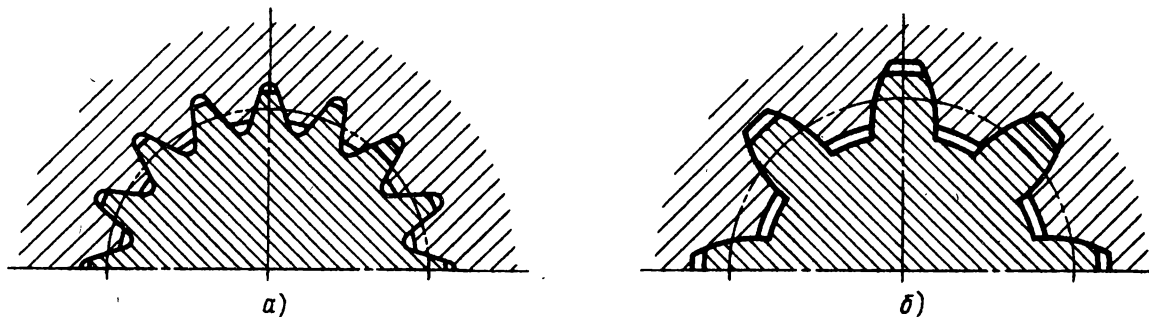


Рис. 447

Профили зубьев и впадин бывают прямо-  
бочные [ГОСТ 1139—80 (СТ СЭВ 187—75,  
СТ СЭВ 188—75)] (рис. 446, *a* и *б*); эволь-  
вентные [ГОСТ 6033—80 (СТ СЭВ 259—76)]  
(рис. 447, *б*); треугольные (рис. 447, *а*). В за-  
висимости от величины передаваемой нагруз-  
ки прямобочные соединения делят на три серии:  
легкую, среднюю и тяжелую. Они отличаются  
друг от друга высотой и числом зубьев.

Центрирование втулки (ступицы) и вала мо-  
жет осуществляться по боковым поверхностям  
зубьев *b*, в этом случае диаметры выступов и  
диаметры впадин образуют зазор (рис. 446, *a*);  
по диаметру выступов *D*, в этом случае по диа-  
метру впадин *d* делается зазор (рис. 446, *б*);  
по диаметру впадин *d*, в этом случае по диа-  
метру выступов *D* делается зазор (рис. 446, *в*).

По ГОСТ 2.409—74 (СТ СЭВ 650—77) шли-  
цевые соединения и их элементы показывают на

чертежах условно. На рис. 448 показано, как  
изображаются выступы валов на видах, в про-  
дольном разрезе и в поперечном сечении. На  
изображении шлицевого соединения в сборе  
радиальный зазор не показывают (рис. 449,  
прямобочное соединение). Там, где зубчатый  
вал вошел в отверстие, он закрывает полностью  
поверхности выступов отверстия. На изображе-  
ниях, где очерк отверстия или вала — окруж-  
ность, рекомендуется показывать профиль од-  
ного зуба и двух впадин; при этом для вала в  
плоскости разреза должен находиться зуб, а для  
отверстия — впадина (рис. 448 и 450). Шли-  
цевые соединения эвольвентного и треугольного  
профиля показывают на чертежах с теми же  
условностями, что и прямобочные, с добавле-  
нием делительных окружностей и делительных  
цилиндрических поверхностей, проводимых  
штрихпунктирными линиями (рис. 447 и 451).

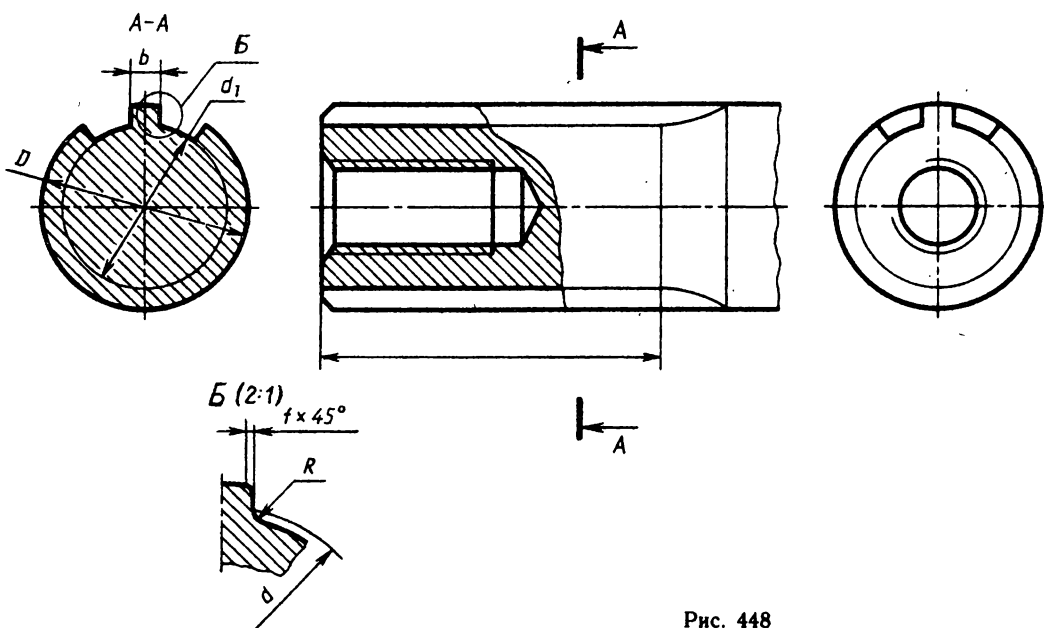


Рис. 448

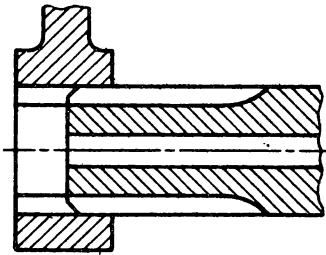


Рис. 449

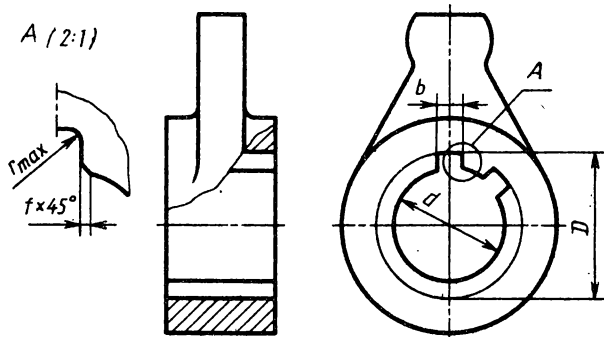


Рис. 450

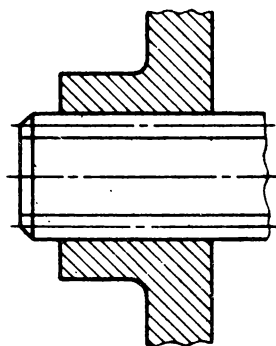


Рис. 451

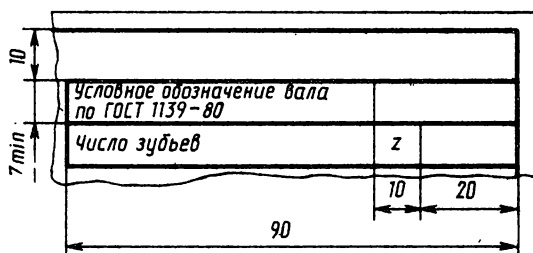


Рис. 452

На рабочих чертежах зубчатых валов и ступиц прямобочного соединения указывают длину зубьев полного профиля  $l$ , размеры и предельные отклонения диаметров выступов  $D$  и впадин  $d$ , толщину зубьев валов  $b$  и ширину впадин отверстий  $b$ . Радиусы скруглений  $r$ , фаски  $f$  на зубьях и впадинах и другие параметры рекомендуется указывать на выносном элементе. В правом верхнем углу чертежа помещается таблица, содержащая данные для изготовления и контроля элементов зубчатых соединений (рис. 452). Условное обозначение шлицевого соединения пишется в таблице параметров и содержит: способ центрирования ( $d, D, b$ ), число зубьев  $z$ , внутренний диаметр  $d$ , наружный диаметр  $D$ , ширину зуба  $b$ . Например,  $D-8 \times 36 \times 40 \frac{H8}{h7} \times 7 \frac{F10}{h9}$ . На учебных чертежах посадки можно не указывать:  $D-8 \times 36 \times 40 \times 7$ .

## § 61. НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Соединение сваркой, как способ неразъемного соединения деталей, получило широкое применение. В машиностроении сварка позволяет заменять сложные литые и кованные детали сварными. Это упрощает технологию, удешевляет производство, повышает производительность труда.

Сварные соединения в зависимости от взаимного расположения свариваемых деталей делят на четыре вида, которые обозначают прописными буквами русского алфавита: стыковые соединения —  $C$  (рис. 453,  $a$ ), угловое —  $У$  (рис. 453,  $b$ ), тавровое —  $T$  (рис. 453,  $в$ ) и соединение внахлестку —  $H$  (рис. 453,  $г$ ). Сварные соединения могут быть выполнены непрерывным (сплошным) швом (рис. 453,  $в$ ), прерывистым (рис. 454,  $a$  и  $б$ ), точечным швом (рис. 454,  $в$ ). Прерывистые швы характеризуются длиной провариваемого участка  $l$  и шагом  $t$ . Они могут быть с шахматным (рис. 454,  $a$ ) или цепным (рис. 454,  $б$ ) расположением провариваемых участков. Точечные швы также могут иметь шахматное или цепное расположение (рис. 454,  $в$ ). Некоторые швы тавровых, угловых соединений и соединений внахлестку имеют в сечении прямоугольный треугольник и характеризуются величиной катета шва  $K$  (рис. 455). Возвышение, сделанное над гипотенузой углового шва или над поверхностью свариваемых встык деталей, называют усилением  $g$  (рис. 455 и 456,  $a$ ).

ГОСТ 5264—80, ГОСТ 8713—79, ГОСТ 14776—79, ГОСТ 14806—80 устанавливают способы сварки, основные типы и конструктивные элементы швов с предварительной подготовкой кромок свариваемых деталей или без нее.

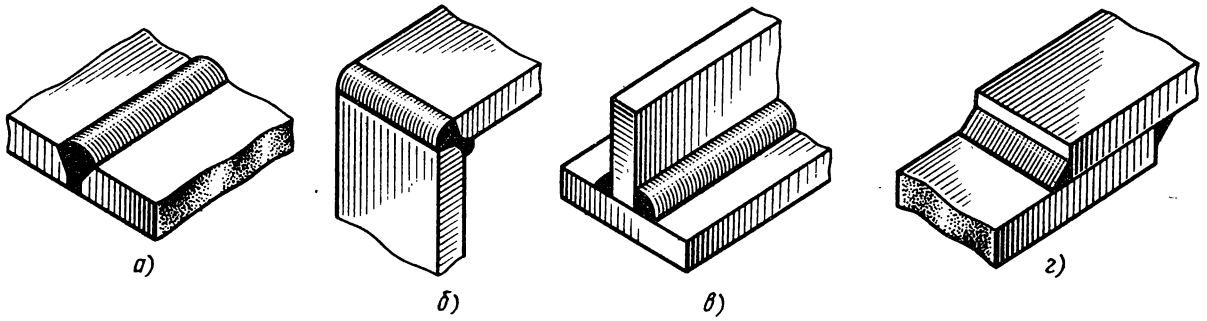


Рис. 453

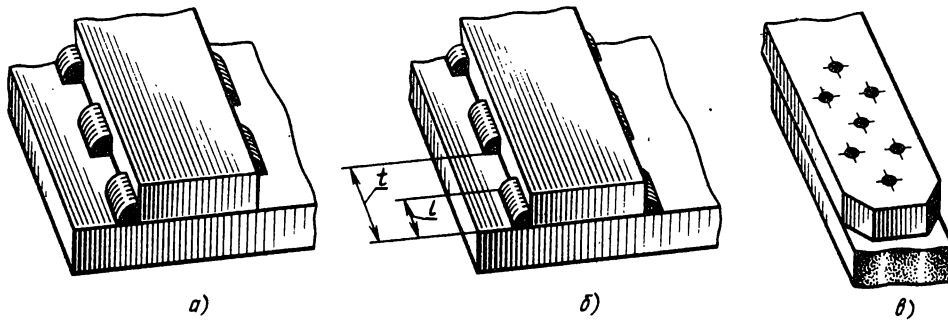


Рис. 454

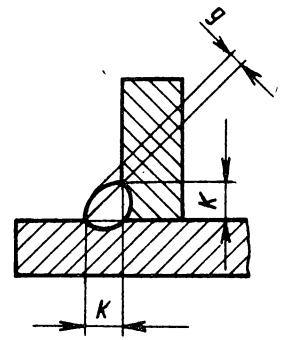


Рис. 455

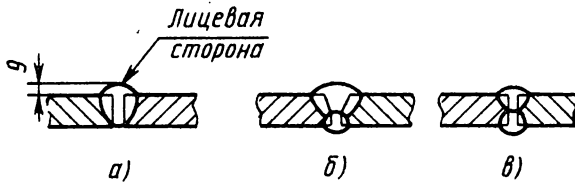


Рис. 456

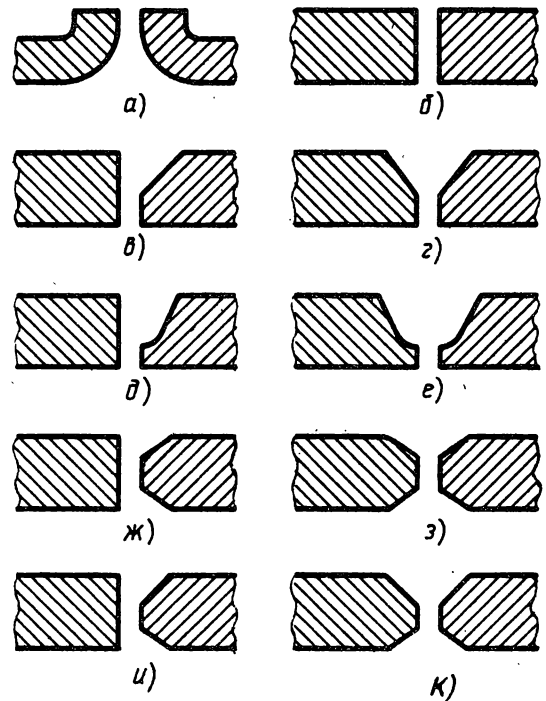


Рис. 457

Швы могут выполняться с отбортовкой кромок (рис. 457, а), без скоса кромок (рис. 457, б), со скосом одной или двух кромок (рис. 457, в и г), с криволинейным скосом одной или двух кромок (рис. 457, д и е), с двумя симметричными скосами одной или двух кромок (рис. 457, ж и з), с двумя несимметричными скосами одной или двух кромок (рис. 457, и и к). Все это отражается в буквенно-цифровом обозначении шва. Буква обозначает вид соединения, а цифра — номер шва по соответствующему стандарту, его конструктивные особенности и подготовку кромок. Рассмотрим некоторые виды швов, предусмотренные для ручной дуговой сварки углеродистых сталей (ГОСТ 5264—80): С1 — односторонний, с отбортовкой двух кро-

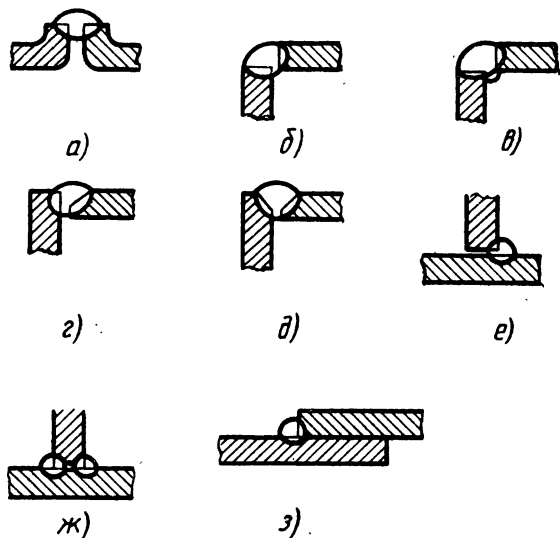


Рис. 458

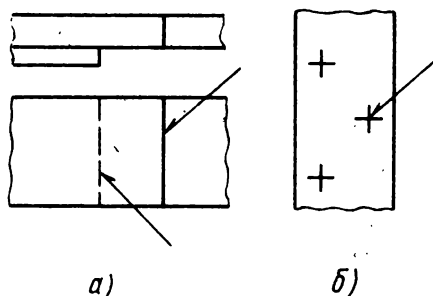


Рис. 459

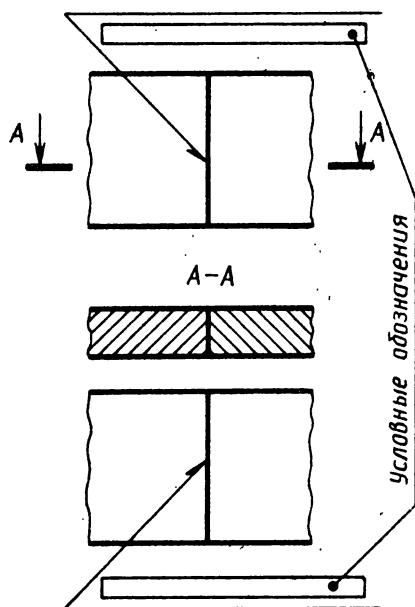


Рис. 460

мок (рис. 458, *a*); *C2* — односторонний, без скоса кромок (рис. 456, *a*); *C5* — односторонний, со скосом одной кромки (подготовка кромок показана на рис. 457, *в*); *C18* — двусторонний, со скосом двух кромок (рис. 456, *б*); *У4* — односторонний, без скоса кромок (рис. 458, *б*); *У5* — двусторонний, без скоса кромок (рис. 458, *в*); *У6* — односторонний, со скосом одной кромки (рис. 458, *г*); *У9* — односторонний, со скосом двух кромок (рис. 458, *д*); *T1* — односторонний, без скоса кромок (рис. 458, *е*); *T3* — двусторонний, без скоса кромок (рис. 458, *ж*); *H1* — односторонний, без скоса кромок, прерывистый (рис. 458, *з*).

Для дуговой сварки алюминия и алюминиевых сплавов по ГОСТ 14806—80 односторонний шов *C4* имеет кромки, показанные на рис. 457, *б*; односторонний шов *C8* имеет кромки, показанные на рис. 457, *в*; двусторонний шов *C21* имеет кромки, показанные на рис. 457, *г*. Швы *У4*, *У5*, *У6*, *T2*, *T3* имеют примерно такие же характеристики, как и рассмотренные выше швы с таким же буквенно-цифровым обозначением (рис. 458). Всего ГОСТ 14806—80 предусматривает 27 стыковых швов, 14 угловых, 12 тавровых и 5 швов внахлестку. Шов, провариваемый только с одной стороны свариваемых деталей, называют односторонним (рис. 456, *a*), а с двух сторон — двусторонним (рис. 456, *б* и *в*). Швы сварных соединений имеют лицевую и обратную сторону. Лицевой для одностороннего шва является та сторона, с которой производят сварку (рис. 456, *a*), а для двустороннего шва с несимметрично подготовленными кромками — та сторона, с которой проходит основной шов (рис. 456, *б*). Для шва с симметрично подготовленными кромками лицевой может быть любая сторона (рис. 456, *в*).

Изображение и обозначение швов сварных соединений устанавливает ГОСТ 2.312—72. Швы, независимо от их типа и способа сварки, изображают сплошной основной линией — видимый шов и штриховой — невидимый шов (рис. 459, *a*). Видимую одиночную сварную точку изображают знаком «+», который выполняют сплошными основными линиями (рис. 459, *б*). Длина вертикальной и горизонтальной линии знака берется от 5 до 10 мм. Невидимые одиночные точки не изображают. От изображения шва проводят линию-выноску, упирающуюся в шов односторонней стрелкой (рис. 460).

Условное обозначение шва наносят над полкой линии-выноски, проведенной от изображения шва с лицевой стороны. Если же линия-выноски проведена от изображения шва с обратной стороны, то обозначение наносят под полкой линии-выноски. На рис. 460 показано место обозначения шва; при этом сечение шва выно-

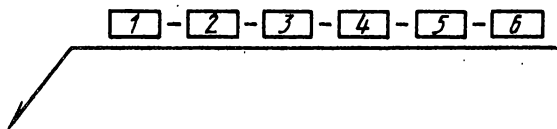


Рис. 461

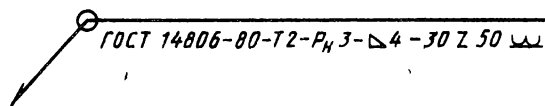


Рис. 463

сят, как показано на рис. 456, где указана лицевая сторона.

Обозначение шва сварного соединения по ГОСТ 2.312—72 (рис. 461) имеет следующую структуру: 1 — ГОСТ на типы швов и их конструктивные элементы; 2 — буквенно-цифровое обозначение шва по ГОСТу; 3 — условное обозначение способа сварки по ГОСТу (допускается не указывать); 4 — знак  $\triangle$  и размер катета шва в мм; 5 — для прерывистого шва — размер длины провариваемого участка; знак  $\diagup$  (при цепном расположении провариваемых участков, угол наклона знака  $\approx 60^\circ$ ) или знак  $Z$  (при шахматном расположении провариваемых участков) и размер шага; для точечного шва — размер расчетного диаметра точки, знак  $\diagup$  или  $Z$  и размер шага; для шва контактной шовной сварки — размер расчетной ширины шва (для прерывистого, после размера — знак умножения), размер длины провариваемого участка, знак  $\diagup$  и размер шага; 6 — вспомогательные знаки.

Стандарты устанавливают условные обозначения способов сварки. Например: П — полуавтоматическая сварка под флюсом; ШЭ — электрошлаковая сварка проволочным электродом; Кт — контактная точечная сварка; Кр — контактная роликовая сварка.

Стандартом установлены вспомогательные знаки, входящие в обозначение шва и характеризующие его:

- $\Omega$  — усиление шва снять;
- $\underbrace{\quad}$  — наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу;
- $\square$  — шов по незамкнутой линии, расположение его должно быть ясно из чертежа.

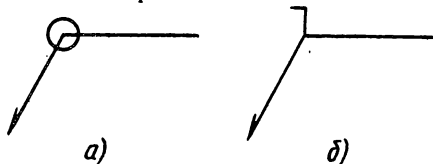


Рис. 462

Все знаки выполняются сплошными тонкими линиями и по высоте должны быть одинаковыми с цифрами, входящими в обозначение шва. На изломе линии-выноски выполняют еще два знака: знак шва, выполненного по замкнутой линии (рис. 462, а) (диаметр знака 3 ... 5 мм), и знак шва, выполненного при монтаже изделия на месте применения (рис. 462, б).

Рассмотрим пример условного обозначения шва (рис. 463). Линия-выноски проведена от оборотной стороны шва (обозначение под полкой). Обозначенный шов выполняют по замкнутой линии (см. знак на изломе линии-выноски и полки). ГОСТ определяет тип шва сварного соединения и его конструктивные элементы. Соединение деталей тавровое (Т2) выполнено ручной дуговой сваркой в защитных газах неплавящимся металлическим электродом (РнЗ), односторонним прерывистым швом с катетом 4 мм, длиной провариваемых участков 30 мм, с шахматным расположением участков

$Z$  и шагом 50 мм. Неровности и наплывы шва снимаются  $\underbrace{\quad}$ .

Для нестандартного шва на чертеже дают поперечное сечение и указывают на нем размеры конструктивных элементов шва. Допускается в обозначении шва использовать не все параметры, а только те, что указаны в п. 5, 6 структуры обозначения. На рис. 464 показано обозначение швов на сборочном чертеже сварной детали. Все обозначения проставлены к лицевой стороне шва, поэтому надпись располагается над полками линий-выносок.

Всем одинаковым швам присваивают свой порядковый номер. Его наносят: над полкой линии-выноски, проведенной с лицевой стороны, если на ней нет условного обозначения шва (№ 1, № 2); под полкой, если линия-выноски проведена от оборотной стороны шва; над линиями-выносок, имеющих полку с обозначением шва. Здесь же допускается указывать число одинаковых швов (4 шва № 1—Т3  $\triangle$  4; 2 шва № 2—Т1  $\triangle$  4  $\square$ ). На рис. 464 все швы выполняются по ГОСТ 14806—80; в этом случае стандарт указывают в технических требованиях чертежа по типу: «Сварные швы по ГОСТ 14806—80», а не в обозначении шва. Способ сварки здесь не указан.

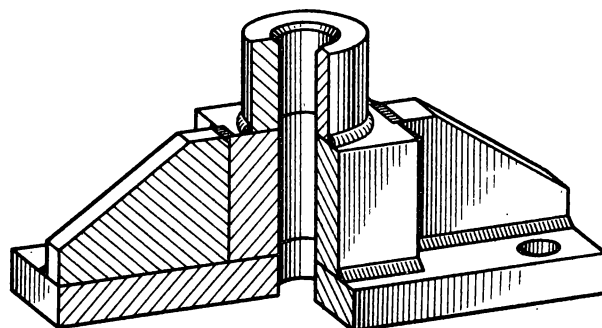
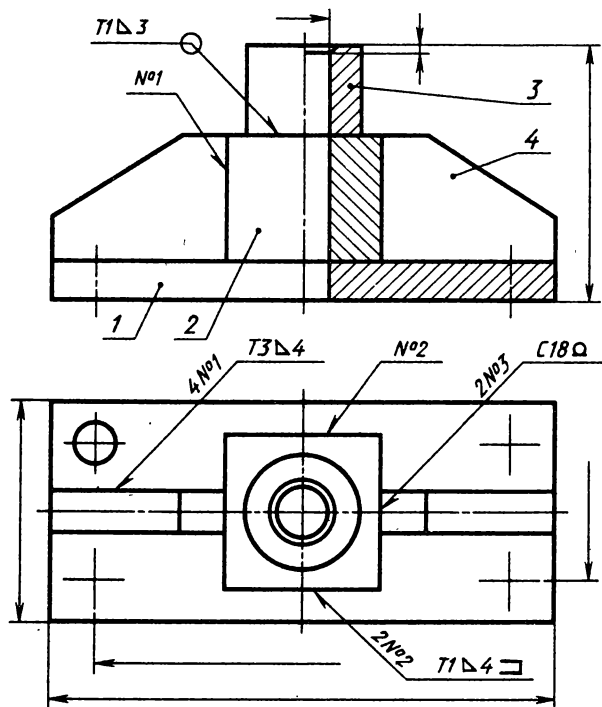


Рис. 464

Соединение заклепками применяется для неразъемного соединения деталей листового и фасонного проката.

Заклепка представляет собой цилиндрический стержень с головкой на одном конце. ГОСТ 10299—80 (СТ СЭВ 1019—78) устанавливает форму и размеры заклепок с полукруглой головкой; ГОСТ 10300—80 (СТ СЭВ 1020—78) — с потайной головкой; ГОСТ 10301—80 (СТ СЭВ 1022—78) — с полупотайной;

ГОСТ 10303—80 — с плоской головкой. На рис. 465 показаны головки перечисленных выше заклепок и приведены размеры для их упрощенного вычерчивания.

Головка, имеющаяся на заклепке, называется закладкой. Другая головка, образующаяся в процессе клепки, называется замыкающей. Длина стержня заклепки подбирается с таким запасом, чтобы можно было сформировать замыкающую головку (рис. 466). Соединяя детали заклепками, их располагают рядами.

Заклепочный шов включает в себя все ряды соединения деталей. Швы могут быть одноряд-

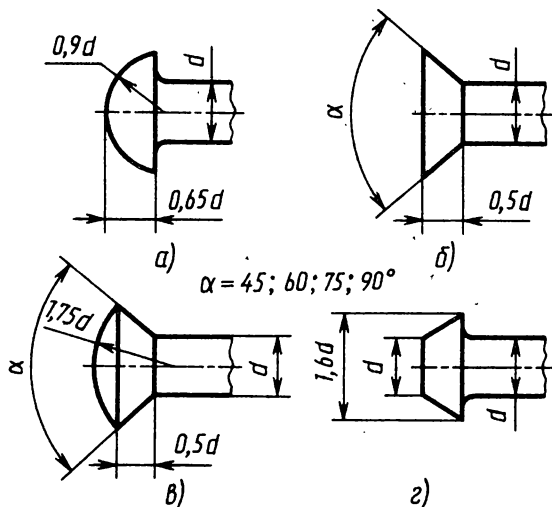


Рис. 465

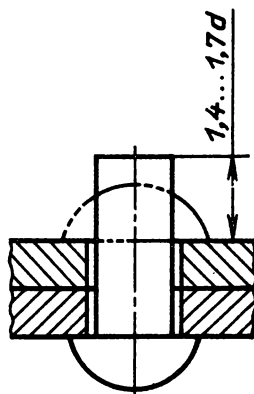


Рис. 466

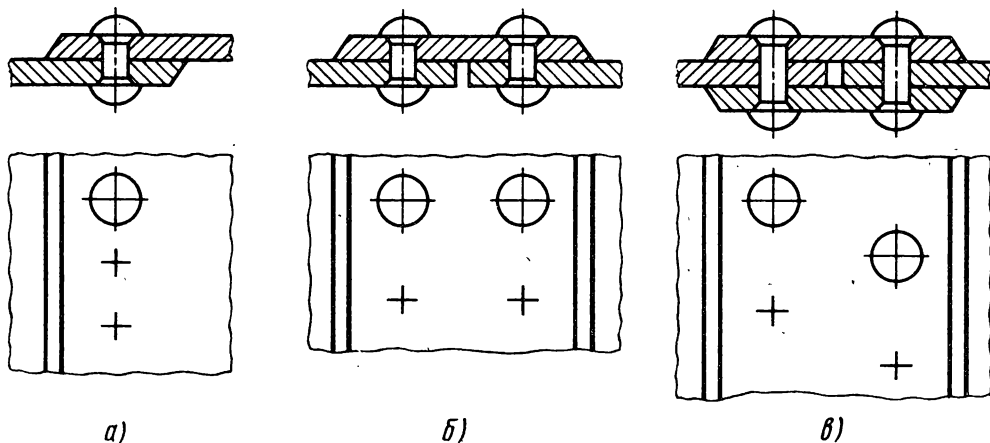


Рис. 467

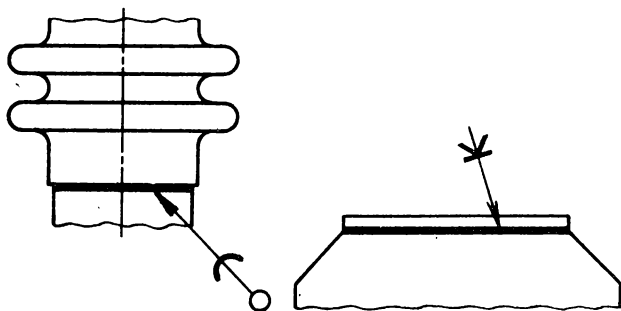


Рис. 468

Рис. 469

ными и многорядными (до пяти). Расстояние между осями заклепок одного ряда называют шагом  $t$ . Расположение заклепок разных рядов может быть параллельным или шахматным. При соединении деталей заклепками детали располагают внахлестку (рис. 467, а) и встык,

с одной или двумя накладками (рис. 467, б и в). На сборочных чертежах заклепки одного типа и одинаковых размеров показывают в одном-двух местах условно, а остальные места их расположения отмечают центровыми или осевыми линиями. На учебных чертежах вместо условного изображения одной-двух заклепок показывают их упрощенное изображение (рис. 467).

Соединения паяные и клееные. Место соединения элементов показывают на чертежах сплошной линией толщиной  $2s$  (рис. 468, 469). Для их обозначения применяют условные знаки, которые наносят на линии-выноске. Знак для пайки представляет собой дугу (полуокружность), диаметр которой равен приблизительно 5 мм (рис. 468). Основная линия склеивания проводится перпендикулярно линии-выноске, а наклонные линии — под углом  $45^\circ$  (рис. 469). Высота знака приблизительно равна 5 мм. Оба знака выполняются сплошной основной линией.

## ГЛАВА XVIII

### ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Зубчатые передачи используют для передачи вращательного движения от одного вала к другому. Такую передачу можно осуществить с изменением количества оборотов одного вала относительно другого или без изменения.

Зубчатые передачи могут преобразовывать вращательное движение в поступательное и

наоборот — реечное зацепление (рис. 470).

Передача движения осуществляется с помощью зубчатых колес и реек. Зубья одного зубчатого колеса входят во впадины другого зубчатого колеса (или рейки) и давлением зуба первого зубчатого колеса на зуб второго передают вращательное движение, заставляя зуб-

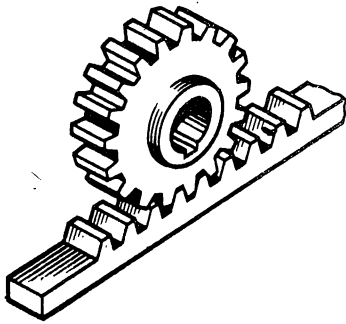


Рис. 470

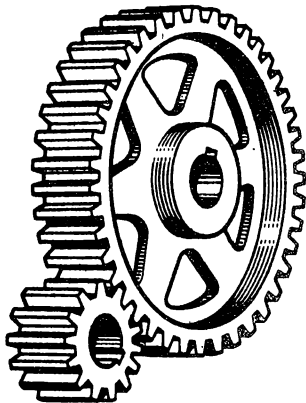


Рис. 471

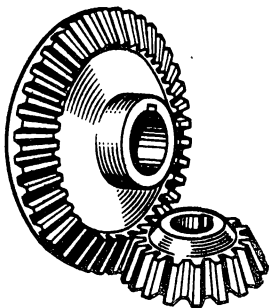


Рис. 472

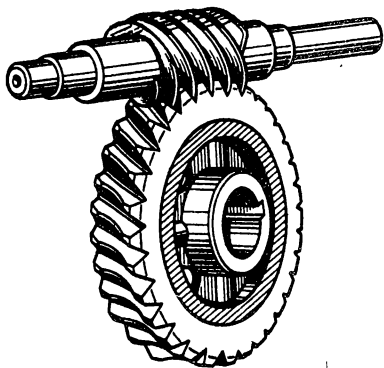


Рис. 473

чатое колесо поворачиваться. Зубчатое колесо, передающее вращение, называют ведущим, а принимающее вращение — ведомым. Большое из пары сопряженных зубчатых колес с большим числом зубьев называют зубчатым колесом, а меньшее — шестерней. Если колеса одинаковые, то шестерней называют ведущее колесо. При параллельных валах передача вращательного движения осуществляется с помощью цилиндрических зубчатых колес (рис. 471); при пересекающихся — с помощью конических зубчатых колес (рис. 472); при скрещивающихся — с помощью червячной пары: червяка и червячного колеса (рис. 473).

## § 62. ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА, ИХ ЭЛЕМЕНТЫ И ИЗОБРАЖЕНИЯ

Зуб зубчатого колеса является основным его элементом. Профиль зуба — линия, в которую проецируется боковая поверхность зуба, представляет собой эвольвенту или циклоиду. В соответствии с ГОСТ 2.402—68 (СТ СЭВ 286—76) зубья зубчатых колес на чертежах, в продольных осевых сечениях и разрезах изображают условно неразрезанными, т. е. не заштриховывают. На видах проводят окружности по выступам зубьев сплошной основной линией, а по впадинам проводят тонкой сплошной линией или не проводят совсем.

Делительная окружность  $d$  (рис. 474, 475) зубчатого колеса — один из основных параметров расчета колеса. На чертеже она, как и образующие делительного цилиндра, проводится тонкой штрихпунктирной линией. Центр этой окружности совпадает с центром колеса.

Делительная окружность делит зуб по высоте (высота зуба  $h$ ) на две неравные части: ножку  $h_f$  и головку  $h_a$  (рис. 474, 475). По делительной окружности измеряют толщину зуба  $\widehat{s}_i$ , ширину впадины  $\widehat{e}_i$  и окружной делительный шаг зацепления  $\widehat{p}_i$ .

Шагом зубчатого колеса  $\widehat{p}_i$  является расстояние между двумя одинаковыми точками двух соседних зубьев, измеренное по делительной окружности (рис. 474, б):  $\widehat{p}_i = \widehat{e}_i + \widehat{s}_i$ . Если шаг зубчатого колеса умножить на число зубьев колеса ( $z$ ), то получится длина делительной окружности ( $\widehat{p}_i \cdot z = \pi d$ ).

Отношение шага зацепления к числу  $\pi \left( \frac{\widehat{p}_i}{\pi} \right)$  называют модулем зацепления. Модуль является основным расчетным параметром зубчатых колес. Иначе модуль можно определить как часть диаметра делительной

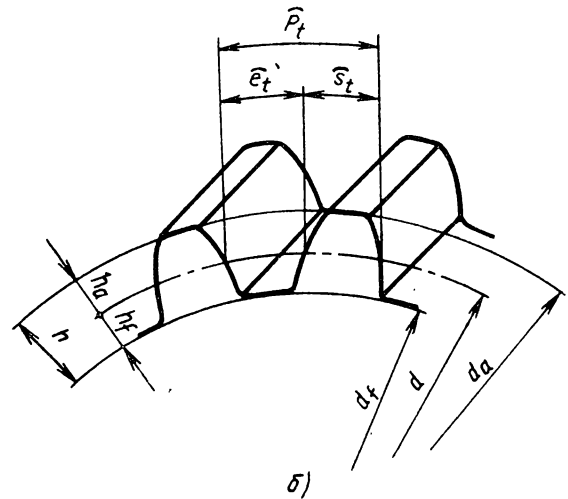
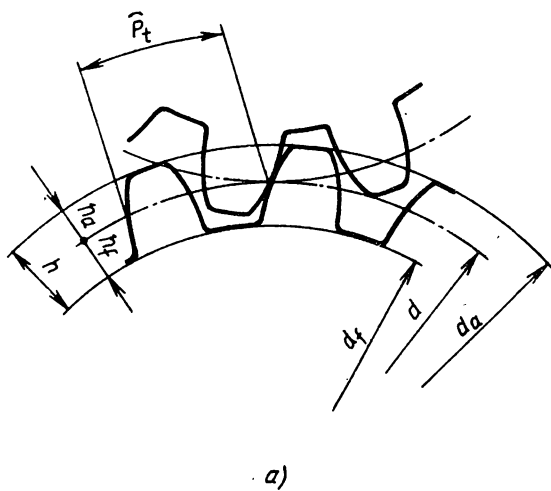


Рис. 474

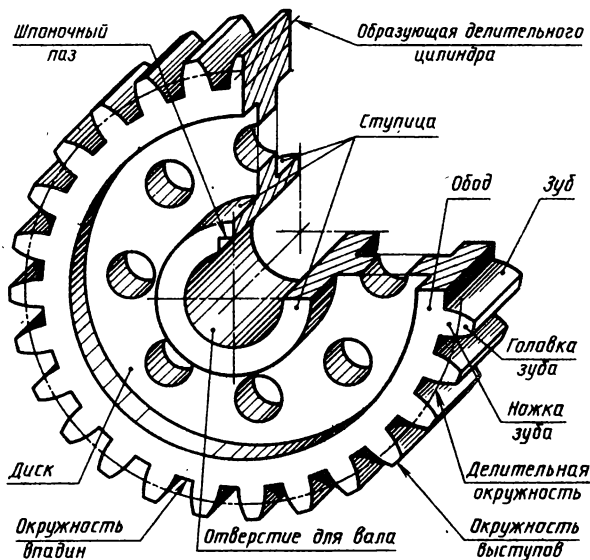


Рис. 475

ческих зубчатых колес эвольвентного профиля, не подвергавшихся корригированию\*, имеют следующие соотношения (рис. 474, 476): высота зуба колеса  $h = 2,25m$ ; высота ножки зуба  $h_f = 1,25m$ ; высота головки зуба  $h_a = m$ ; диаметр делительной окружности  $d = m \cdot z$ ; диаметр окружности выступов  $d_a = m(z + 2)$ ; диаметр окружности впадин  $d_f = d - 2,5m$ . Диаметр отверстия под вал определяют расчетом, но иногда его размер берут приближенно в зависимости от диаметра колеса. Диаметр отверстия под вал  $d_B = 0,2 d_a$ ; диаметр ступицы  $d_{ст} = (1,6 \dots 2) d_B$ . Для стальных обработанных ступиц обычно берут меньшую величину, для чугунных необработанных — большую. Длина ступицы  $l_{ст} = (1,2 \dots 1,5) d_B$  или  $1,1 \dots 1,2b$ ; длина зуба (ширина венца зубчатого колеса)  $b = 6 \dots 8 m$ ; толщина диска  $k = 0,3b$ ; толщина обода венца  $e = (2 \dots 3) m$ . Зная  $e$ , можно определить диаметр обода  $d_{об}$ . Диаметр центральной окружности облегчающих отверстий  $D = 0,5(d_{об} + d_{ст})$ , а диаметры облегчающих отверстий  $d_{отв} = 0,25(d_{об} - d_{ст})$ .

Установленная взаимная зависимость диаметров (окружность впадин, выступов и делительная окружность), модуля и количества зубьев позволяет производить необходимые расчеты при выполнении чертежей и эскизов зубчатых колес. Другие конструктивные раз-

окружности, приходящейся на один зуб, т. е.  $m = \frac{d}{z}$ . Модуль выражается в миллиметрах.

ГОСТ 9563—60 (СТ СЭВ 310—76) предусматривает два ряда модулей (табл. 16). При выборе модуля предпочтение следует отдавать модулям первого ряда.

Два колеса, находящихся в зацеплении, имеют одинаковый модуль. По модулю и количеству зубьев выбирают инструмент для изготовления зубчатого колеса.

Многие размеры зубчатых колес зависят от модуля этого колеса. Так, элементы цилиндри-

\* При изготовлении зубчатых колес, особенно с малым числом зубьев, обкаткой происходит подрезание основания зуба и вследствие этого его ослабление. Корригирование (исправление) зубчатого колеса позволяет устранить подрезание путем смещения режущего инструмента.

1-й ряд	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20
2-й ряд	1,125	1,375	1,75	2,25	2,75	3,5	4,5	5,5	7	9	11	14	18	22

меры элементов ступицы, диска и прочие приведены для справок при вычерчивании зубчатого зацепления. При детализировании или съемке эскизов с натуры эти размеры зубчатых колес берутся непосредственно с эскизируемого колеса или по чертежу.

Рабочие чертежи цилиндрических зубчатых колес выполняют в соответствии с ГОСТ 2403—75 (СТ СЭВ 859—

78). На рабочих чертежах зубчатых колес должны быть проставлены: диаметр окружности выступов, ширина зубчатого венца, размеры фасок или радиусов закругления на торцевых кромках цилиндра выступов и другие необходимые для выполнения колеса размеры. В правой верхней части чертежа помещается таблица параметров зубчатого венца колеса. Размеры таблицы и ее расположение показаны

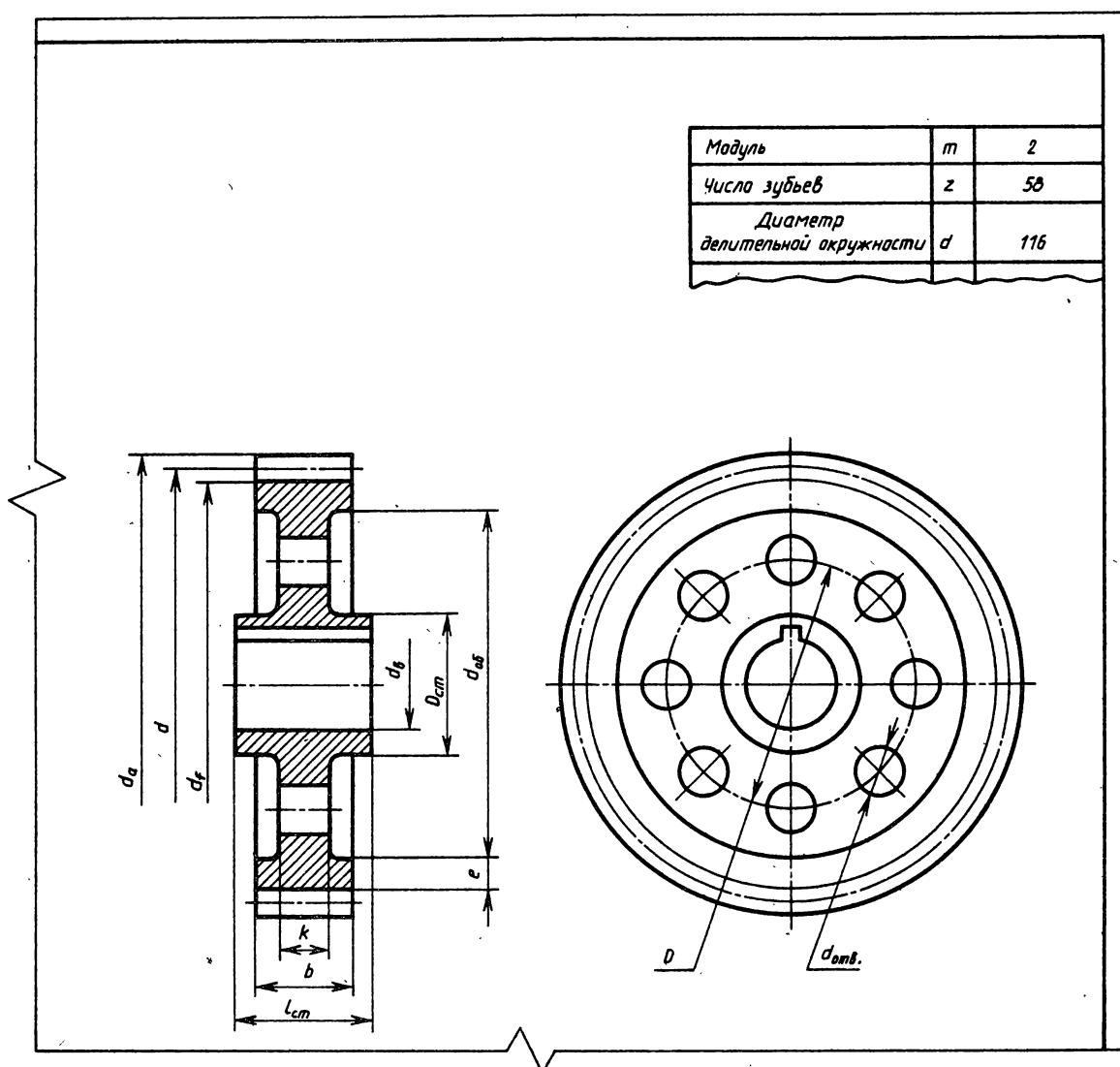


Рис. 476

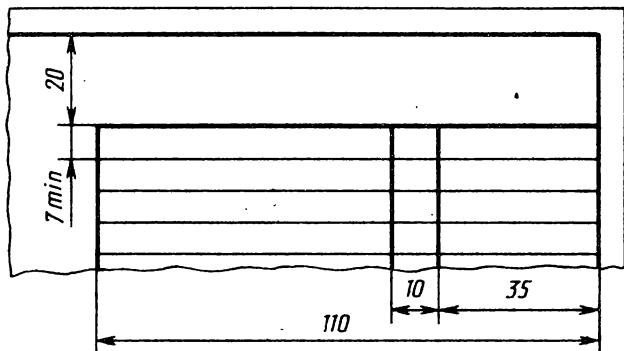


Рис. 477

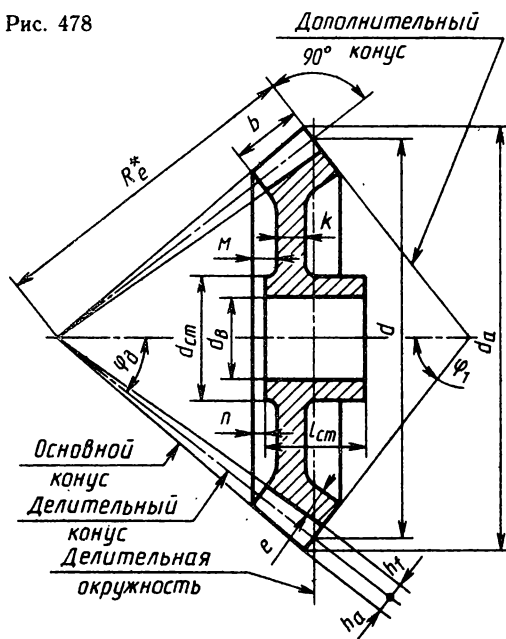
на рис. 477. В первой части таблицы помещают основные данные для изготовления зубчатого венца, во второй — для контроля, в третьей — для справок. На учебных чертежах помещают сокращенную таблицу с указанием модуля  $m$ , числа зубьев  $z$  и диаметра делительной окружности  $d$ .

### § 63. КОНИЧЕСКИЕ ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА, ИХ ЭЛЕМЕНТЫ И ИЗОБРАЖЕНИЕ

Конические зубчатые колеса изображаются с теми же условностями, что и цилиндрические. На рис. 478 показано коническое зубчатое колесо с основными расчетными размерами его элементов, определяемых по условным соотношениям. Одним из основных расчетных параметров конического зубчатого колеса является делительный конус. Его образующие проводят на чертеже (рис. 478) тонкой штрихпунктирной линией. Наружные поверхности конического зубчатого колеса ограничены поверхностью основного и дополнительного конусов. Образующие дополнительного конуса перпендикулярны образующим делительного конуса. В пересечении поверхностей дополнительного и делительного конусов образуется окружность — общее основание этих конусов. Эта окружность является делительной  $d = mz$ . Модуль  $m$  и количество зубьев  $z$  обычно задают.

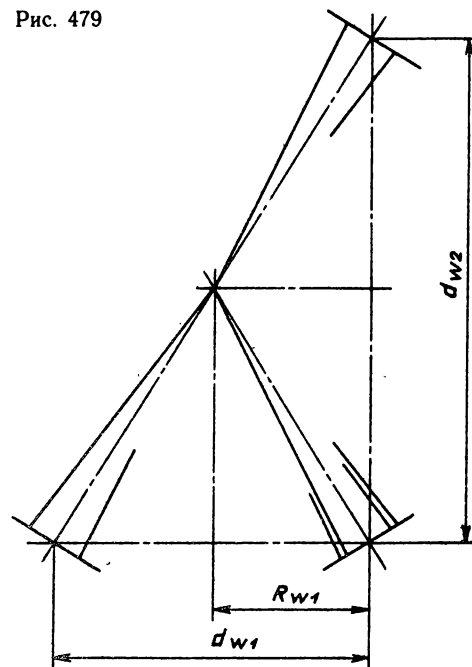
Построение чертежа конического зубчатого колеса начинают с построения делительной окружности и делительного и дополнительного конусов (рис. 478 и 479). При выполнении эскиза колеса с натуры угол  $\varphi_1$  дополнительного конуса можно измерить. Тогда  $\varphi_d = 90^\circ - \varphi_1$ . Основное конусное расстояние  $R_e = \frac{d}{2 \sin \varphi_d}$  (справочный размер).

Рис. 478



Положение вершины делительного конуса можно определить через диаметр сопряженного колеса  $\frac{d_{N_1}}{2} = R_{w1}$  (при валах, пересекающихся под прямым углом). Радиус начальной окружности колеса  $R_{w1}$  будет расстоянием от начальной окружности до вершины конуса. После построения делительного и дополнительного конусов по образующей дополнительного

Рис. 479



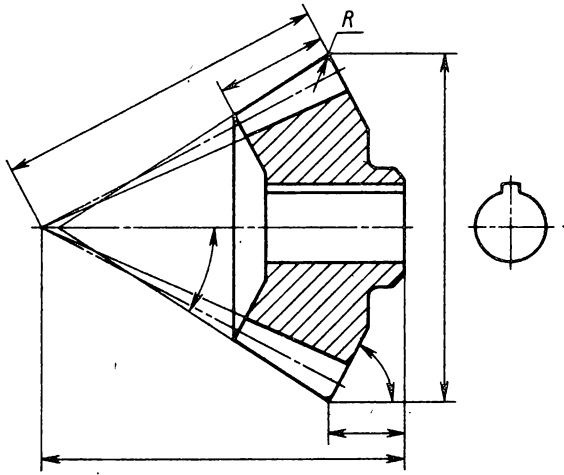


Рис. 480

конуса откладывают высоту головки и ножки зуба. Через полученные точки проводят образующие конуса выступов (основного конуса) и конуса впадин. Наибольший диаметр колеса при этом  $d_a = m(z + 2 \cos \varphi)$ . Далее строят зубчатый венец колеса, обод, диск и т. д. (рис. 478). Расстояние до диска со стороны зубьев  $M = (2 \dots 3)m$ . Выступ ступицы  $n = 0,1d_B$ . Остальные размеры элементов колеса берут по тем же соотношениям, что и для цилиндрических зубчатых колес. На рис. 478 даны обозначения этих размеров.

На рис. 480 показано изображение конического колеса с проставленными размерами зубчатого венца, которые необходимо указывать на рабочих чертежах колеса в соответствии с ГОСТ 2.405—75 (СТ СЭВ 859—78). На рабочем чертеже следует проставлять все необходимые размеры для изготовления колеса. В правом верхнем углу рабочего чертежа выполняют таблицу параметров венца зубчатого колеса (см. рис. 477). На учебных чертежах при заполнении таблицы можно ограничиться указанием модуля  $m$ , числа зубьев  $z$  и диаметра делительной окружности  $d$ . Если на чертеже не нужно выполнять вид слева, то можно ограничиться изображением отверстия со шпоночным пазом, как показано на рис. 480.

## § 64. ЧЕРВЯКИ, ЧЕРВЯЧНЫЕ КОЛЕСА, ИХ ЭЛЕМЕНТЫ И ИЗОБРАЖЕНИЯ

Червяк представляет собой винт, который можно рассматривать как шестерню, зубья которой нарезаны по винтовой линии.

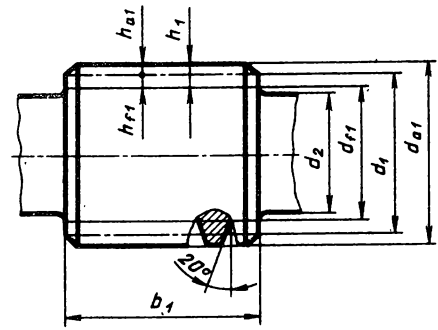


Рис. 481

Червяк с делительной поверхностью, образованной вращением прямой линии вокруг оси червяка, называют цилиндрическим червяком (рис. 481). В осевом сечении профиль зуба (витка) является прямолинейным с углом профиля  $20^\circ$ . По торцу он может быть ограничен спиралью Архимеда, эвольвентой окружности и укороченной или удлиненной эвольвентой. В зависимости от этого червяк называют: архимедовым червяком (обозначают *ЗА*); эвольвентным червяком (обозначают *ZI*); конволютным червяком (обозначают *ZNI*).

Червяк с делительной поверхностью, образованный вращением дуги окружности вокруг оси червяка, называют глобоидным червяком (рис. 482):

Червяки по направлению винтовой линии могут быть правыми и левыми, а по числу витков — однозаходными, двухзаходными и т. д. Количество заходов  $z_1$  указывают в таблице параметров. Основным параметром червяка является его осевой модуль  $m_s$ . Ему соответствует определенный коэффициент диаметра червяка ( $q$ ), значение которого выбирают по ГОСТ 2144—76 (СТ СЭВ 221—75, СТ СЭВ 267—76, СТ СЭВ 2820—80). Диаметр делительной окружности червяка  $d_1 = m_s q$  (рис. 481). Высота зуба червяка  $h_1 = 2,2m_s$ .

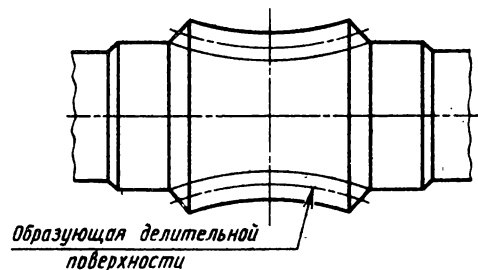


Рис. 482

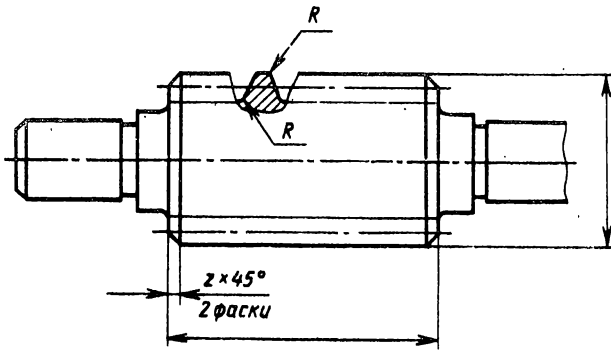


Рис. 483

Высота головки  $h_{a1} = m_s$ , а высота ножки  $h_{f1} = 1,2m_s$ . Диаметр цилиндра выступов червяка  $d_{a1} = d_1 + 2m_s$ , а диаметр цилиндра впадин  $d_{s1} = d_1 - 2,4m_s$ . Длина нарезанной части червяка  $b_1 \geq (11 + 0,06z_2)m$ . Диаметр вала червяка  $d_2 = 0,9d_{f1}$ . На рабочем чертеже червяка помещают таблицу параметров (см. рис. 477).

На рис. 483 показано изображение нарезанной части архимедова цилиндрического червяка с нанесенными размерными линиями для тех размеров, которые необходимо проставить на рабочем чертеже согласно ГОСТ 2.406—76 (СТ СЭВ 859—78). На чертеже должны быть проставлены и все другие размеры, необходимые для изготовления червяка, и помещена таблица параметров червяка. На учебных чертежах при заполнении таблицы можно ограничиться указанием осевого модуля  $m_s$ , числа заходов  $z_1$  и типа червяка.

При выполнении эскиза червяка с натурой размеры определяют измерением, используя также соотношения размеров его основных параметров, о которых было сказано выше. На рис. 481 обозначены размеры основных элементов червяка, которые берутся в зависимости от величины модуля  $m_s$ . Коэффициент диаметра червяка ( $q$ ) может быть выбран по табл. 17.

17. Коэффициент диаметра червяка ( $q$ ) для различных модулей

$m$	8	10	12	5	16	20
1					+	+
1,25					+	+
1,6		+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+
2,5	+	+	+	+	+	+
3,15	+	+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+	+
5	+	+	+	+	+	+

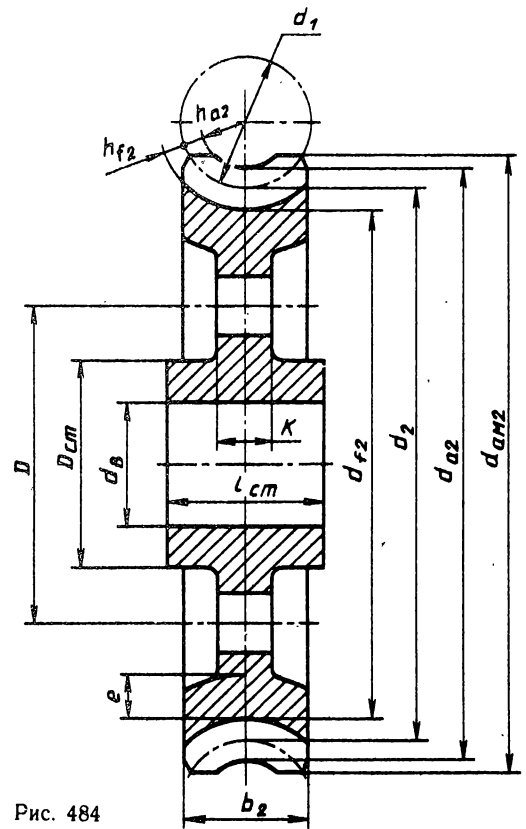


Рис. 484

Червячное колесо входит в зацепление с червяком. Обозначения основных размеров элементов червячного колеса показаны на рис. 484. Измерение расчетных диаметров ( $d_{a2}$ ,  $d_{f2}$  и  $d_2$ ) производят в плоскости симметрии колеса в средней плоскости венца перпендикулярно его оси. Делительный диаметр колеса  $d_2 = mz_2$ , где  $z_2$  — число зубьев червячного колеса. Диаметр выступов  $d_{a2} = d_2 + 2m$ . Зубья червячного колеса направлены по дуге, центр которой совпадает с осью червяка. Высота зуба  $h$  червячного колеса  $2,2m$ . Высота головки  $h_a = m$ , а высота ножки  $h_f = 1,2m$ . Наружный диаметр червячного колеса  $d_{H2} = d_2 + 3m$ . Толщина обода  $e = 2,2m$ . Остальные размеры ступицы, диска можно брать по тем же соотношениям, что и у цилиндрических зубчатых колес.

На рабочем чертеже червячного зубчатого колеса проставляют согласно ГОСТ 2.406—76 диаметр окружности выступов в средней плоскости венца; наибольший диаметр зубчатого венца; ширину зубчатого венца; расстояние от средней плоскости до базового торца и данные, определяющие внешний контур зубчатого венца, а также все другие размеры, необходимые для изготовления колеса.

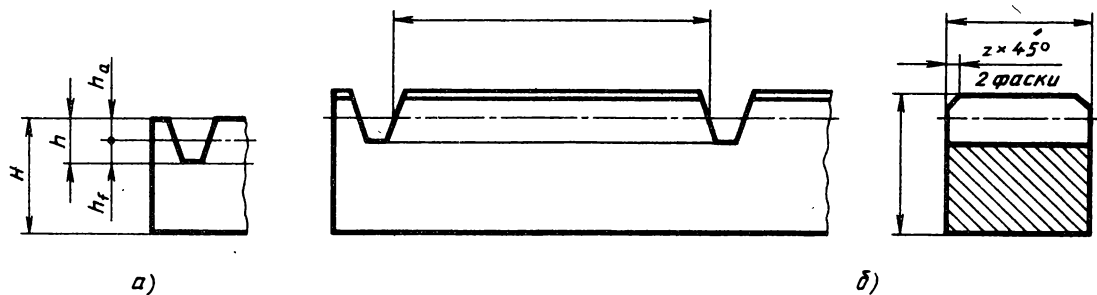


Рис. 485

### § 65. РЕЙКИ, ИХ ЭЛЕМЕНТЫ И ИЗОБРАЖЕНИЕ

Зубчатые элементы рейки показывают на чертеже с теми же условностями, что и зубчатые элементы цилиндрического зубчатого колеса. Размеры зуба относительно модуля такие же, как у цилиндрического колеса (рис. 485, а). Делительная поверхность является здесь плоскостью и также делит зуб по высоте на ножку ( $h_f=1,25m$ ) и головку ( $h_a=m$ ). Высота зуба  $h=2,25m$ . Высоту рейки ( $H$ ) берут не меньше  $2h$ . Профиль зуба прямолинейный. Изображение рейки для рабочего чертежа показано на рис. 485, б, где изображены размерные линии для размеров, которые нужно поставить на чертеже рейки согласно ГОСТ 2.404—75 (СТ СЭВ 859—78). При выполнении рабочего чертежа рейки следует проставлять и все другие размеры, которые необходимы для ее изготовления.

### § 66. ИЗОБРАЖЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

При изображении зубчатых передач на чертеже по ГОСТ 2.402—68 (СТ СЭВ 286—76) показывают не делительные, а начальные окружности, так как при нормальном эквивалентном зацеплении делительные ( $d$ ) и начальные ( $d_w$ ) окружности совпадают ( $d=d_w$ ). Поэтому все приведенные выше расчеты для построения делительных окружностей, цилиндров и конусов можно применять и при построении зубчатых зацеплений на учебных чертежах для начальных окружностей, начальных цилиндров и начальных конусов.

Цилиндрическая зубчатая передача образуется парой цилиндрических зубчатых колес, находящихся в зацеплении. Для изображения передачи задают модуль  $m$  и число зубьев первого ( $z_1$ ) и второго ( $z_2$ ) колеса:

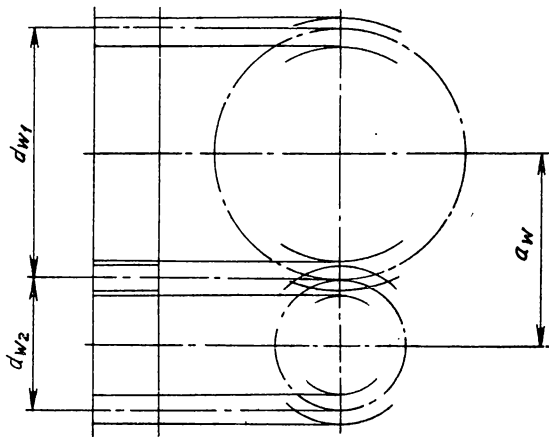
Прежде чем приступить к выполнению изображения передачи, подсчитывают диаметры начальных окружностей:  $d_{w1}=mz_1$  и  $d_{w2}=mz_2$ . Затем на чертеже проводят центровые линии начальных окружностей (рис. 486, а) на расстоянии, равном сумме их радиусов, так как начальные окружности должны касаться

$$\left( a_w = \frac{d_{w1}}{2} + \frac{d_{w2}}{2} \right).$$

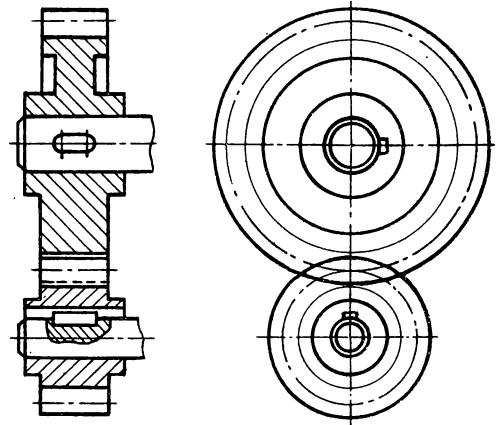
На месте главного вида выполняют разрез. Для его построения проводят линии проекционной связи, получая образующие начальных цилиндров на разрезе. На этих образующих строят длину зуба  $b$  (см. параметры цилиндрического зубчатого колеса). Затем проводят окружности впадин и выступов и по ним с помощью линий проекционной связи строят очертание зубьев на разрезе сплошной основной линией.

Далее построение колес ведется по соотношениям, описанным выше. В зоне зацепления зуб ведущего колеса в продольном разрезе вычерчивают перед зубом сопряженного колеса. Окружности по вершинам зубьев на виде слева в зоне зацепления проводят сплошными основными линиями (рис. 486, б). Между впадинами зубьев одного колеса и выступами зубьев другого колеса образуется зазор, равный  $0,25m$ , так как высота головки на  $0,25m$  меньше, чем высота ножки.

Коническая зубчатая передача образуется двумя коническими зубчатыми колесами, находящимися в зацеплении (рис. 487). Для ее изображения задают модуль  $m$  и число зубьев первого ( $z_1$ ) и второго ( $z_2$ ) колеса. По этим основным параметрам определяют диаметры больших оснований начальных конусов ( $d_{w1}=mz_1$  и  $d_{w2}=mz_2$ ).



a)



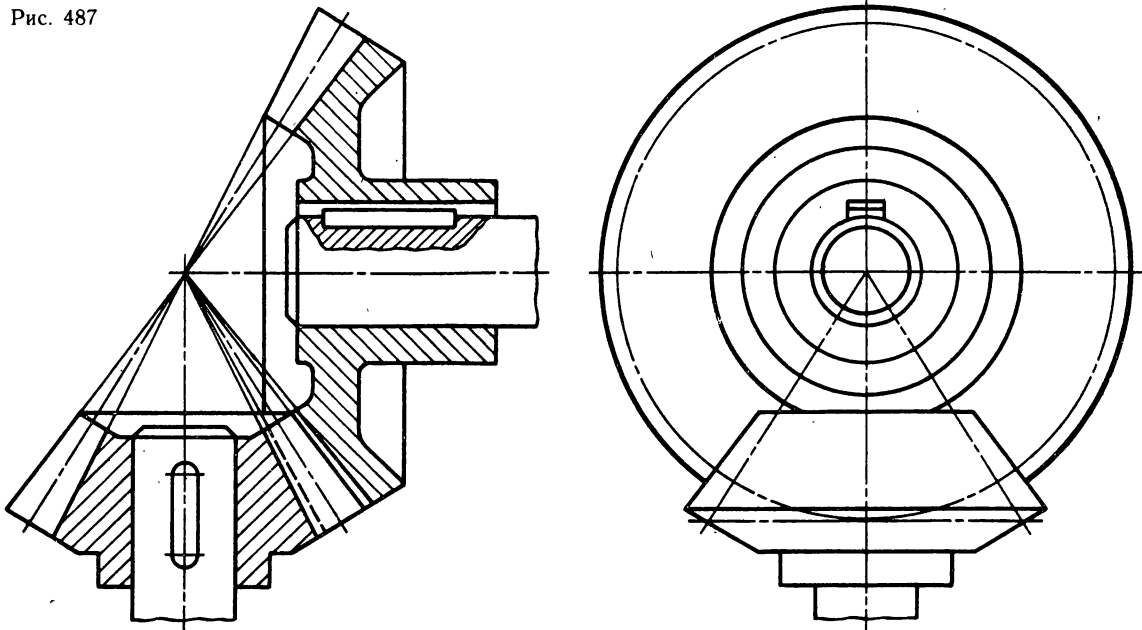
б)

Рис. 486

Для построения главного изображения зацепления (см. рис. 479) проводят две взаимно перпендикулярные линии и от точек их пересечения на горизонтальной линии откладывают диаметр  $d_{w1}$ , а на вертикальной —  $d_{w2}$ . Затем через середины построенных диаметров проводят осевые линии начальных конусов перпендикулярно диаметрам до пересечения в точке, которая будет вершиной двух начальных конусов. Через вершину конуса и концы диаметров проводят образующие начальных конусов. На виде

слева контур горизонтального начального конуса проецируется в окружность, а вертикального — в равнобедренный треугольник. При этом окружность будет касаться основания треугольника. Далее через концы диаметров, перпендикулярно образующим начальных конусов, проводят образующие дополнительных конусов и на них от точки пересечения с образующими начальных конусов откладывают высоту ножки и высоту головки зубьев. Построенные точки соединяют с вершиной начальных конусов, по-

Рис. 487



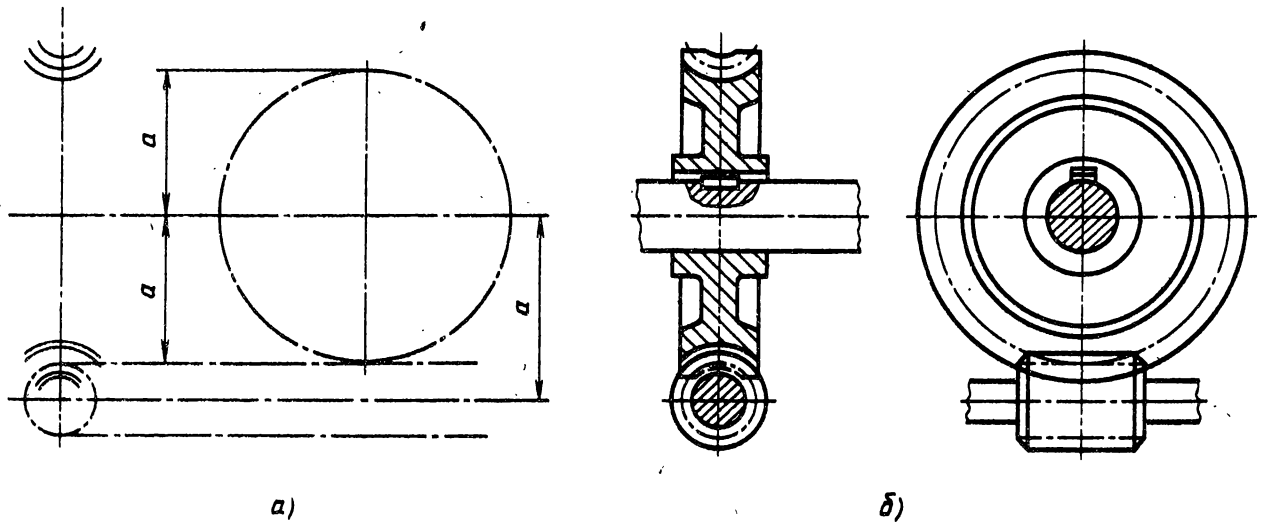


Рис. 488

лучая конусы впадин и конусы выступов. Далее построение каждого колеса ведется, как описано выше (см. рис. 478).

Червячная зубчатая передача состоит из червяка и червячного колеса, находящихся в зацеплении (рис. 488). Для выполнения чертежа червячной передачи задают модуль  $m$ , коэффициент  $q$  диаметра червяка и число зубьев  $z_2$  червячного колеса. Определив диаметры начальных окружностей червяка ( $d_{w1} = mq$ ) и червячного колеса ( $d_{w2} = mz_2$ ), проводят осевые линии червяка и колеса на расстоянии

$a = \frac{d_{w1}}{2} + \frac{d_{w2}}{2}$ . Для выполнения фронтального разреза на месте главного вида проводят вертикальную ось симметрии червячного колеса и червяка, а на виде слева — вертикальную центровую линию колеса. Из точки пересечения осевой линии червяка с осью симметрии на фронтальном разрезе проводят начальную окружность червяка и строят образующие начального цилиндра червяка на виде слева. Здесь же проводят начальную окружность червячного колеса так, чтобы она касалась образующей начального цилиндра червяка, и проецируют ее на вертикальную ось симметрии фронтального разреза. От полученных точек откладывают высоту головки и ножки зуба и строят очертания зубьев колеса и червяка на разрезе и на виде слева. На разрезе виток червяка показывают перед зубом колеса. В зоне зацепления на разрезе между окружностью впадин червяка и окружностью выступов колеса, а также между окружностью выступов червяка и окружностью впадин колеса образуется зазор, равный  $0,2m$ :

На виде слева очерковые линии колеса и червяка в зоне зацепления проводят сплошными основными линиями.

Примеры выполнения зубчатых передач рассмотрены также в «Сборнике заданий по черчению» Р.С. Мироновой, Б.Г. Миронова (см. приложение 2).

Реечное зацепление состоит из рейки и цилиндрического зубчатого колеса, находящихся в зацеплении (рис. 489). Для выполнения чертежа реечного зацепления задают модуль  $m$ , число зубьев  $z$  цилиндрического зубчатого колеса и размеры рейки. Зубчатое колесо вычерчивают, как описано выше. Рейку вычерчивают (рис. 489) таким образом, чтобы ее начальная плоскость на виде касалась начальной окружности колеса. На разрезе, в зоне зацепления, начальная плоскость рейки совпадает с образующей начального цилиндра колеса. Зубья рейки и колеса образуют зазор, равный  $0,25m$ . На виде в зоне зацепления окружность выступов колеса и плоскость выступов рейки проводят сплошными основными линиями.

Рис. 489

### § 67. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЧЕРТЕЖАМ ДЕТАЛЕЙ

Общие требования к чертежам определяет ГОСТ 2.109—73 (СТ СЭВ 858—78, СТ СЭВ 1182—78, СТ СЭВ 4769—84, СТ СЭВ 5045—85). На каждое изделие выполняется отдельный чертеж. Исключение составляют изделия, на которые выполняют групповой чертеж. На каждом чертеже помещают основную надпись (ГОСТ 2.104—68). На учебных чертежах выполняют упрощенные основные надписи.

Наименование изделия в основной надписи должно соответствовать принятой терминологии, быть кратким и иметь прямой порядок слов, например, «Гайка специальная», «Втулка сальниковая». Чертеж должен давать полное представление о форме и размерах изображаемой детали. Он является основным документом, по которому деталь изготавливают и по которому осуществляют ее контроль. Деталь изображают на чертеже «готовой», т. е. такой, какой она поступает на сборку.

Чертежи деталей, изготавливаемых гибкой. Обычно для таких деталей выполняют развертку, но если на чертеже форма и размеры всех элементов детали определены полностью, то развертку на чертеже не изображают и длину развертки не приводят (рис. 490). Если на изображении такой детали форма и размеры отдельных ее элементов не выявляются полностью, то на чертеже выполняют полную или частичную развертку, а над ее изображением выполняют надпись: «Развертка» (рис. 491). При необходимости на развертках проводят линии сгиба штрихпунктирной линией с двумя точками (рис. 491). Допускается выполнять часть развертки, совмещая ее с видом детали (рис. 492), если это не нарушает ясности чертежа.

Чертежи деталей, изготавливаемых путем резки заготовок на части, выполняют в окончательном виде, а изображение заготовки не показывают (рис. 493), если эти части взаимозаменяемые. Если же резанные части детали обрабатывают и используют только все вместе, то на них выполняют один чертеж (рис. 494).

Чертежи деталей, изготавливаемых из материалов, имеющих лицевую и оборотную стороны, могут содержать

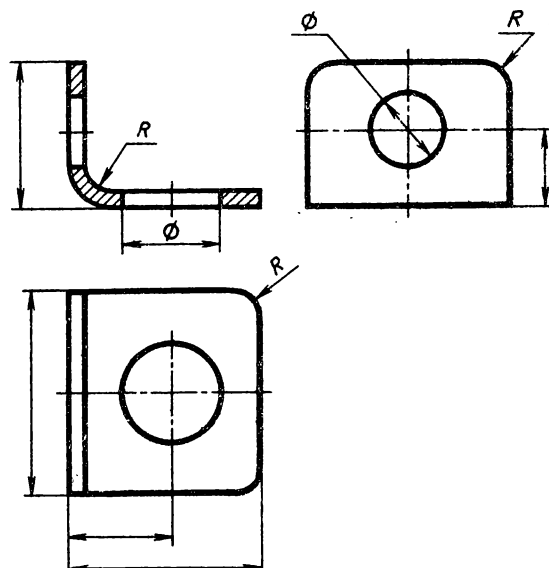


Рис. 490

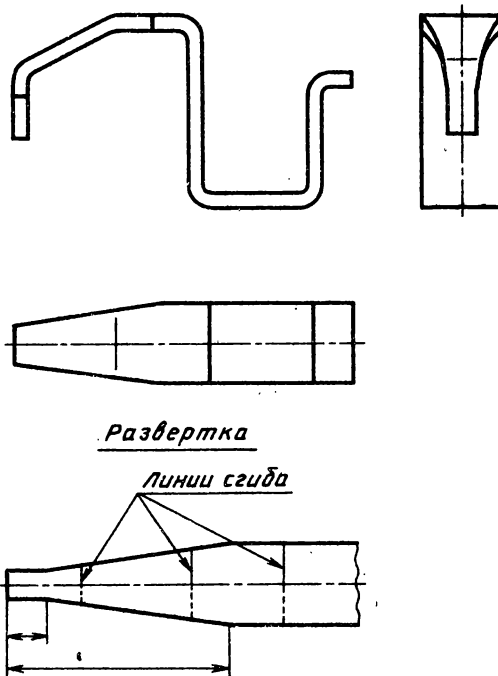


Рис. 491

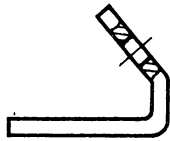


Рис. 492

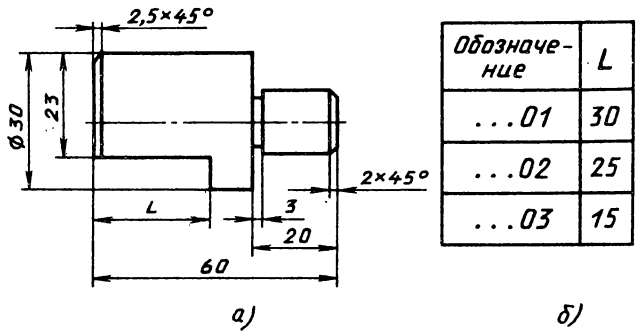
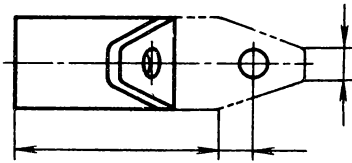


Рис. 497

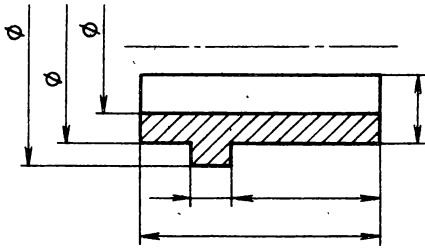


Рис. 493

A-A

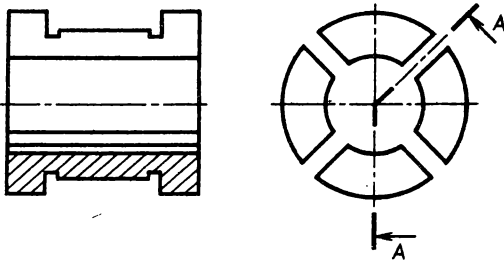


Рис. 494

Лицевая сторона

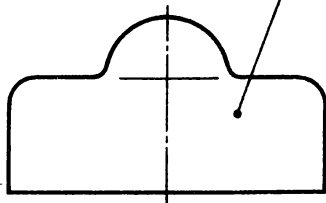


Рис. 495

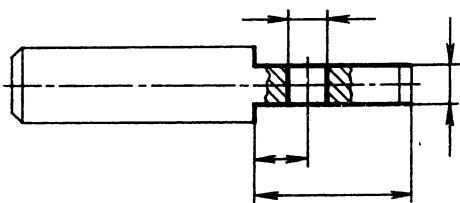


Рис. 496

надпись над полкой линии-выноски: «Лицевая сторона» (рис. 495).

Детали из прозрачных материалов изображают как непрозрачные. Если с обратной от наблюдателя стороны на такой детали выполнены надписи (цифры, знаки и т. п.), то они изображаются видимыми.

Чертежи деталей, изготовляемых дополнительной обработкой уже имеющейся детали-заготовки, выполняют по следующим правилам. На чертеже деталь-заготовку показывают сплошными тонкими линиями, а элементы, полученные при обработке, — сплошными основными линиями. На чертеже наносят только те размеры и параметры, которые необходимы для дополнительной обработки. На рис. 496 показан стандартный цилиндрический штифт, взятый в качестве детали-заготовки и подвергнутый дополнительной обработке. В графе «Материал» основной надписи записывают: «Заготовка» и обозначают ее, например, «Заготовка. Штифт 12×60 ГОСТ 3128—70».

Групповые чертежи регламентирует ГОСТ 2.113—75 (СТ СЭВ 1179—78). На рис. 497 приведен пример выполнения чертежа на группу деталей, имеющих одинаковую конструкцию и отличающихся друг от друга размером лыски. На рис. 497, а показано основное исполнение детали и буквой отмечена переменная величина. В таблице, которая выполняется на поле чертежа ниже основного изображения, приводят числовые значения переменных величин (рис. 497, б).

## § 68. НАНЕСЕНИЕ РАЗМЕРОВ

Правила нанесения размеров были рассмотрены в § 7. К вышесказанному следует добавить некоторые сведения об общих требованиях к размерной характеристике детали. Группа основных размеров детали — это размеры

детали в целом, определяемые размерами ее отдельных частей, из которых деталь состоит. Другая группа размеров — это размеры, определяющие взаимное расположение частей детали. Для измерения и проставления этих размеров на детали выбирают базу, от которой ведут отсчет. Базами для отсчета размеров могут служить установочные, направляющие, опорные и торцовые поверхности детали, ее оси симметрии.

Конструктивными базами являются базы, определяющие установку (положение) детали в собранном изделии и используемые для определения положения других элементов детали с точки зрения ее конструкции.

Технологические базы служат для ориентации детали при ее изготовлении и для привязки других элементов детали, удобной с точки зрения их изготовления.

Размеры на чертежах можно проставлять тремя способами.

**Простановка размеров цепочкой** применяется тогда, когда нужно точно получить размеры отдельных участков. В этом случае они ставятся последовательно друг за другом. Размерная цепь в этом случае не должна быть замкнута. Один из размеров цепи должен остаться свободным (рис. 498). Если же цепь замыкается, то один из размеров должен быть справочным. У размерного числа такого размера ставят знак «\*» и над основной надписью делают запись: «\*Размеры для справок» (рис. 499). Этот способ применяется редко из-за сложности соблюдения точности размеров при изготовлении детали.

**Простановка размеров координатным способом** выполняется нанесением размеров от одной и той же базы. Размер является как бы координатой, определяющей расстояние от элемента детали до базовой поверхности (рис. 500). Этот способ применяется часто, но простановка размеров от одной и той же базы не всегда удобна при изготовлении детали. Например, на рис. 500 на изображении детали размер до центра отверстия и размер длины левого цилиндра проставлены неудачно, так как измерять эти размеры от правого торца при изготовлении детали неудобно.

**Простановка размеров комбинированным способом** является наиболее удобной. Она позволяет использовать конструктивные и технологические базы при нанесении размеров, создает удобство при измерении размеров и обеспечивает выполнение задаваемых размеров при изготовлении детали с достаточной степенью точности (рис. 501). На учебных чертежах предпочтителен комбинированный способ нанесения размеров с учетом технологии изготовления детали (рис. 502), с использованием вспомогательных размерных баз.

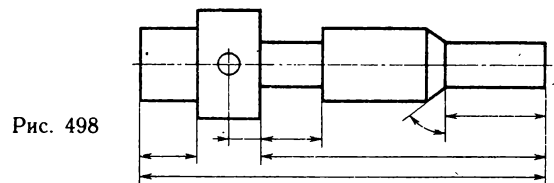


Рис. 498

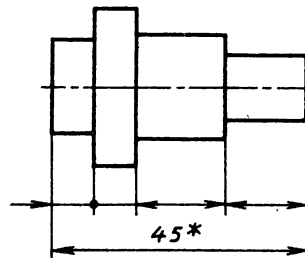


Рис. 499

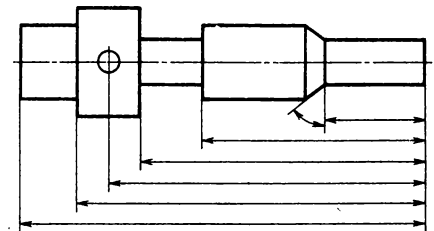


Рис. 500

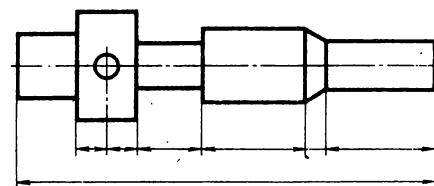


Рис. 501

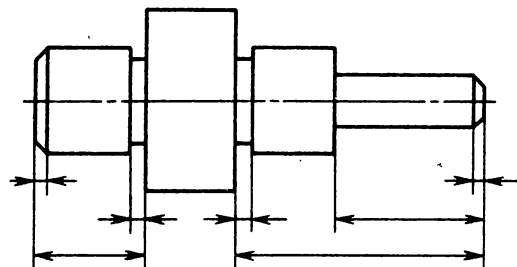


Рис. 502

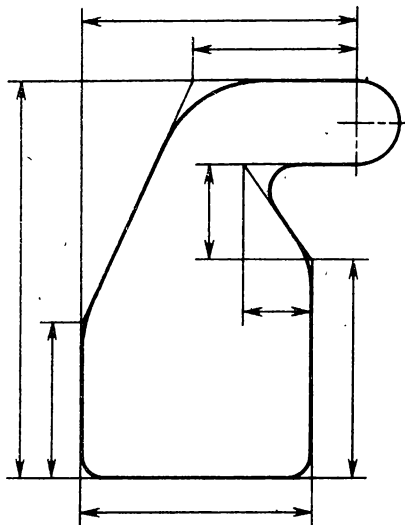


Рис. 503

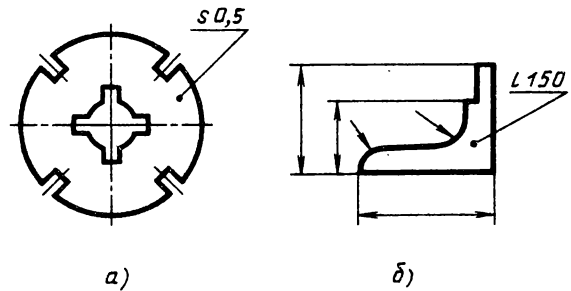


Рис. 505

которой удобно отсчитывать размеры обрабатываемых поверхностей (рис. 504, размеры  $B$  и  $B'$ ).

Для деталей, изображенных на чертеже одним видом, толщину и длину показывают надписью:  $s 0,5$  (рис. 505,  $a$ );  $L 150$  (рис. 505,  $b$ ).

## § 69. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ

На изображении деталей с плавными переходами размеры проставляют, продляя их прямолинейные участки тонкими прямыми линиями и фиксируя получаемые точки пересечения этих линий (рис. 503).

На деталях, изготавливаемых литьем и горячей штамповкой, следует ставить размеры так, чтобы только один размер (рис. 504, размер  $A$ ) связывал обработанную поверхность (основную или конструктивную базу) с необработанной (литейной или технологической базой). За литейную базу обычно принимают поверхность торца любой детали, от которой удобно отсчитывать размеры при изготовлении литейной формы. От нее и ставят размеры до необработанных поверхностей (размеры  $\Gamma$  и  $D$ ). Размер  $E$  на рис. 504 поставлен с использованием вспомогательной базы. За основную базу принимают обработанную поверхность детали, от

Размер, проставляемый на чертеже, называется номинальным размером. При изготовлении детали точно получить номинальный размер невозможно. Если измерить диаметры нескольких одинаковых изготовленных деталей, например валиков, выполненных по одному и тому же чертежу с одним и тем же номинальным размером диаметра, то все полученные размеры будут в какой-то степени отличаться друг от друга. Размеры детали, установленные в результате измерения, называются действительными размерами.

На точность изготовления влияют такие факторы, как точность установки инструмента, температурные условия, вибрация, точность изготовления оборудования и т. п. Учитывая это, конструктор задает на чертеже не только номинальный размер, но и ограничивает допустимые предельные отклонения от этого размера. Фактически на чертеже проставляют два допустимых размера. Например, размер  $\varnothing 85 \pm 0,011$  указывает, что детали, имеющие диаметр более 85,011 мм и менее 84,989 мм, будут непригодными. Бóльший размер (85,011) называют *наибольшим предельным размером* ( $d_{нб}$ ), а меньший (84,989) — *наименьшим предельным размером* ( $d_{нм}$ ). Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами называется допуском, который обозначается буквой  $T$  ( $T = d_{нб} - d_{нм}$ ).

Предельные размеры записывают на чертеже предельными отклонениями от номинального размера. Верхнее предельное отклонение  $ES(es)$  — это разность между верхним предельным и номинальным размерами:

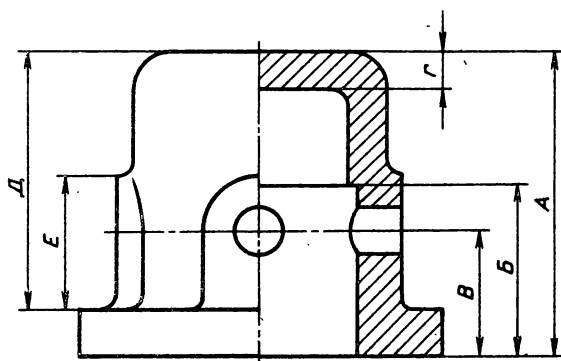


Рис. 504

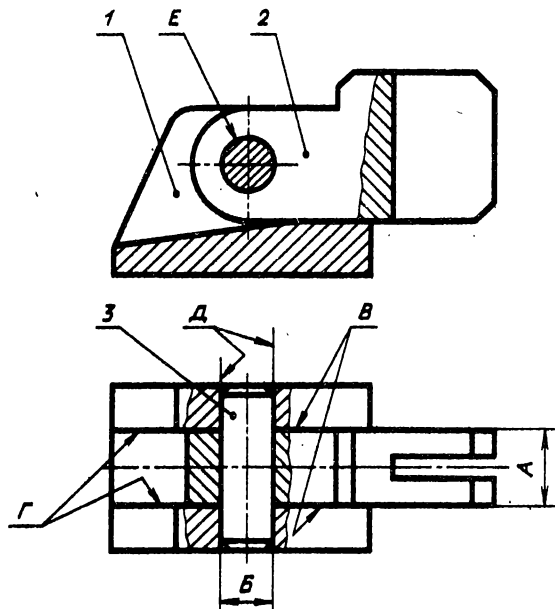


Рис. 506

$ES(es) = D_{\text{нв}}(d_{\text{нв}}) - D(d)$ . В приведенном выше примере оно равно  $+0,011$ . Нижнее предельное отклонение  $EI(ei)$  — разность между наименьшим предельным и номинальным размерами:  $EI(ei) = D_{\text{нм}}(d_{\text{нм}}) - D(d)$ . Если верхнее ( $\varnothing 40_{-0,016}$ ) или нижнее ( $\varnothing 48^{+0,039}$ ) отклонение равно нулю, то наибольшим или наименьшим предельным размером будет номинальный размер. В первом случае наибольший предельный размер равен 40, т. е. номинальному размеру, а наименьший — 39,084. Во втором случае наибольший предельный размер равен 48,039, а наименьший 48, т. е. номинальному размеру. Особой точности требует выполнение размеров сопрягаемых поверхностей, т. е. таких, которыми две разные детали соприкасаются. На рис. 506 такими размерами являются размеры А и Б. При соединении двух деталей различают охватываемые и охватывающие поверхности. Охватываемую поверхность условно называют валом, а охватывающую — отверстием. На рис. 506 охватывающие поверхности отмечены буквами Г и Д, а охватываемые — В и Е.

Характер соединения двух деталей, определяемый соотношением охватываемого и охватывающего размеров, называют посадкой. Посадки могут быть подвижными, неподвижными и переходными.

Подвижные посадки обеспечивают свободное перемещение деталей относительно друг друга. Диаметр отверстия  $D$  при этом

больше диаметра вала  $d$ , т. е. соединение имеет гарантированный зазор  $S = D - d$ .

Неподвижные посадки обеспечивают неподвижность соединения деталей. Диаметр отверстия при этом меньше диаметра вала ( $D < d$ ), т. е. соединение имеет гарантированный натяг ( $N$ ). Натягом называют разность размеров диаметра вала и диаметра отверстия до сборки ( $N = d - D$ ). Величина натяга обеспечивает разную степень неподвижности деталей.

Переходные посадки находятся на границе с подвижными и неподвижными посадками. Посадки в этом случае могут осуществляться как с наименьшими зазорами, так и с наименьшими натягами. Неподвижность соединения деталей при таких посадках обеспечивается применением дополнительных фиксирующих деталей (винтов, штифтов, шпонок).

При соединении двух деталей посадка может быть осуществлена за счет разности размеров вала при неизменном размере отверстий и наоборот — за счет разности размеров отверстий при неизменном размере вала. Это определяет две системы посадок: систему отверстия и систему вала.

В системе отверстия с отверстием ( $H$ ) соединяют различные валы, получая тем самым необходимые зазоры и натяги. В системе вала посадки получают, соединяя различные отверстия с основным валом ( $h$ ). На рис. 506 стандартный цилиндрический штифт 3, имеющий заданные стандартные размеры, использован в качестве оси прижима 2. Посадка штифта осуществлена в системе вала. Отверстие в прижиме 2 обработано с такими допусками, которые обеспечивают зазор, а в стойке 1 допуск обеспечивает натяг. В результате штифт неподвижно установлен в отверстиях стойки, а прижим поворачивается на нем свободно. В системе отверстия выполнена посадка прижима в пазу стойки. Паз в стойке можно в данном случае считать основным отверстием ( $H$ ), а размеры толщины прижима (вала) следует выполнять с такими допусками, чтобы обеспечить зазор. При соединении деталей предпочтительно применять систему отверстия, так как изготовить вал требуемого размера значительно проще, чем отверстие.

ГОСТ 25346—82, ГОСТ 25347—82, ГОСТ 25348—82, ГОСТ 25349—82 устанавливают Единую систему допусков и посадок для стран — членов СЭВ (ЕСДП СЭВ). Ряды допусков разделены в этой системе на 19 квалификаций (степеней точности): 01, 0, 1, 2, 3, 4, 5 и т. д. К в а л и т е т — это совокупность рядов допусков, соответствующих одинаковой степени точности для всех номинальных размеров.

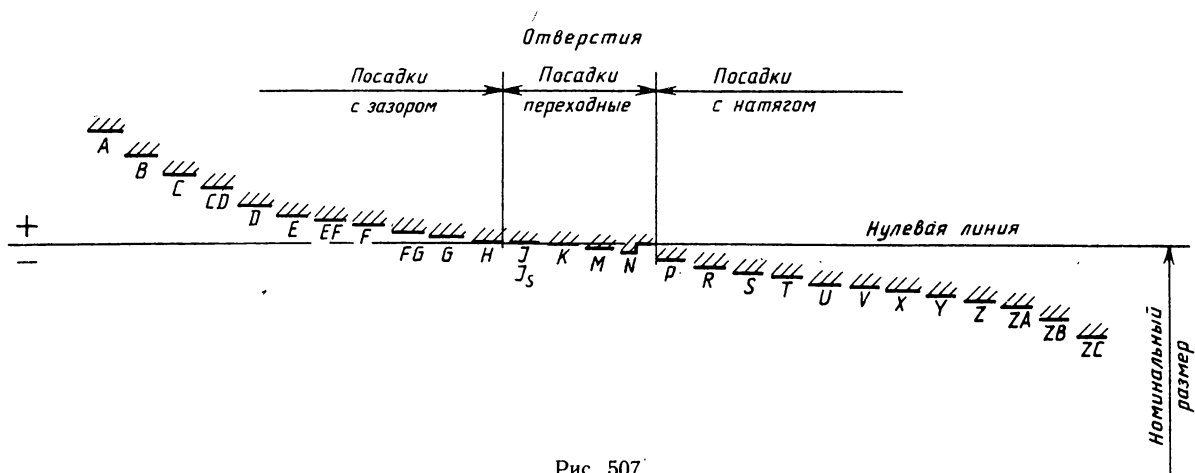


Рис. 507

Допуски на особо точные размеры (размеры в измерительных инструментах, калибрах, шаблонах и т. п.) определяют качества 01—7; на сопрягаемые размеры — качества 4—11 и для несопрягаемых размеров — качества 12—17. Характер соединения двух деталей — посадка — зависит от положения поля допуска относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру. Положение поля допуска определяется отклонением, ближайшим к нулевой линии, которое называется основным отклонением. В ЕСДП СЭВ основные отклонения обозначают буквами латинского алфавита: для отверстия — прописными, для валов — строчными (рис. 507, 508). В системе отверстия нижнее предельное отклонение размера основного отверстия равно нулю и обозначается буквой H. В системе вала верхнее предельное отклонение размера основного вала равно нулю и обозначается буквой h. Условные обозначения полей допусков состоят из букв, обозначающих основные отклонения, и цифр,

соответствующих номерам качеств (g6, h8, H6, Js6).

Предельные отклонения на чертежах указывают тремя способами: условными обозначениями полей допусков (20H7;  $\phi 22f7$ ); или числовыми значениями предельных отклонений ( $20^{+0,021}$ ;  $\phi 22_{-0,020}^{-0,041}$ ); или смешанным способом ( $20H7^{+0,021}$ ). При нанесении предельных отклонений числовыми значениями верхнее отклонение помещают над нижним ( $45_{+0,043}^{+0,068}$ ). При симметричном расположении поля допуска, когда предельные отклонения равны, величину отклонений указывают один раз ( $85 \pm 0,011$ ). Предельные отклонения, равные нулю, не указывают ( $110^{+0,035}$ ;  $65_{-0,046}$ ).

На сборочных чертежах предельные отклонения указывают дробью: в числителе — условное обозначение поля допуска отверстия, в знаменателе — вала одним из трех способов (например,  $50 \frac{H7}{g6}$ ;  $50 \frac{+0,025}{-0,009}$ ;  $50 \frac{H7(+0,025)}{g6(-0,025)}$ ).

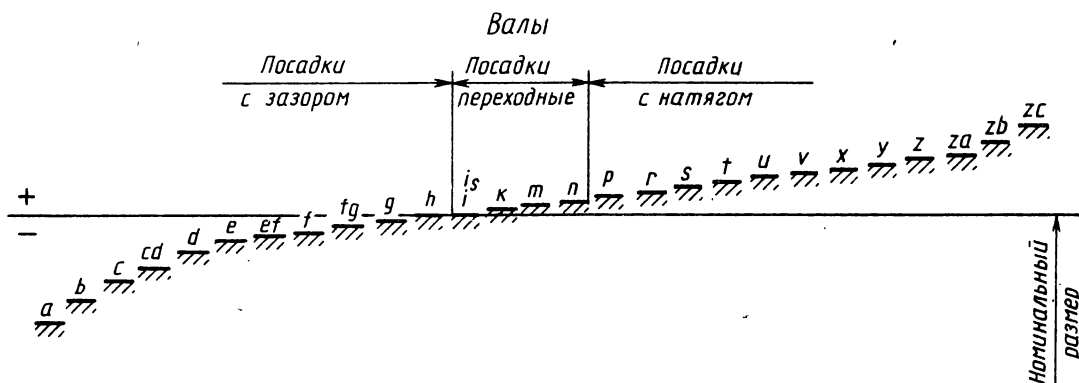


Рис. 508

## § 70. ОБОЗНАЧЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ

Шероховатость поверхности — это совокупность ее неровностей. Для характеристики шероховатости поверхности деталей ГОСТ 2789—73 (СТ СЭВ 638—77) устанавливает ряд параметров. Основными параметрами, определяющими степень шероховатости поверхности, является высота неровностей профиля по десяти точкам  $Rz$  и среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra$  (рис. 509). Единица измерения неровностей поверхности — микрометр. С помощью специальных приборов: профилографов и профилометров — выполняют профилограммы поверхностей и определяют их параметры на определенных участках. Стандарт определяет длину  $l$ , в пре-

делах которой должно производиться измерение определенного параметра. В учебных условиях шероховатость можно определить сравнением с эталоном. Требования к шероховатости поверхностей детали определяются условиями ее работы и задаются конструктором. Вращающиеся (трущиеся) поверхности деталей должны быть менее шероховатыми, чем неподвижные поверхности.

Степень шероховатости поверхности, ее параметры зависят от вида механической обработки детали. Например, обдирочным точением, строганием, фрезерованием можно получить шероховатость  $320 \dots 80 Rz$ . Те же чистовые операции дают  $40 \dots 20 Rz$ . Примерно такую же шероховатость можно получить сверлением. Чистовой расточкой получают  $1,25 Rz$ . Различные виды шлифования дают параметр  $2,5 \dots 0,16 Ra$ .

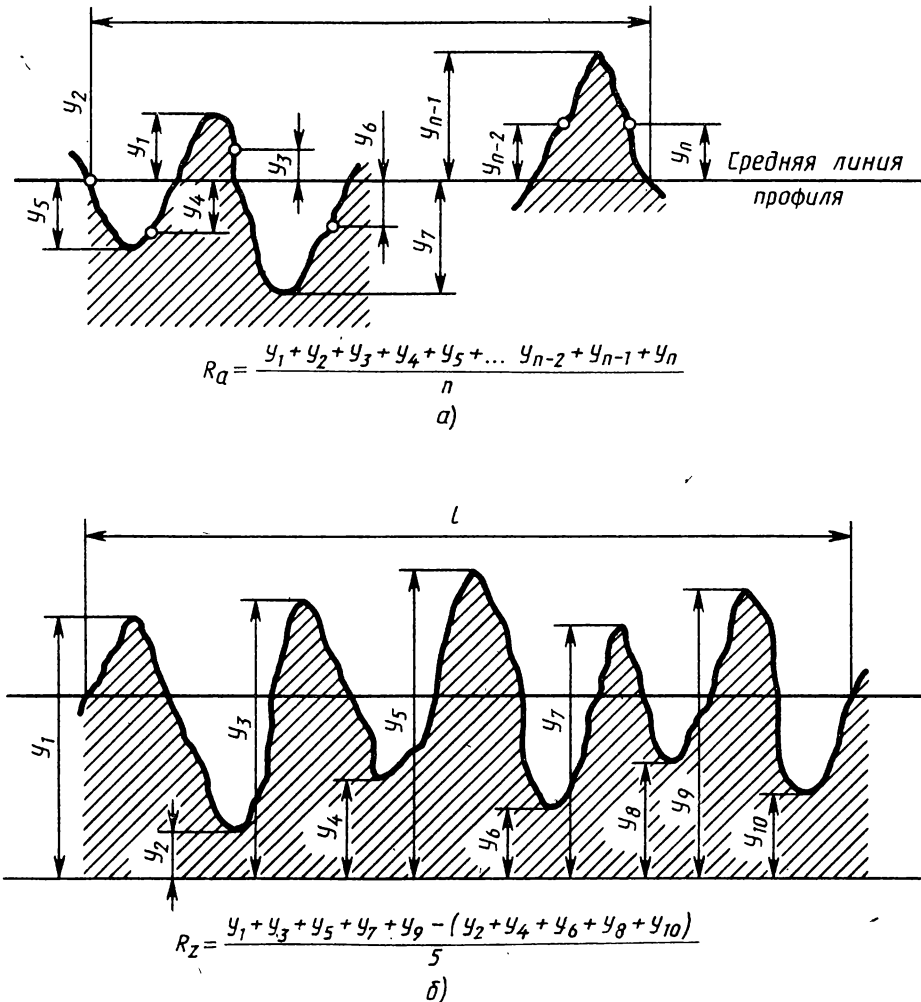


Рис. 509

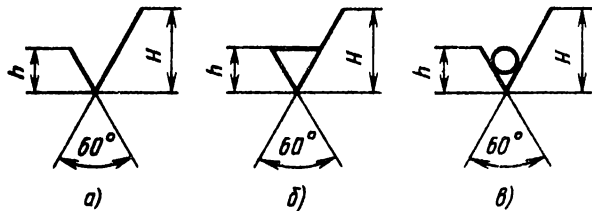


Рис. 510

Обозначение шероховатости поверхностей, правила их нанесения на чертежах установлены ГОСТ 2.309—73 (СТ СЭВ 1632—79). В обозначении шероховатости применяют специальные знаки (рис. 510), у которых размер  $h$  равен высоте цифр размерных чисел, а размер  $H$  —  $1,5 \dots 3h$ . Толщина линии знаков равна  $s/2$ . Знак, изображенный на рис. 510, а, проставляют на чертеже, если вид обработки

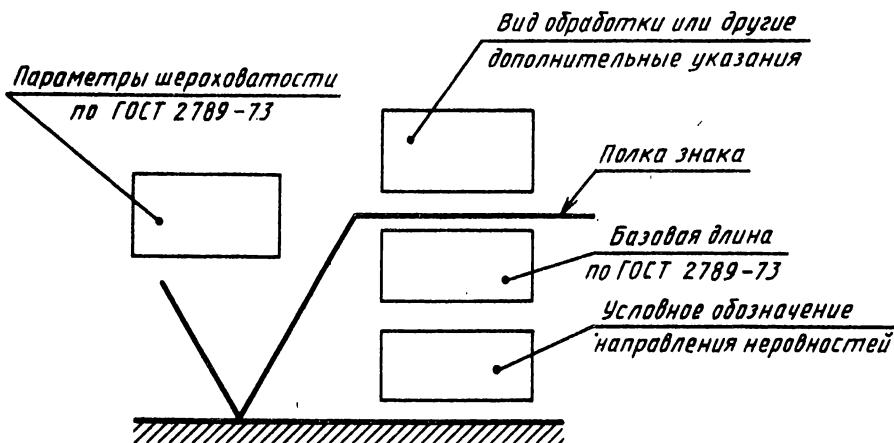


Рис. 511

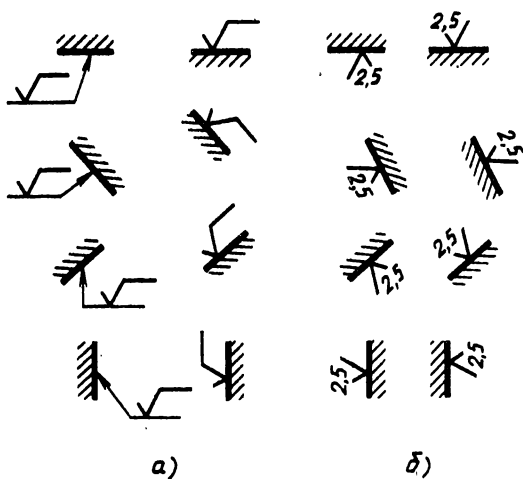


Рис. 512

поверхности конструктором не устанавливается. Знак, изображенный на рис. 510, б, проставляют, если поверхность должна быть получена обработкой (резанием, фрезерованием, сверлением и т. п.). Знак, изображенный на рис. 510, в, проставляют, если поверхность получается без обработки (литьем, штамповкой и т. п.) или остается в состоянии поставки и не обрабатывается по данному чертежу.

На рис. 511 показана структура обозначения шероховатости поверхностей. Полка знаков проводится при необходимости. При обозначении параметра  $Ra$  символ обозначения не наносят, например: 2,5; 0,63 и т. п. Для  $Rz$  параметр наносят после символа, например:  $Rz40$ ;  $Rz160$  и т. п.

Знаки шероховатости наносят на линиях контура, выносных линиях (по возможности ближе к размерной линии) и на полках линий-выносок. Угол знака должен вершиной упираться в соответствующую линию (рис. 512). На рис. 512, а показано расположение знаков обозначения шероховатости, которые имеют полку, а на рис. 512, б — без полки, при различных наклонах линий контура, на которых наносится знак. Если линия контура имеет угол наклона  $30^\circ$  и менее относительно вертикали, то знак наносят только на полке линии-выноски (рис. 513, а, б, в), за исключением случая, показанного на рис. 513, г.

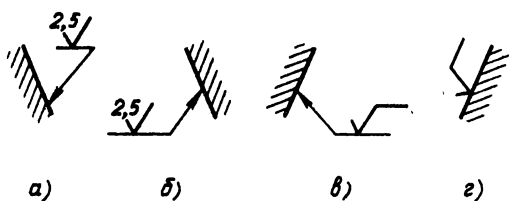


Рис. 513

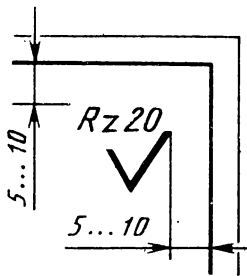


Рис. 514

Если поверхность детали имеет одинаковую шероховатость, то обозначение помещают в правом верхнем углу чертежа, а на изображениях детали не наносят (рис. 514). Если в правом верхнем углу чертежа обозначение шероховатости выполнено, как показано на рис. 515, то это значит, что поверхности детали, не имеющие обозначений шероховатости на чертеже, выполнены с шероховатостью, указанной перед скобками. Знак, взятый в скобки, означает, что на детали имеются поверхности и с другой шероховатостью, которая обозначена. Размеры знака, взятого в скобки, должны быть одинаковыми с размерами знаков, нанесенных на чертеже детали, а размер знака перед скобками и толщина линии его обводки должны быть в 1,5 раза больше, чем у знаков, нанесенных на изображении.

### § 71. НАНЕСЕНИЕ НА ЧЕРТЕЖАХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ПОКРЫТИЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Обозначение покрытий (защитных, декоративных, электроизоляционных) на чертеже устанавливает ГОСТ 2.310—68 (СТ СЭВ 367—86). Обозначения металлических и неметаллических покрытий по ГОСТ 9.306—85 и лакокрасочных покрытий по ГОСТ 9.032—74 приводят в технических требованиях чертежа.

Если все поверхности детали должны иметь одно и то же покрытие, то в технических требованиях делают надпись: «Покрытие...». На изображении детали в этом случае никаких обозначений не наносят. Если одинаковое покрытие наносят на несколько поверхностей детали, то на чертеже их обозначают одной буквой (рис. 516). При нанесении разных покрытий на поверхности детали их обозначают разными буквами (рис. 517). В этом случае в технических требованиях делают надпись: «Покрытие поверхностей А..., поверхностей Б...».

Если поверхность или ее часть, на которую наносят покрытие, нельзя определить однозначно, то ее обводят штрихпунктирной утолщенной линией на расстоянии 0,8...1 мм от контура изображенной детали и наносят ее размеры (рис. 518).

На чертежах изделий с покрытием ставят размеры и шероховатость до нанесения покрытия. Допускается указывать размеры и после покрытия (рис. 519). Если нужно указать размеры и шероховатость только после покрытия, то размеры и обозначение шероховатости наносят со знаком «\*» и на чертеже в техни-

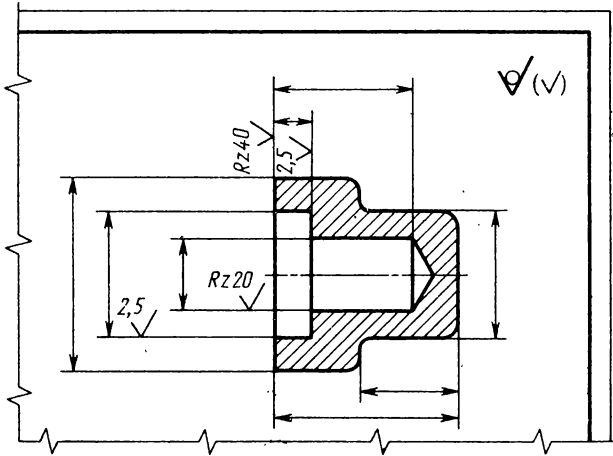


Рис. 515

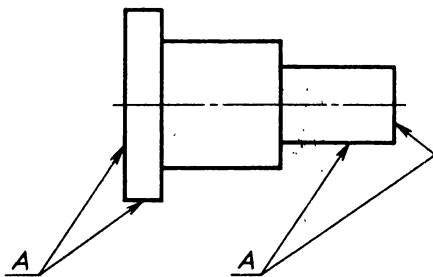


Рис. 516

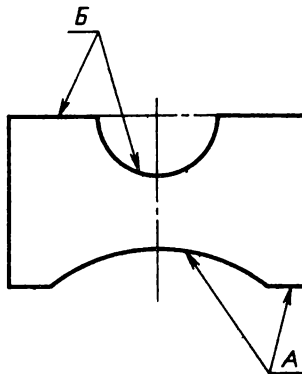


Рис. 517

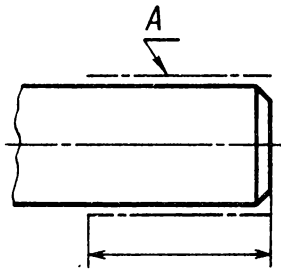


Рис. 518

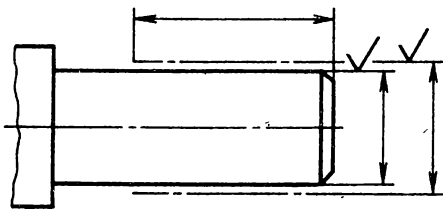


Рис. 519

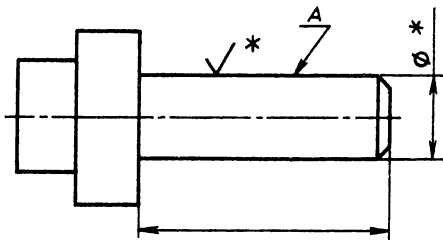


Рис. 520

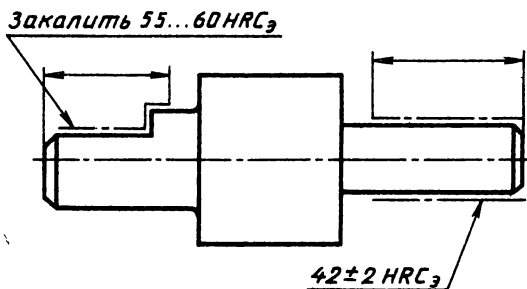


Рис. 521

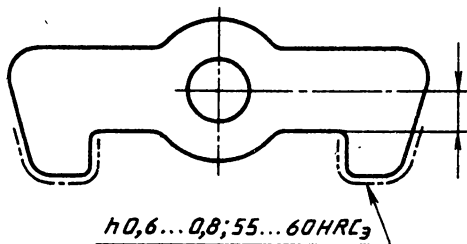


Рис. 522

ческих требованиях делают соответствующую запись (рис. 520).

Обозначение термообработки на чертежах устанавливает ГОСТ 2.310—68 (СТ СЭВ 367—86). При этом указывают показатели свойств материалов, полученные в результате обработки: твердость, предел прочности, упругость и т. п. Существуют три метода измерения твердости: Роквелла — обозначается буквами *HR*; Бринелля — *HB* и Виккерса — *HV*. Сущность методов заключается во вдавливании в испытуемый образец наконечника инструмента, имеющего определенную форму, для получения отпечатка, параметры которого позволяют определить твердость металла после обработки. Глубину обработки обозначают буквой *h*. Размер *h* и твердость *HR* указывают на чертежах предельными значениями:  $h0,7 \dots 0,9$ ;  $58 \dots 60HRC_3$  ( $C_3$  — шкала твердости). Если всю поверхность детали подвергают одному виду обработки, то это записывается в технических требованиях и на изображении детали не отражается. Если обработке подвергают лишь некоторые участки детали, то показатели свойств металла указывают над полкой линии-выноски. При необходимости указывают способ обработки (рис. 521). Участки детали, подвергаемые обработке, отмечают утолщенной штрихпунктирной линией, как и при обозначении покрытий. На симметричной детали показывают все поверхности, подвергаемые обработке, а показатели свойств металла указывают один раз (рис. 522).

## § 72. ВЫПОЛНЕНИЕ ЭСКИЗОВ С НАТУРЫ

Эскизом детали называют чертеж, выполненный от руки. Масштаб изображения и пропорциональность отдельных элементов детали на эскизе выдерживают приблизительно, на глаз.

Эскизы выполняют с соблюдением всех правил и требований, предъявляемых к чертежам деталей. Несмотря на то, что эскиз выполняется от руки, обводка изображений, штриховка, надписи, нанесение размеров на эскизе должны быть выполнены аккуратно и четко. Эскизы в учебном процессе выполняют на листах бумаги в клетку, так как используя вертикальные и горизонтальные линии клеток, удобно проводить линии построения изображений, наносить размеры, размещать изображения и соблюдать проекционную связь.

Формат эскиза определяется числом изображений, их степенью сложности, числом

размеров и т. п. Большие форматы обычно склеивают из двойных листов тетради в клетку. Формат А4 располагают только вертикально. Выполнять изображения и обводить их на эскизах рекомендуется мягкими карандашами (М, 2М), учитывая качество выбранной для

выполнения эскиза бумаги. Окружности сначала проводят циркулем, а затем обводят от руки.

Выполнение эскиза можно разбить на пять этапов.

Первый этап — анализ геометрической формы детали; выбор главного вида и числа изображений (видов, разрезов, сечений и т. п.). Главный вид детали должен давать наиболее полное представление о форме, устройстве и размерах изображаемой детали. В то же время необходимо учитывать, что детали, имеющие ясно выраженный верх и низ (корпуса, станины и т. п.), должны располагаться в соответствии с их нормальным положением в детали.

Детали, положение которых может быть различным, располагают на главном виде так, как они располагаются при выполнении основной технологической операции (изготовлении или сборке).

Детали, имеющие форму тел вращения, изображают на чертеже с горизонтально расположенной осью, в положении, в котором вы-

Рис. 523

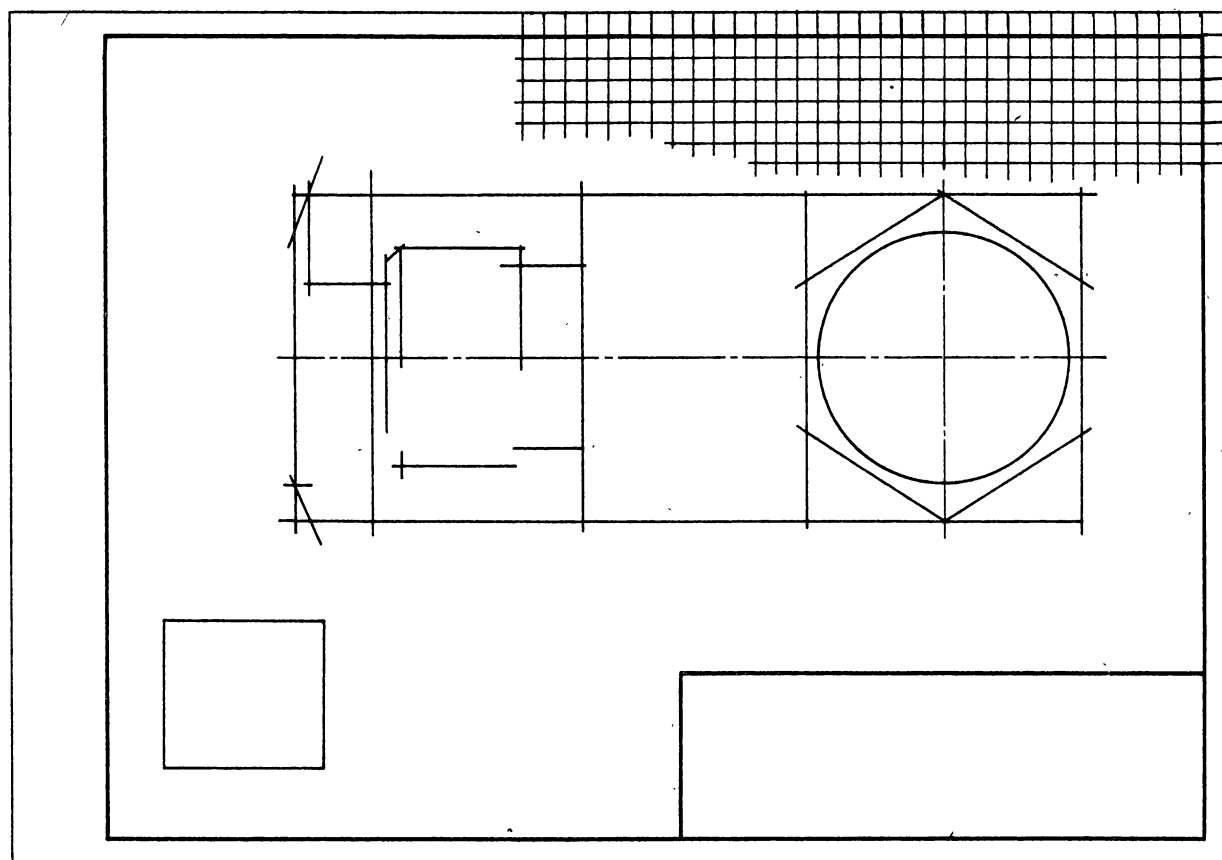
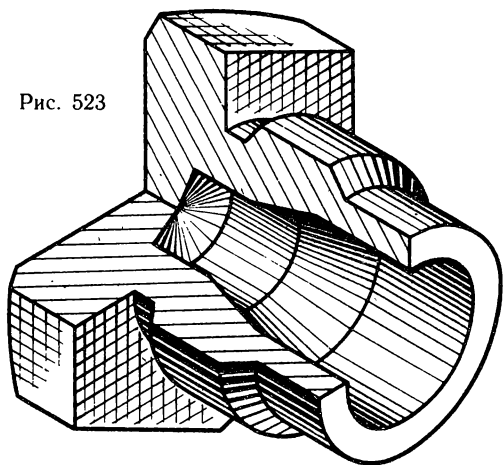


Рис. 524

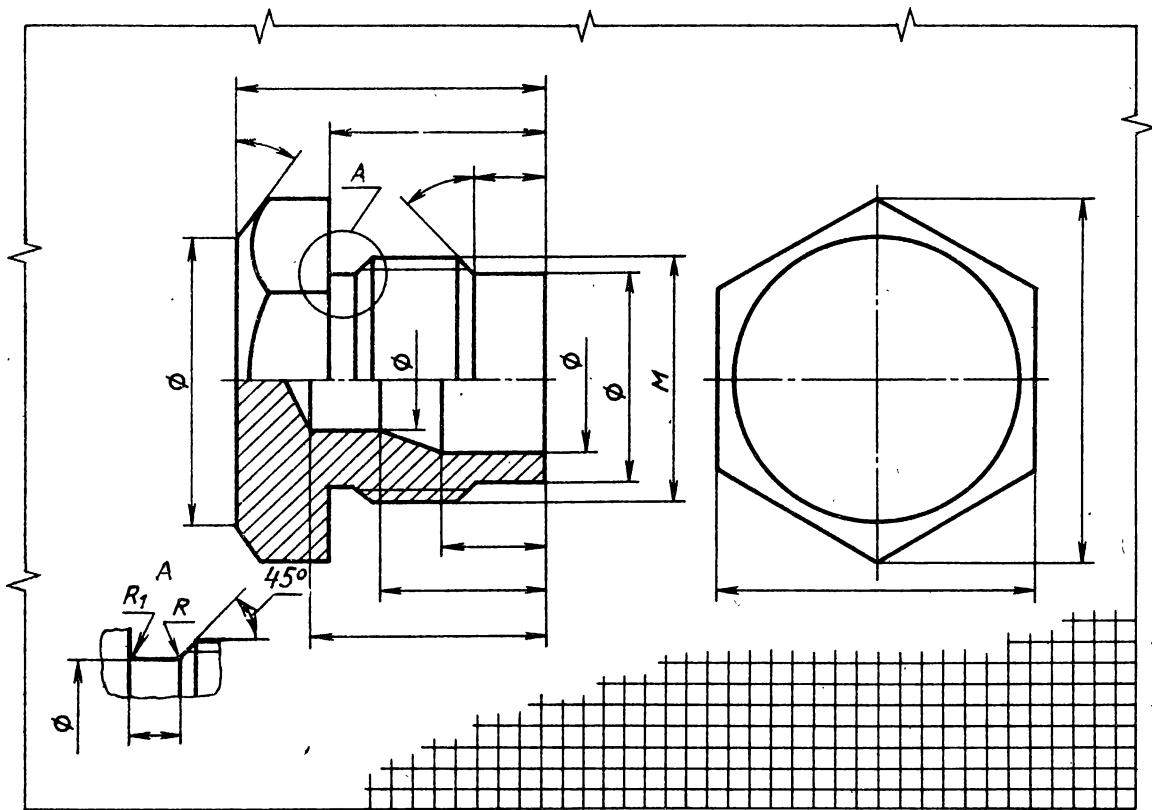


Рис. 525

полняется наибольшее число операций при ее обработке. Число изображений должно быть наименьшим, но давать полное представление о детали. Для симметричных деталей рекомендуется при ее изображении соединять половину вида с половиной разреза.

На рис. 523 деталь, взятая для выполнения эскиза в качестве примера (крышка), состоит в основном из тел вращения (цилиндров и конусов), поэтому ее расположение на чертеже должно быть горизонтальным. Наличие шестиугольной призмы делает необходимым выполнение ее второго вида. Наружная проточка может быть показана с помощью выносного элемента. Внутренняя конструкция детали может быть показана на половине разреза. На главном виде цилиндрические поверхности должны быть расположены вправо, так как в этом положении выполняется наибольшее число операций при изготовлении детали.

Второй этап — выбор формата и компоновка (расположение) изображений на рабочем поле формата эскиза. Учитывая проведенный выше анализ формы детали (крышка) и число ее изображений и размеров, выполнять эскиз этой детали целесообразно на формате

A3, расположенном горизонтально. Подготовив рабочее поле формата эскиза, проведя рамку и очертив место для основной надписи, приступают к размещению изображений (рис. 524). Для этого отмечают габаритными прямоугольниками места для будущих изображений (в данном случае для главного вида и вида слева), учитывая, что между видами должно быть место для размеров, а также и то, что на эскизе кроме видов располагается еще и выносной элемент. Габаритные прямоугольники проводят тонкими линиями, учитывая при этом наибольшие размеры детали по высоте, ширине и длине.

Третий этап — прорисовка контуров видов и разрезов в пределах габаритных прямоугольников, а также размещение дополнительных изображений на свободном поле формата эскиза. В данном случае речь идет о размещении выносного элемента (рис. 524). На этом же этапе выполняют штриховку разрезов и сечений.

Четвертый этап — нанесение выносных и размерных линий. При этом руководствуются ранее изложенными правилами нанесения размеров и базовой постановки размеров, с

учетом конструкции детали и технологии ее изготовления. При соединении половины разреза с половиной вида размеры, относящиеся к наружной конструкции детали, следует ставить на виде, а к внутренней — на разрезе (рис. 525).

Пятый этап — обводка изображений, измерение размеров самой детали, для которых на изображениях проведены размерные линии, написание размерных чисел над размерными линиями и заполнение основной надписи.

### § 73. ОБМЕР ДЕТАЛЕЙ

Измерение и контроль размеров изготовленных деталей подробно рассматривают в курсе «Допуски и технические измерения». В курсе черчения при выполнении эскизов основное внимание уделяют анализу и изображению формы детали, а не точности измерений. Поэтому для определения размеров детали при выполнении эскизов используют стальные металлические линейки, кронциркули и нутромеры, позволяющие производить измерения с точностью до 0,5...1 мм. Более точные измерения проводят с помощью штангенциркуля. Простейший случай определения линейных размеров с помощью металлической линейки и чертежного угольника показан на рис. 526. На рис. 527 показано определение глубины глухого отверстия и размеров плиты с помощью линейки. Измерение диаметров валов и отверстий с помощью нутромера и кронциркуля (с последующим определением размеров по линейке) изображено на рис. 528. При измерении толщины стенки с помощью кронциркуля, если невозможно вынуть кронциркуль, не раздвигая его ножек, пользуются приемом, показанным на рис. 529. Расстояние между ножками кронциркуля достаточное для

того, чтобы вынуть циркуль из детали, фиксируется линейкой, и толщина стенки детали определяется как разность двух размеров  $A$  и  $B$ .

Приемы определения расстояния между центрами отверстий ( $A$ ) показаны на рис. 530 [ $A=B+D$ ] и рис. 531 [ $A=B-(1/2D_1+1/2D_2)$ ].

С помощью штангенциркуля можно произвести измерения с достаточной степенью точности. Он позволяет измерять как линейные размеры (рис. 531, а), так и диаметры отверстий и валов (рис. 531, б).

Размеры радиусов скруглений выступов, впадин, галтелей измеряют радиусомером (рис. 532), представляющим собой набор пластинок-шаблонов с вогнутыми или выпуклыми скруглениями определенных размеров. На каждом шаблоне нанесен размер соответствующего радиуса скругления. Пластинки-шаблоны радиусомера поочередно прикладывают к измеряемому элементу детали до тех пор, пока один из шаблонов не станет плотно прилегать к элементу детали без просвета. Тогда величину, указанную на шаблоне, берут за величину радиуса скругления измеряемого участка.

При определении параметров резьбы ее диаметр измеряют штангенциркулем. При измерении резьбы на стержне сразу получают номинальный диаметр резьбы (наружный диаметр); при этом штангенциркуль следует держать так, чтобы его губки не попали во впадины резьбы. При определении параметров резьбы в отверстии проще всего определить их по стержню, который ввертывается в это отверстие, так как их диаметры и шаг должны соответственно совпадать.

Если же деталь с отверстием эскизируется отдельно (стержень отсутствует), то, измерив диаметр резьбового отверстия, получают размер внутреннего диаметра резьбы и, пользуясь таблицей соответствующего ГОСТа, определяют наружный диаметр резьбы.

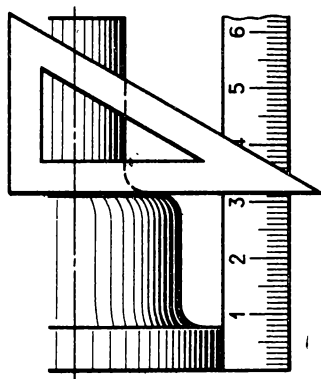


Рис. 526

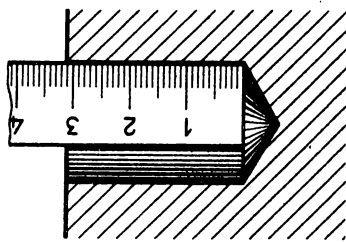
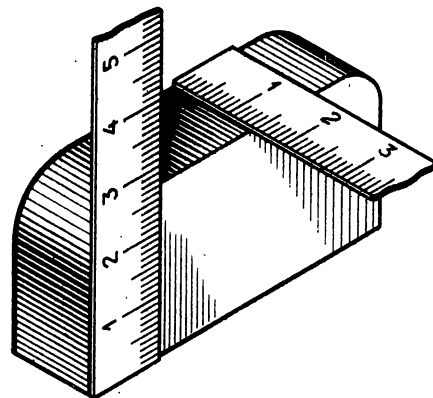
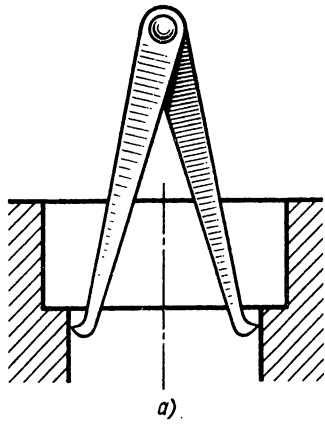
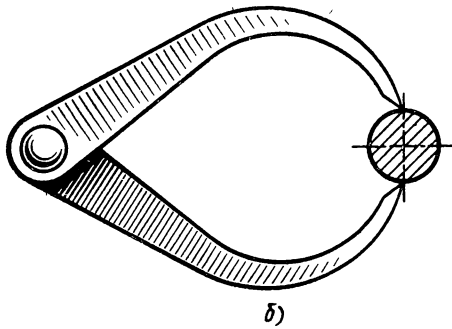


Рис. 527





a)



b)

Рис. 528

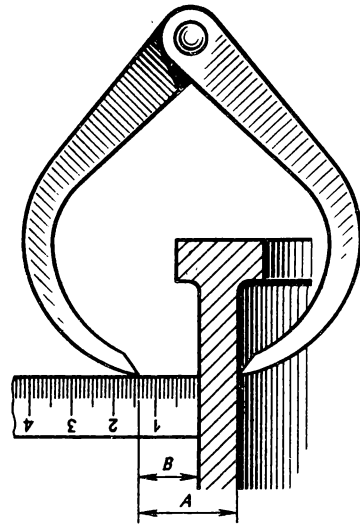


Рис. 529

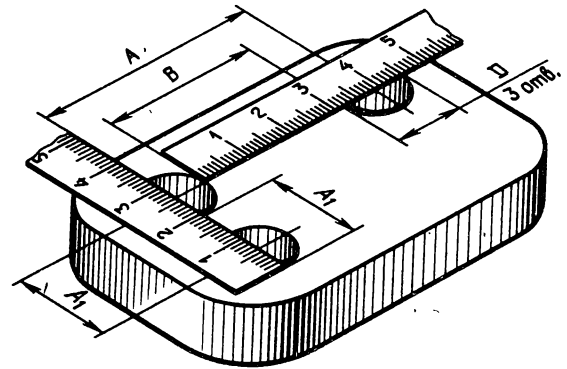
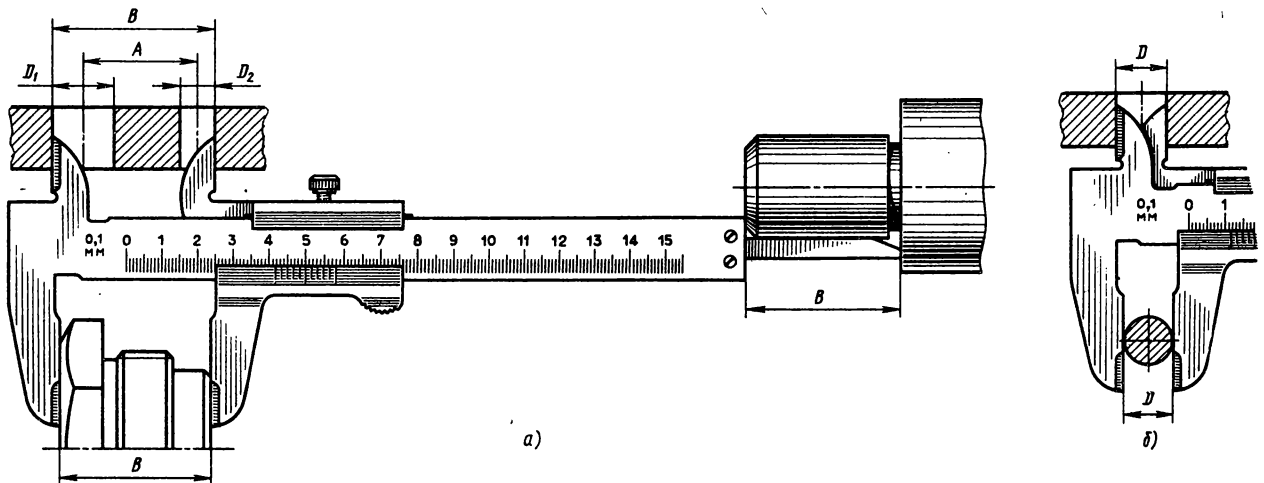


Рис. 530

Шаг метрической резьбы или число ниток цилиндрической трубной резьбы на один дюйм определяют с помощью резьбовых шаблонов. Подобрав определенный шаблон так, чтобы его выступы и впадины совпали с впадинами и выступами резьбы на детали (рис. 533),



a)

б)

Рис. 531

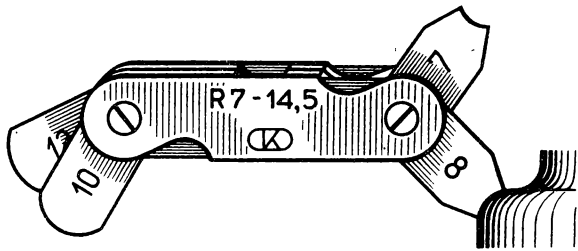


Рис. 532.

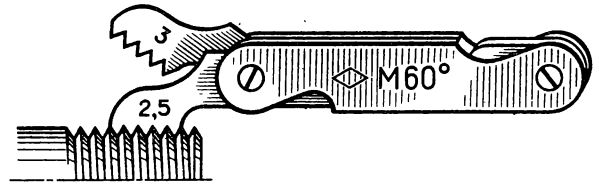


Рис. 533

определяют, какая это резьба (метрическая или трубная) и каков ее шаг или число ниток на один дюйм. Если резьба трубная, то по ее наружному диаметру, измеренному в миллиметрах, определяют соответствующее обозначение резьбы в дюймах. Если резьба метрическая, то, зная величину наружного диаметра

резьбы и ее шаг, по таблице соответствующего ГОСТа определяют, основная это резьба или с мелким шагом. В зависимости от этого на изображении детали с метрической резьбой нанесут соответствующее обозначение резьбы, например, М20 (основная резьба) или М20××1,5 (с мелким шагом).

## ГЛАВА XX

### ЧЕРТЕЖ ОБЩЕГО ВИДА И СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ

#### § 74. ЧЕРТЕЖ ОБЩЕГО ВИДА

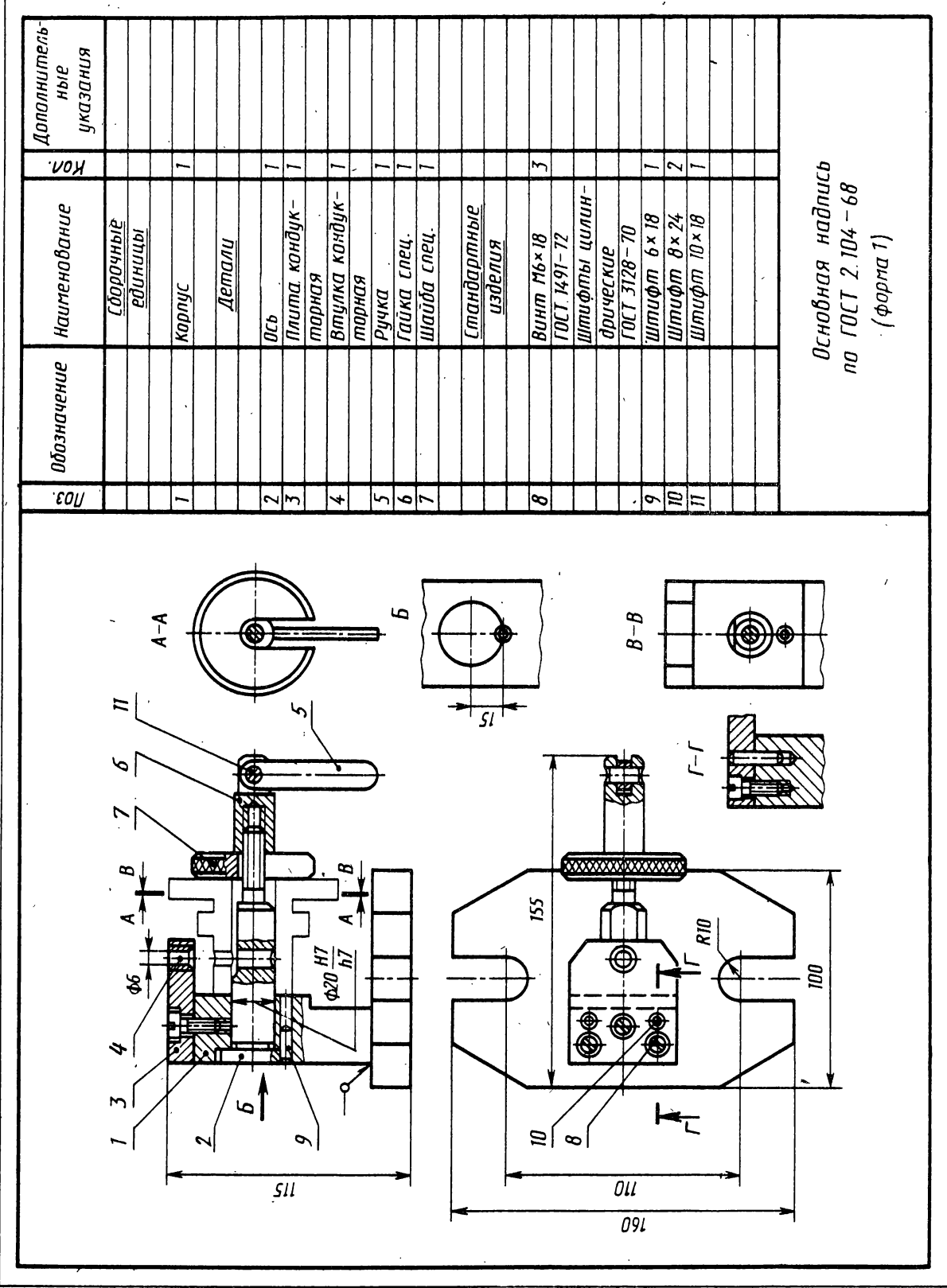
Чертеж общего вида разрабатывается на стадии технического проектирования. Он является обязательным документом технического проекта. Чертеж общего вида должен содержать необходимое число изображений (видов, разрезов, сечений), текстовую часть и надписи, чтобы полностью показать устройство изображаемого изделия, взаимодействие его составных частей и принцип его работы. В качестве примера чертежа общего вида на рис. 534 приведен учебный чертеж кондуктора для сверления (рис. 535).

При необходимости на чертеже общего вида наносят некоторые размеры, посадки, предельные отклонения, указания о покрытиях, сварке, пайке и т. п. Эти требования должны учитываться при последующей разработке рабочей документации.

Изображения на чертежах общего вида по ГОСТ 2.119—73 выполняют с наибольшими упрощениями, предусмотренными стандартами ЕСКД. На учебных чертежах общих видов

целесообразно применять упрощения ограниченно, так как конструктивное изображение отдельных элементов изделия позволяет полнее ознакомиться с особенностями взаимодействия деталей и их конструкцией.

Отдельные изображения составных частей изделия размещают на свободном поле чертежа или на последующих листах, если чертеж общего вида выполняется на нескольких листах (рис. 534, а, Вид Б; В—В; Г—Г). Наименования и обозначения составных частей изделия на чертеже общего вида могут быть указаны: над полкой линии-выноски (вторую строку можно выполнять под полкой); в таблице, помещенной на том же листе, что и чертеж; в таблице, выполненной на отдельных листах формата А4. При наличии таблицы над полками линий-выносок наносят номера позиций составных частей, которые включены в таблицу. В общем случае таблица имеет четыре графы: «Поз.», «Обозначение», «Кол.» и «Дополнительные указания». На учебных чертежах общего вида в таблице добавляют графу «Наименование».



Основная надпись по ГОСТ 2.104-68 (форма 1)

Рис. 534

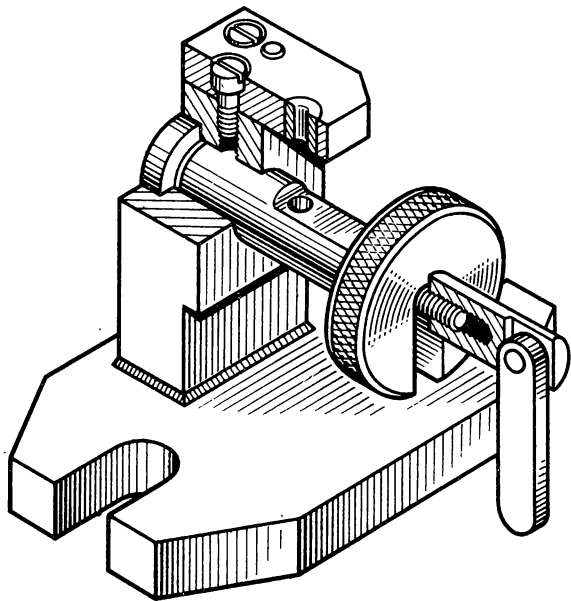


Рис. 535

## § 75. СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ

Сборочный чертеж разрабатывают на стадии выполнения рабочей документации. Сборочный чертеж должен содержать изображения сборочной единицы, дающие представление о расположении и взаимосвязи ее составных частей, соединяемых по этому чертежу. Сборочный чертеж должен обеспечивать возможность сборки и контроля данной сборочной единицы.

На сборочном чертеже указывают размеры, требования и другие параметры, выполняемые или контролируемые по этому чертежу, а также проставляют габаритные размеры изделия, установочные, присоединительные и другие необходимые справочные размеры.

Если точность установки двух деталей обеспечивается не только заданными предельными отклонениями размеров, а пригонкой, притиркой и т. п., то об этом на чертеже делается указание.

На сборочном чертеже указывают номера позиций составных частей, входящих в изделие, располагая их над полками линий-выносок. Полки и линии-выноски проводят сплошными тонкими линиями. Полки проводят горизонтально. Линии-выноски заканчивают на изображении детали точкой. Если изображение детали (например, прокладка или пружина) небольшое, то линию-выноску заканчивают

стрелкой, упирающейся в контур детали. Линии-выноски проводят от тех изображений, где деталь показана видимой, как правило, от изображений на основных видах или разрезах.

Номера позиций наносят на чертеже, как правило, один раз. Высоту цифр номеров позиций берут больше на один-два номера шрифта, которым написаны размерные числа. Полки и номера позиций располагают вне контура изображений, группируя их в строчки или колонки (рис. 536). Для крепежных деталей, относящихся к одному и тому же месту крепления, допускается делать общую линию-выноску с вертикальным расположением номеров позиций (рис. 537).

Винтовые цилиндрические и конические пружины на сборочных чертежах показывают с правой навивкой независимо от ее действительного направления.

Сборочные чертежи выполняют, как правило, с упрощениями, предусмотренными стандартами ЕСКД. На сборочных чертежах допускается не показывать фаски, скругления, проточки, зазоры между стержнем и стенками отверстия и т. п. На учебных сборочных чертежах целесообразно применять упрощения ограниченно. Допускается не показывать крышки, щиты, кожухи и другие детали, если нужно показать закрытые составные части изделия. В этом случае над изображением выполняют надписи: «Крышка поз. 10 не показана» или «Детали поз. 7, 9, 11 не показаны».

Сборочные чертежи должны содержать указания о выполнении сварных, паяных и клееных неразъемных соединений. На рис. 536 показано, что корпус кондуктора сварной, вертикальная стойка приварена к плите по периметру. В сборе с другими изделиями сварные и клееные узлы в разрезах и сечениях штрихуют в одну сторону, изображая границы между деталями узла сплошными основными линиями (рис. 538). Границы между деталями можно и не проводить, вычерчивая узел как одно целое. Когда такой узел вычерчивается отдельно, его сборочный чертеж выполняется по общим правилам, детали заштриховывают в разные стороны (см. рис. 464).

Некоторые операции при соединении деталей в один узел выполняют на стадии сборки. В случаях, когда сверление и обработку отверстий под установочные винты, штифты и т. п. выполняют при сборке узла, все необходимые размеры и другие параметры отверстий задают на сборочном чертеже (рис. 539, а). На рабочих чертежах деталей эти отверстия не изображают (рис. 539, б и в).

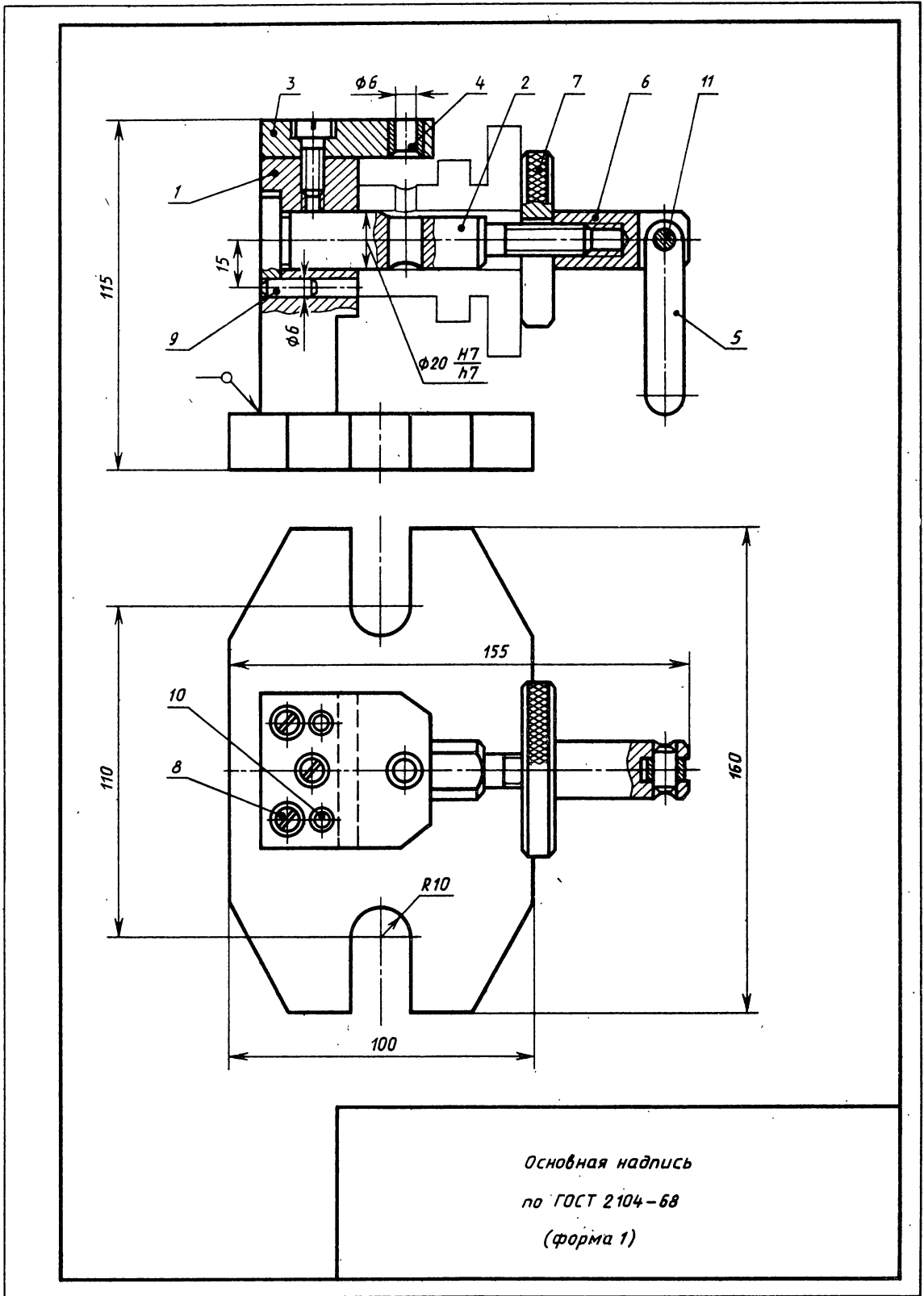


Рис. 536

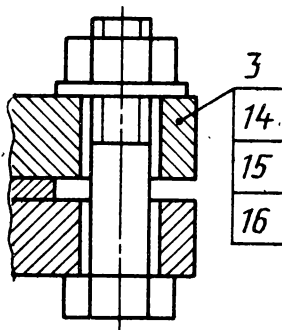


Рис. 537

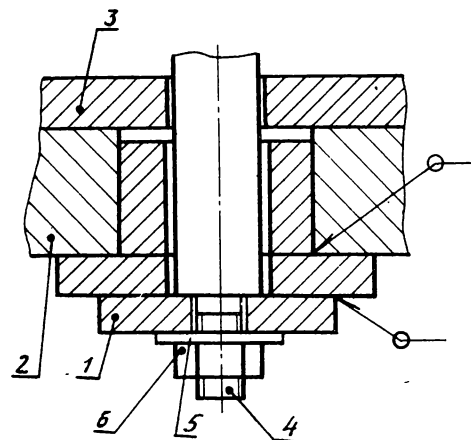


Рис. 538

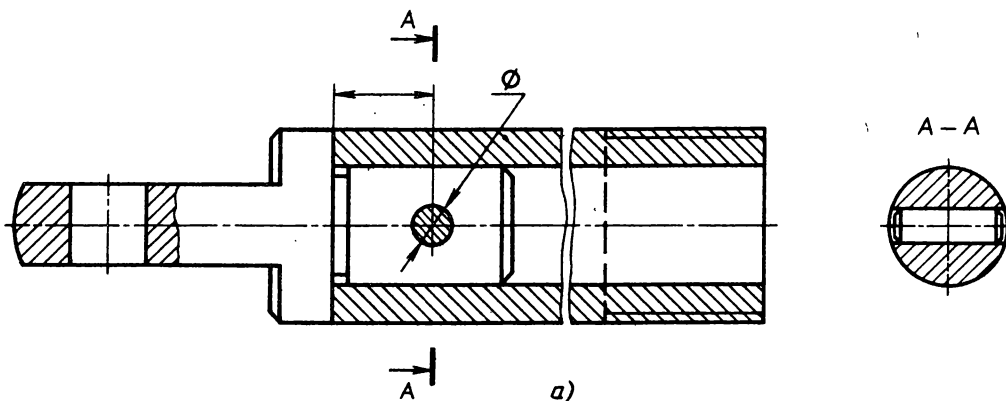
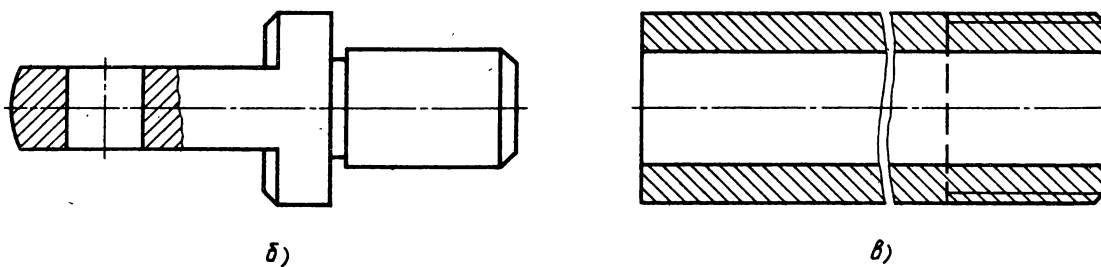


Рис. 539



## § 76. СПЕЦИФИКАЦИЯ

При выполнении сборочного чертежа узла или другого изделия, состоящего из нескольких (иногда большого числа) деталей, возникает необходимость в составлении такого документа, в котором сообщались бы названия деталей, входящих в узел, их обозначения и т. п. Это делают в специальных конструкторских документах — спецификациях (рис. 540, 541).

Спецификация — основной конструкторский документ, определяющий состав сборочной единицы. Спецификация выполняется

на формате А4 по ГОСТ 2.108—68 (СТ СЭВ 2516—80), форма 1 и 1а. Форму 1 (рис. 540) применяют для первого листа спецификации, форму 1а (рис. 541) — для последующих, если спецификация состоит из нескольких листов. Формы отличаются одна от другой размерами и содержанием основных надписей, выполняемых по ГОСТ 2.104—68 (СТ СЭВ 140—74, СТ СЭВ 365—76), форма 2 и 2а. В графу «Формат» спецификации записывают обозначение формата, на котором выполнены чертежи сборочных единиц, входящих в специфицируемое изделие.





стандарту. Для стандартных изделий графу «Обозначение» не записывают.

## § 77. ВЫПОЛНЕНИЕ СБОРОЧНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ И ЧЕРТЕЖЕЙ ОБЩИХ ВИДОВ

Чертежи общих видов и сборочные чертежи изделий в производственных условиях выполняют как часть комплекта конструкторских документов изделий. Их разработка ведется на основе целого ряда требований, предъявляемых к разрабатываемому изделию, исходя из условий его работы, различных расчетных данных и т. п. В учебном процессе выполнению чертежа предшествует подготовительная работа, которую можно разделить на несколько этапов.

На первом этапе знакомятся с назначением, работой узла и его составом: названием, обозначением и назначением отдельных его составных частей — деталей и сборочных единиц, если они имеются. Из всех деталей узла выделяют стандартные детали (болты, винты, гайки и т. п.) и выполняют черновую спецификацию для сборочного чертежа или таблицу составных частей изделия для чертежа общего вида.

На втором этапе эскизируют все нестандартные детали (см. § 72). При этом следует помнить, что отдельные детали (пружины, зубчатые колеса и т. п.) изображают в соответствии с правилами, предусмотренными ГОСТами. Особое внимание нужно обратить на нанесение размеров смежных деталей. Например, для обеспечения указанной на чертеже посадки номинальные диаметры отверстия в стойке корпуса 1 и оси 2 (см. рис. 536) должны быть одинаковыми ( $\varnothing 20$ ). Расстояния между центрами отверстий под винты и штифты на стойке и кондукторной плите должны быть также одинаковыми, чтобы отверстия при сборке совпадали.

На третьем этапе определяют число изображений на сборочном чертеже или чертеже общего вида и в зависимости от сложности формы деталей узла и его габаритных размеров определяют масштаб изображения и формат бумаги. При этом следует помнить, что сборочный чертеж выполняют обычно для сборки по нему готовых деталей в сборочные единицы и изделия, поэтому форму каждой детали на сборочном чертеже подробно не прорабатывают. Учебный сборочный чертеж кондуктора для сверления (см. рис. 536) выполнен в двух видах, которых вполне достаточно для того, чтобы собрать узел.

Чертеж общего вида должен содержать более подробные сведения о составных частях

узла. Форма всех деталей, их устройство и взаимодействие должны быть выявлены полностью. Учебный чертеж общего вида (см. рис. 535) помимо двух видов узла содержит еще и дополнительные виды отдельных его частей и разрезы, позволяющие однозначно представить конструкцию деталей и узла в целом.

Определив число изображений в соответствии с вышеизложенным, приступают к компоновке изображений на листе, предварительно определив габаритные размеры каждого из видов. Место расположения вида на формате определяют габаритные прямоугольники.

Четвертый этап — вычерчивание самих изображений начинают с нанесения контуров основной детали узла (корпуса). Ее вычерчивают в тонких линиях на всех выполняемых видах с необходимыми разрезами. Другие детали узла вычерчивают, как правило, в последовательности выполнения сборки узла. На рис. 542 показана начальная стадия четвертого этапа, где выполнены очертания корпуса 1 и установлена ось 2.

На пятом — последнем этапе работы выполняют штриховку на разрезах деталей. При

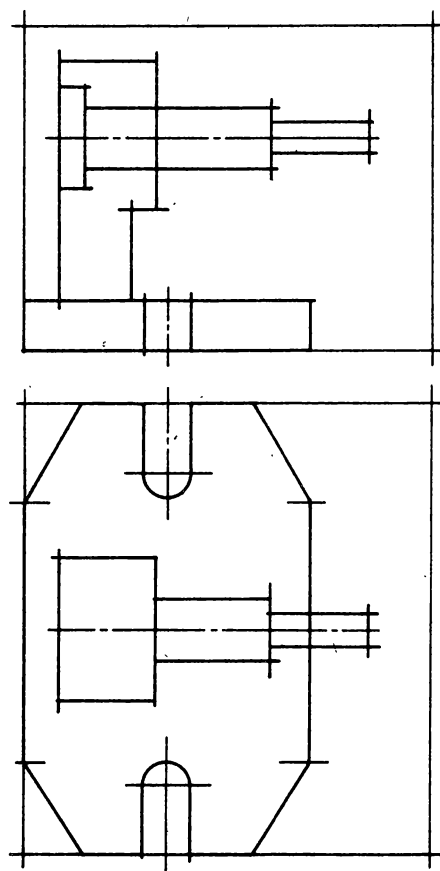


Рис. 542

этом нужно помнить, что одну и ту же деталь штрихуют в одну сторону с одинаковыми интервалами между линиями на всех изображениях узла на листе. Это облегчает чтение чертежа. Пограничные детали штрихуют в разных направлениях или, если это не удастся, с разным интервалом между штрихами или в одном направлении, но со смещением штрихов по линии границы деталей. Затем обводят, наносят размеры, ставят номера позиций составных частей узла.

## § 78. ДЕТАЛИРОВАНИЕ

Выполнение чертежей деталей по чертежу общего вида или по сборочному чертежу называют **деталированием**. Деталирование — это не простой отбор изображений какой-либо детали из видов, имеющихся на чертеже, где изображено несколько взаимодействующих деталей, а сложный процесс разработки каждой отдельной детали, создания такого рабочего чертежа, который полностью отражал бы форму, размеры и прочие требования.

При выполнении деталирования требуется умение применять все знания, которые получены при изучении курса «Инженерная графика». Прежде чем приступить к выполнению деталирования, нужно прочитать чертеж узла, выяснив его

конструкцию, принцип работы и назначение. Каждую деталь, каждую составную часть узла находят по номеру позиции, устанавливая ее название и обозначение по спецификации или таблице составных частей изделия. Затем каждую деталь подробно анализируют, определяя ее форму, число и содержание изображений, ее взаимодействие с другими деталями узла, ее конструктивные особенности и т. п. Исходя из этого, выбирают главное изображение детали и определяют общее число изображений (видов, разрезов, сечений, выносных элементов и т. д.). Главное изображение детали на рабочем чертеже может быть не таким, как на детализируемом чертеже. Это решают в соответствии с требованиями технологии и другими требованиями, которые излагались выше (§ 49, 72). В соответствии с этим и число других изображений может быть иным (сравните рис. 543 и 535).

Учитывая масштаб детализируемого чертежа, сложность изображаемой детали и необходимое число изображений, выбирают масштаб изображения для рабочего чертежа и формат бумаги. Проведя компоновку изображений на формате, приступают к выполнению рабочего чертежа (порядок выполнения чертежа см. § 39). На чертежах деталей в основной надписи (ГОСТ 2.104—68, форма 1) указывают наименование детали, ее обозначение, обозна-

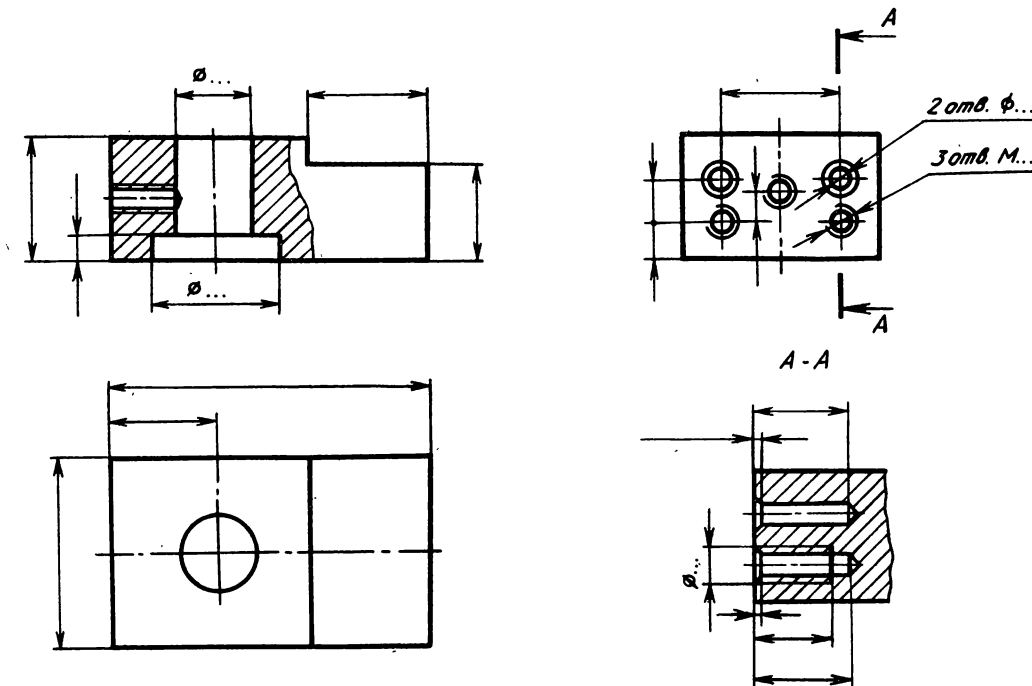


Рис. 543

чение материала, из которого выполнена деталь, и другие необходимые сведения.

При детализовании чертежей часто приходится сталкиваться с тем, что у чертежей общего вида или сборочных чертежей в учебной литературе действительный масштаб изображения не соответствует указанному в основной надписи. Это вызывает большие трудности при определении размеров, которые на чертеже не проставлены.

В этом случае размеры деталей удобно определять с помощью графика пропорционального масштаба, построенного на двух взаимно перпендикулярных прямых  $Ox$  и  $Oz$  (рис. 544). Сначала строят линию масштабов 1:1. Для этого размер, проставленный на чертеже, например 110 (см. рис. 536), измеряют циркулем и откладывают от точки  $O$  на оси  $Ox$ , а на оси  $Oz$  откладывают действительный размер, т. е. 110. Проводя из построенных точек прямые, параллельные осям, получают точку  $A$ . Соединив ее с точкой  $O$ , получают график, позволяющий определять размеры, не проставленные на чертеже, графически. Размер  $B$ , замеренный непосредственно на чертеже, откладывают на

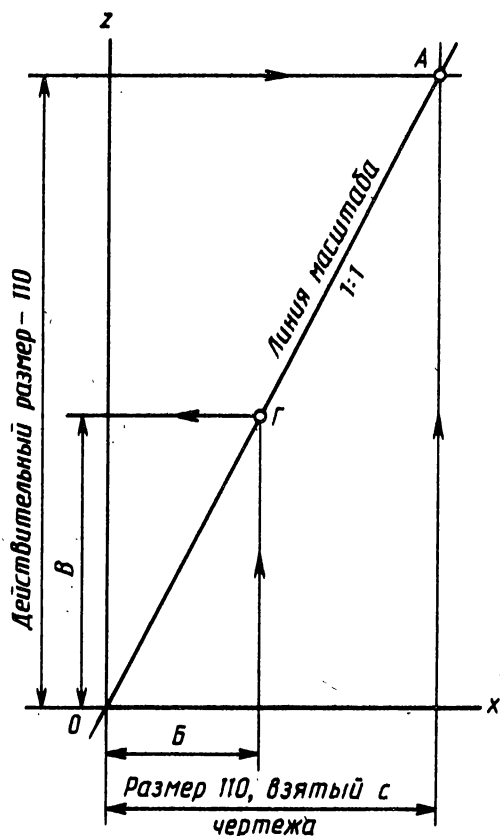


Рис. 544

оси  $Ox$  (рис. 544). Из полученной точки проводят прямую линию параллельно оси  $Oz$  до пересечения с  $AO$  в точке  $\Gamma$ . Из точки  $\Gamma$  проводят прямую, параллельную оси  $Ox$ , получая на оси  $Oz$  размер  $B$  — номинальное значение размера. Размеры гостированных элементов деталей (фасок, проточек, концов резьбовых стержней и т. п.) берут не по чертежу общего вида или сборочному чертежу, а по стандартам на эти элементы или по справочникам.

## § 79. ЧЕРТЕЖИ ПРУЖИН

Пружины применяются в технике для создания определенных усилий в заданном направлении. На рис. 545, 546, 549 показаны примеры применения пружин в различных устройствах. Цилиндрическая винтовая пружина сжатия 5 (рис. 545, а), поджатая резьбовой втулкой 3, оказывает на клапан 2 усилие, прижимая его резиновой прокладкой 4 к торцу цилиндрического выступа корпуса 1 и перекрывая доступ рабочей среды.

На рис. 545, б показана пластинчатая пружина изгиба 1, удерживающая собачку 2 в заданном положении, препятствующем повороту храпового колеса 3 против часовой стрелки. В этих случаях для перемещения детали 3 в направлении, указанном стрелкой, необходимо приложить усилие, превышающее давление пружины.

Правила выполнения чертежей различных пружин устанавливает ГОСТ 2.401—68 (СТ СЭВ 285—76, СТ СЭВ 1185—78). Рассмотрим основные правила выполнения чертежей пружин на примере изображения цилиндрических винтовых пружин сжатия, как наиболее применяемых.

Пружины на чертежах вычерчивают условно. На изображениях цилиндрических винтовых пружин участки синусоид, в которые проецируются витки пружины, заменяют параллельными прямыми линиями, касательными к сечениям витков (рис. 546, 548). На сборочных чертежах и чертежах общих видов допускается изображать пружину сечениями витков (рис. 547). При этом контуры деталей, находящихся за пружиной, изображают видимыми лишь до центровых линий сечений витков.

Если пружина имеет более четырех витков, то с каждого конца пружины изображают лишь один-два витка, не считая опорных, и через центры сечений витков проводят осевые линии по всей длине пружины (см. рис. 545, а).

Чтобы получить на пружине плоские опорные поверхности, крайние витки пружины поджимают (примерно на три четверти витка и про- шлифовывают. Поджатые витки пружины не

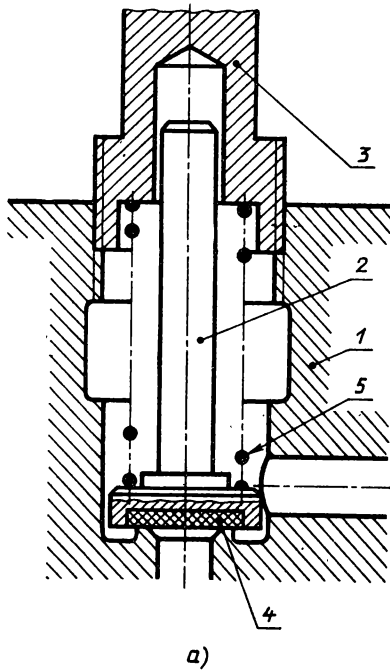


Рис. 545

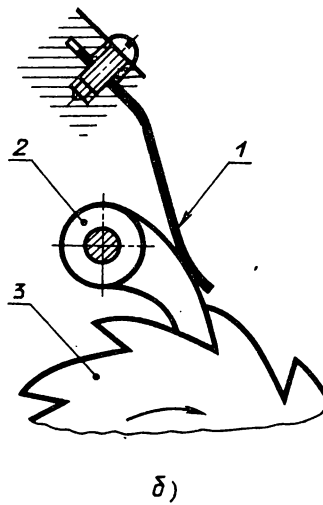


Рис. 546

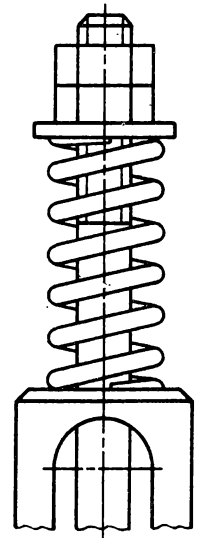
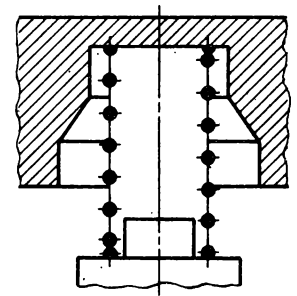


Рис. 547



считают рабочими. Поэтому полное число витков  $n_1$  равно числу рабочих витков  $n+1,5$ .

На рис. 548 показано изображение пружины, у которой поджато и проточено  $3/4$  витка. Здесь изображен один из опорных витков и два рабочих витка. Построение начинают с проведения осевых линий, проходящих через центры сечений витков пружины (рис. 548, а). Затем на левой осевой линии проводят окружность, диаметр  $d$  которой равен диаметру проволоки, из которой изготовлена пружина. Окружность в данном случае касается горизонтальной прямой, на которую опирается пружина. Далее проводят полуокружность из центра, расположенного в пересечении правой оси с той же горизонтальной прямой. Для построения каждого последующего витка пружины слева на расстоянии шага строят сечения витков. Справа каждое сечение витка будет располагаться напротив середины расстояния между витками, построенными слева.

Проведя касательные к окружности, получают изображение пружины в разрезе, т. е. изображение витков, лежащих за плоскостью, проходящей через ось пружины. Для изображения передних половин витков также проводят касательные к окружностям, но с подъемом вправо. Для построения передней четверти опорного витка касательную к полуокружности проводят так, чтобы она одновременно касалась левой окружности в нижней ее части (рис. 548, б).

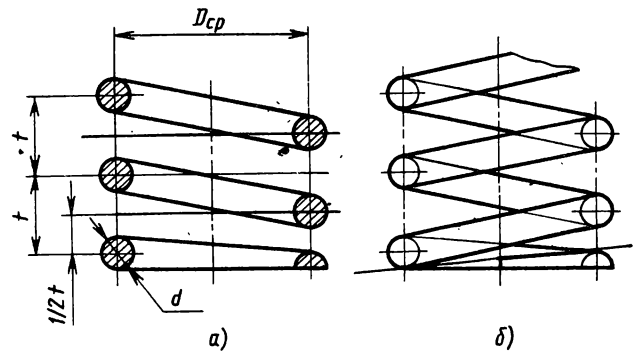


Рис. 548

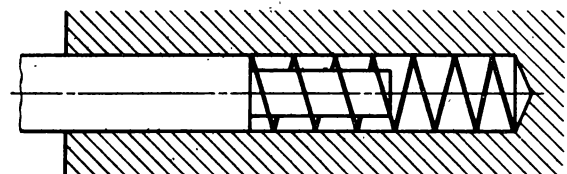
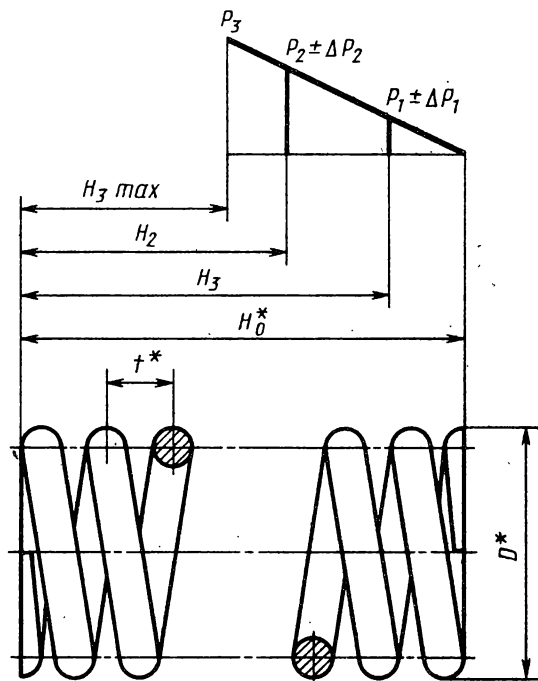


Рис. 549



1. Модуль сдвига  $G \dots \text{МПа}$ .
2. Твердость  $\text{HRC}_3$ .
3. Напряжение, касательное при кручении (максимальное)  $\tau_3 \dots \text{МПа}$ .
4. Длина развернутой пружины  $L \dots \text{мм}$ .
5. Число рабочих витков  $n$ .
6. Число витков полное  $n_1$ .
7. Направление навивки  $\dots$ .
8. Диаметр контрольного стержня  $D_c \dots \text{мм}$  (или гильзы).
9. Остальные технические требования по  $\dots$  (указывают номер нормативного документа).
10. \* Размеры для справок.

Рис. 550

Если на чертеже диаметр сечения проволоки или толщина заготовки, из которой изготовлена пружина, равны или меньше 2 мм, то пружину изображают линиями толщиной 0,6...1,5 мм (рис. 549).

На рабочих чертежах изображения винтовых пружин располагают так, чтобы ось имела горизонтальное положение. Пружины изображают с правой навивкой, а действительное направление навивки указывают в технических требованиях. Для пружин с контролируемыми силовыми параметрами на чертеже выполняют диаграмму механической характеристики пружины, показывая зависимость между нагрузкой на пружину ( $p_1, p_2, p_3$ ) и ее деформацией ( $H_0, H_2$  и  $H_3$ ). Пример выполнения рабочего чертежа пружины приведен на рис. 550. На учебных чертежах диаграмму не вычерчивают.

Длину  $L$  развернутой пружины определяют по формуле  $L = n_1 \sqrt{\pi(D_{\text{ср}})^2 + t^2}$ , где  $D_{\text{ср}}$  — средний диаметр пружины. Какой из диаметров пружины следует указывать в технических требованиях (диаметр стержня  $D_c$  или диаметр гильзы  $D_r$ ), решают в зависимости от того, какой из этих размеров является контролируемым.

## § 80. ИЗОБРАЖЕНИЕ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ЧЕРТЕЖАХ ОБЩИХ ВИДОВ И СБОРОЧНЫХ ЧЕРТЕЖАХ

Подшипники качения служат опорами для вращающихся валов различных механизмов и машин. Основными частями подшипника являются кольца (наружное и внутреннее), тела качения, выполненные в виде шариков или роликов, и сепаратор, который удерживает шарики (или ролики) в рабочем положении, на одинаковом расстоянии друг от друга. Типы и размеры подшипников определяются соответствующими стандартами.

В зависимости от формы тел качения подшипники можно разделить на две группы: шариковые и роликовые. По типу воспринимаемой нагрузки подшипники делят на радиальные, упорные и радиально-упорные. Радиальные подшипники рассчитаны на радиальную нагрузку, которая действует в направлении, перпендикулярном оси подшипника. Упорные подшипники воспринимают только осевую нагрузку. Радиально-упорные подшипники рассчитаны и на осевую, и на радиальную нагрузку.

На рис. 551—553 изображены подшипники различного типа: радиальный шариковый (рис. 551, а), радиально-упорный роликовый (рис. 552, а), упорный шариковый (рис. 553, а).

На чертежах общих видов и сборочных чертежах подшипники изображают упрощенно по ГОСТ 2.420—69. В осевых разрезах и сечениях внешний контур подшипника обводят сплошными основными линиями (рис. 551, б; 552, б; 553, б). Внутри каждой половины подшипника тонкими сплошными линиями проводят диагонали, а конструктивные особенности изображаемого подшипника не показывают, так как они ясны из обозначения, указываемого в спецификации. В случае необходимости показать на чертеже тип подшипника в его контурах вместо диагоналей помещают условное графическое обозначение типа подшипника по ГОСТ 2.770—68 (СТ СЭВ 2519—80) (рис. 551, в; 552, в; 553, в).

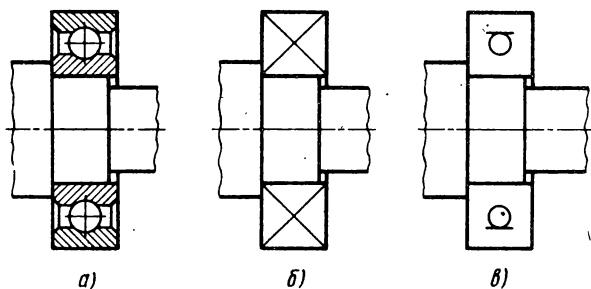


Рис. 551

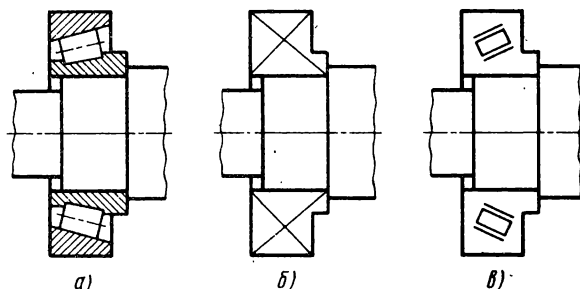


Рис. 552

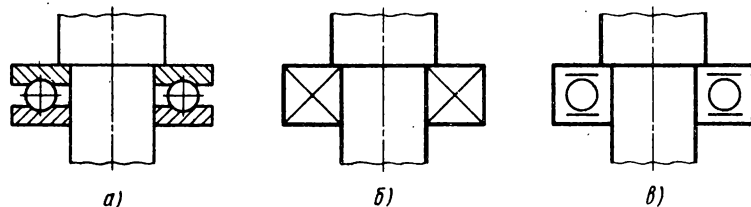


Рис. 553

## § 81. ИЗОБРАЖЕНИЕ УПЛОТНИТЕЛЕЙ НА ЧЕРТЕЖАХ ОБЩИХ ВИДОВ И СБОРОЧНЫХ ЧЕРТЕЖАХ

Уплотнители различных конструкций применяют для того, чтобы предотвратить утечку рабочей среды (жидкости, пара или газа) или смазочных материалов из рабочей полости механизма или устройства.

Для этого в неподвижных соединениях применяют различные прокладки, кольца, а в подвижных — кольца, манжеты, воротники, сальниковые и сальфонные устройства. Материалом для изготовления уплотнителей служат техническая резина, пластмассы, технический войлок, фетр.

На рис. 554 показано уплотнение, выполненное с помощью резиновой прокладки 1. При уплотнении зазоры между цилиндрическими поверхностями с помощью кольца его размеры подбирают таким образом, чтобы кольцо вы-

ступало из проточки, в которую оно заложено (рис. 555).

Прямоугольные кольца, устанавливаемые в проточки трапецеидального сечения, создают уплотнение за счет деформации (рис. 556). На рис. 556, б показана форма проточки и обозначены размеры, необходимые для ее изготовления. Величина размеров берется из таблицы соответствующего стандарта, где она зависит от диаметра вала  $d$ .

Надежное уплотнение создает сальниковое устройство, изображенное на рис. 557. По мере ослабления контакта набивки со шпинделем 1 и стенками отверстия в крышке 2 набивку поджимают (уплотняют) с помощью сальниковой втулки 3 и накидной гайки 4. Для набивки используют пропитанные техническим жиром, густой смазкой, графитовым порошком и т. п. хлопчатобумажные, пеньковые, асбестовые и другие шнуры, а также фторопластовые, войлочные и фетровые кольца.

На чертежах общих видов и сборочных чертежах сальниковую втулку 3 (рис. 557) показывают выдвинутой до соприкосновения с на-

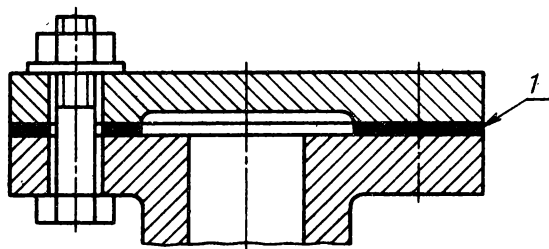


Рис. 554

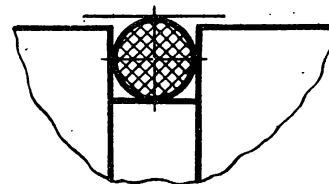


Рис. 555

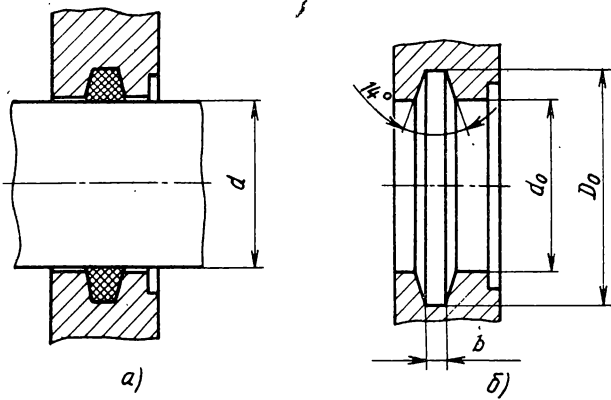


Рис. 556

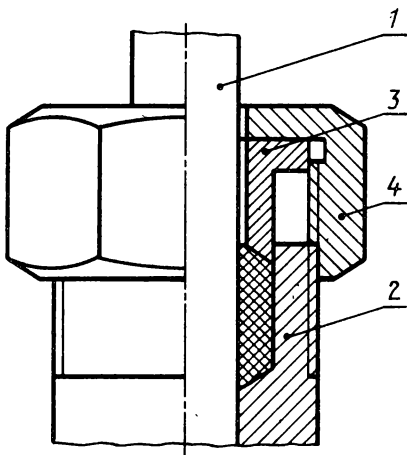


Рис. 557

кидной гайкой 4, которую изображают навинченной на резьбовой цилиндр крышки 2 на 2—3 витка. Это соответствует начальному рабочему положению сальниковой втулки и накладной гайки (до износа набивки).

## § 82. ВЫПОЛНЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ АРМИРОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Изделие, выполненное наплавкой на предварительно изготовленную деталь другого металла или сплава, а также заливкой или опрессовкой части или всей поверхности этой детали пластмассой, резиной или другими материалами, называют армированной деталью. Деталь или несколько деталей, подвергаемых дальнейшей обработке заливкой, опрессовкой, наплавкой, называют арматурой. Опрессовывая или заливая арматуру материалом, который формирует армированную деталь, обеспечивают монолитную связь арматуры и материала.

На рис. 558 показана бобышка на стенке пластмассового корпуса с запрессованной металлической втулкой. Винт, который крепит крышку к корпусу, ввертывается в резьбовое отверстие этой втулки, что обеспечивает прочность соединения. Резьбовое отверстие, сделанное в таком корпусе без втулки, очень быстро выкрошится. По периметру корпуса запрессовывается столько втулок, сколько винтов необходимо для крепления крышки.

На рис. 559 показана запорная игла с ручкой, опрессованной пресс-материалом. В ручку установлен металлический штифт для того, чтобы увеличить прочность. Без штифта ручка не выдержит даже незначительной нагрузки и быстро сломается.

Для изготовления армированной детали выполняют чертеж по типу сборочного чертежа. На нем проставляют все размеры, необходимые для придания окончательной формы материалу, которым производят заливку или опрессовку арматуры. Указывают также размеры, определяющие положение арматуры в материале. Размеры самой арматуры на этом чертеже не ставят.

Отдельный чертеж для материала не выполняют, так как материал поступает на сборку в расплавленном виде или в виде массы и приобретает форму при заливке или опрессовке.

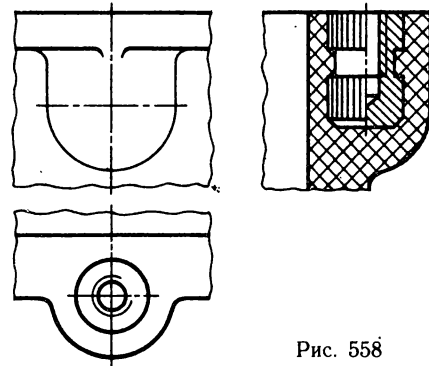


Рис. 558

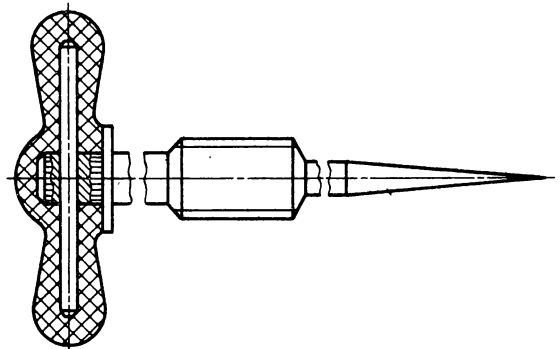


Рис. 559

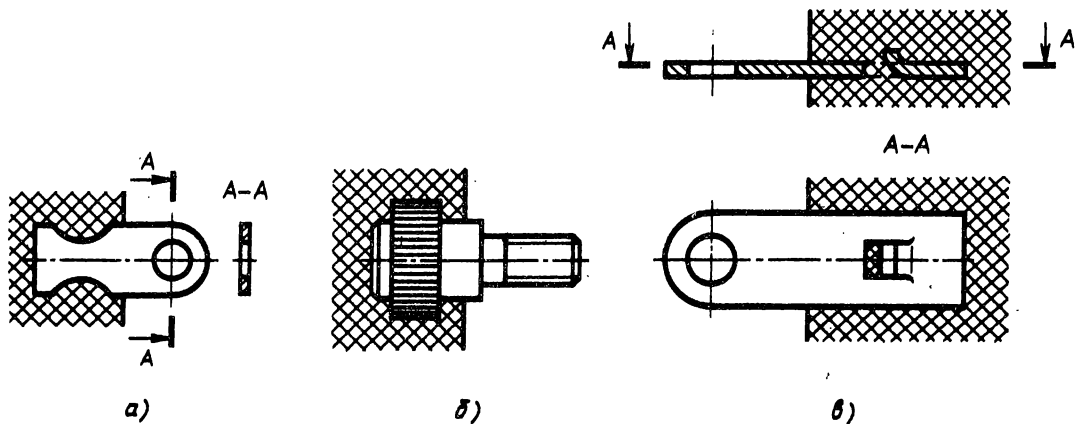


Рис. 560

Его записывают в спецификацию в графу «Материалы».

Для изготовления арматуры выполняют отдельные рабочие чертежи с указанием всех необходимых для этого данных.

Для прочной фиксации арматуры в материале на арматуре делают проточки, вырезы, различные отгибы, выполняют рифление и т. п. На рис. 560 показаны примеры такой арматуры.

Чертежи на рис. 561—563 иллюстрируют порядок выполнения и оформления чертежей армированных деталей, которые устанавливает ГОСТ 2.109—73 (СТ СЭВ 858—78, СТ СЭВ 1182—78, СТ СЭВ 4769—84, СТ СЭВ 5045—85).

Чертеж ручки (рис. 561) выполнен по типу сборочного чертежа. К нему сделан отдельный рабочий чертеж резьбовой втулки (рис. 562), на котором проставлены все необходимые размеры.

На чертеже армированной детали, выполненном по типу сборочного чертежа, эти размеры не повторяют. Здесь ставят только размеры, которые определяют положение арматуры в детали, и размеры, определяющие форму детали.

Обычно спецификация, определяющая состав сборочной единицы, выполняется на каждую сборочную единицу отдельно по ГОСТ 2.108—68 (СТ СЭВ 2516—80). Однако допускается для чертежей армированных деталей, выполненных на формате А4, помещать спецификацию на этом же чертеже над основной надписью.

Для нескольких деталей арматуры допускается простановка всех размеров, необходимых для их изготовления, непосредственно на чертеже армированной детали. В этом случае чертежи арматуры отдельно не выполняют (рис. 563; поз. 1).

При выполнении эскизов деталей узла и при детализации чертежей общего вида для армированных деталей эскизы или рабочие чертежи арматуры вычерчивают отдельно.

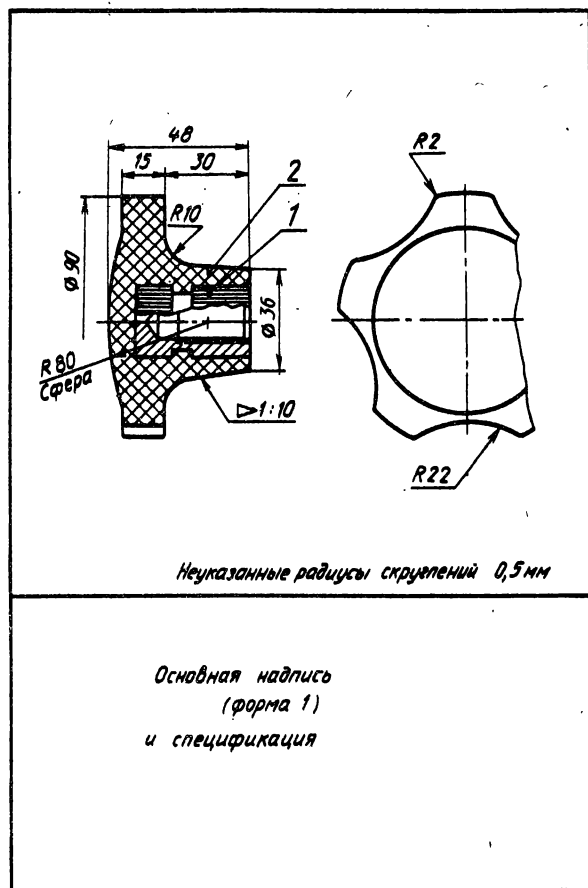


Рис. 561

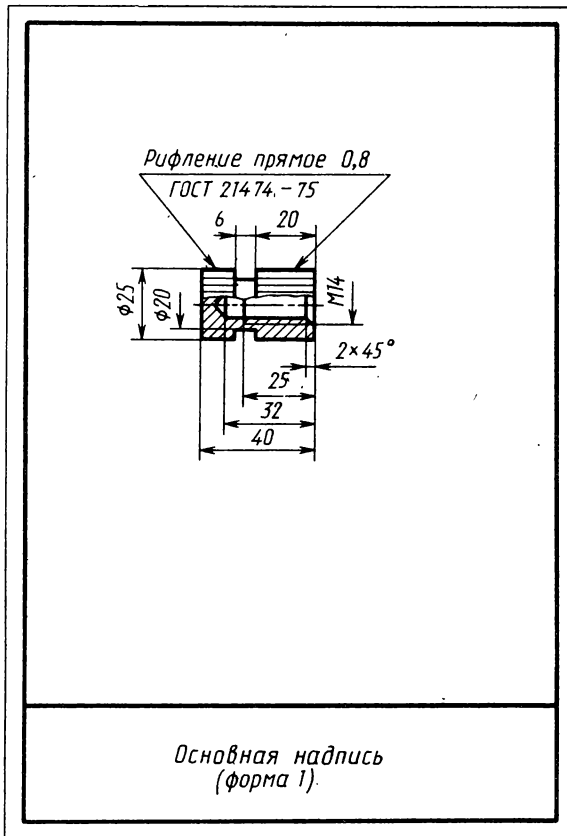


Рис. 562

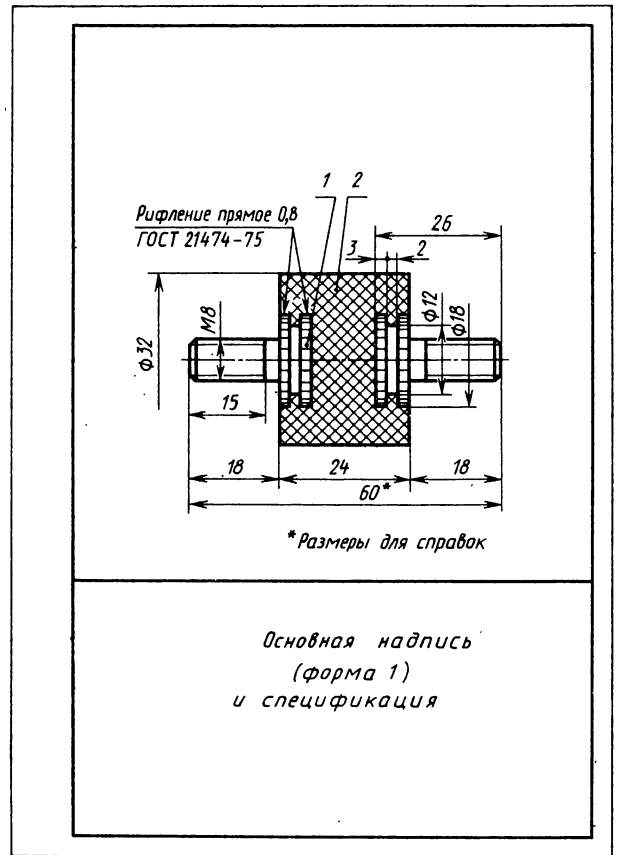


Рис. 563

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Чем отличается чертеж общего вида от сборочного чертежа?
2. Какие размеры проставляют на сборочном чертеже?
3. Каким номером шрифта выполняют номера позиций?
4. Как располагают полки линий-выносок с номерами позиций относительно изображения узла?
5. Какие элементы деталей допускается не показывать на сборочном чертеже?
6. Как располагают линии штриховки на смежных деталях узла?

7. Что такое спецификация?
8. На каком формате выполняют спецификацию?
9. В какую графу спецификации записывают порядковый номер составных частей изделия, их название?
10. Как используют габаритные прямоугольники при выполнении изображений?
11. Как штрихуют на чертеже разные изображения одной детали?
12. Как выбирают главное изображение детали?
13. Как определяют действительные размеры детали по чертежу, пользуясь графиком пропорционального масштаба?
14. Что такое армированная деталь?

# РАЗДЕЛ IV МАШИННАЯ ГРАФИКА

## ГЛАВА XXI

### ВЫПОЛНЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ДЕТАЛИ В AUTOCAD

Современные электронно-вычислительные машины позволяют перейти от традиционных, ручных методов разработки конструкторской документации к новым информационным технологиям с использованием специализированных программных средств. При этом полученная документация полностью соответствует стандартам ЕСКД по качеству исполнения документов. Важно отметить, что при создании конструкторских документов методами компьютерной графики (чертежи, схемы и т.п.) могут использоваться не только примитивы типа точка, отрезок прямой, окружность и др., но и фрагменты ранее созданных конструктивных элементов, например, графических изображений стандартных изделий, таких как болты, гайки, подшипники качения, типовых и унифицированных конструкций, их частей и т.д.

Вышеупомянутые фрагменты, как правило, заданы параметрически, что позволяет при их использовании изменять параметры и получать необходимые в каждом конкретном случае размер и форму. Это обеспечивает многовариантность графических изображений и, соответственно, чертежей и схем.

При таком подходе к конструированию применение ЭВМ не устраняет чертежа как основу конструирования, а компьютер служит «электронным кульманом» значительно ускоряющим процесс создания новых изделий.

Создание трехмерных геометрических моделей проектируемых изделий обеспечивает переход на более высокий качественный уровень конструирования.

Компьютерная графика является одним из наиболее важных элементов САПР (системы автоматизированного проектирования) изделий в самых разных отраслях промышленности.

Следует заметить, что вопрос о конкретных приложениях тех или иных разделов САПР к разным специальностям учебных заведений должны решать предметные комиссии. При этом, для каждой из специальностей используется специальная литература и соответствующее программное обеспечение для компьютерной графики.

Наиболее эффективными для САПР являются интерактивные средства компьютерной графики, обеспечивающие процесс конструирования – в диалоге «человек-ЭВМ». Не исключается при этом также применение смешанного режима, когда наряду с интерактивным используют также режим программирования.

Трехмерное компьютерное моделирование предоставляет пользователю-конструктору возможность применять естественный традиционный принцип проектирования изделия от его пространственной модели к его двумерному представлению, в том числе, и в виде чертежа.

Если ранее такая модель «созревала» в сознании конструктора, то теперь он может сформировать ее параллельно в памяти машины, вывести на экран и обсудить с клиентом и изготовителем. Так как трехмерная модель при современных средствах моделирования мало отличается от реального объекта, то в процессе ее демонстрации могут быть устранены многие недостатки изделия до того момента, когда начнется разработка проектно-конструкторской документации.

Трехмерные модели представляют собой объекты с обеспечением логической связности информации, в том числе благодаря введению понятия о материале и его физических свойствах (плотности, теплопроводности и др.). Это позволяет рассчитать по модели многие характеристики

ки объекта такие как, масса, объем, центр инерции и др.

В рассмотренных далее примерах используется методика трехмерного компьютерного моделирования в среде универсальной графической системы проектирования AutoCAD, разработанной компанией Autodesk.

AutoCAD, по нашему мнению, является одной из наиболее удобных систем для обучения учащихся школ и студентов техникумов методам машинной графики. Наличие нескольких версий (10, 12, 14 и 2000) позволяет работать на персональных компьютерах разных поколений, используемых в настоящее время в учебном процессе наших школ и техникумов.

Рассмотрим построение на компьютере в AutoCAD 2000 чертежа модели, показанной ранее на рис. 316.

При указанной разбивке модели на простые тела (стр. 169) имеется пять примитивов: 1 – шестигранная призма, 2 – усеченный конус, 3 – полусфера, 4 – призма (окно), 5 – призма (паз).

Выполним создание трехмерной геометрической модели в следующей последовательности.

## § 83. ТВЕРДАЯ МОДЕЛЬ

### Перемещение пользовательской системы координат

Command: ucs  
Текущее имя пск: \*МИР\*  
Enter an option  
[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World] <World>: m  
Specify new origin point or [Zdepth]<0,0,0>: 100,100

Command: ucs  
Текущее имя пск: \*БЕЗ ИМЕНИ\*  
Enter an option  
[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World] <World>: s  
Enter name to save current UCS or [?]: MyUCS

### Создание полилинии

Command: pline  
Specify start point: 0,0  
Current line-width is 0.0000  
Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 0,18  
Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 12,18  
Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 16,0

Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: c

### Вращение полилинии

Command: revolve  
Current wire frame density: ISOLINES=4  
Select objects: 1 found  
Select objects: <Enter>  
Specify start point for axis of revolution or define axis by [Object/X (axis)/Y (axis)]: y  
Specify angle of revolution <360>: <Enter>

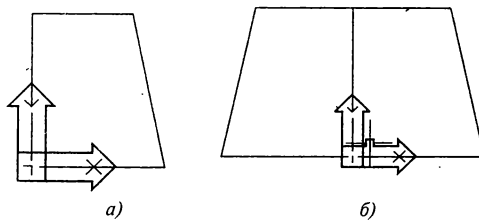


Рис. 564

(а - Создана замкнутая полилиния в форме трапеции, которая необходима для создания «усеченного конуса»  
(б - Создан примитив «усеченный конус»

### Создание сферы и призмы

Command: sphere  
Current wire frame density: ISOLINES=4  
Specify center of sphere <0,0,0>: 0,18  
Specify radius of sphere or [Diameter]: 12

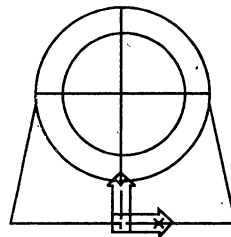


Рис.565

Создан примитив «сфера» с центром, совмещенным с центром верхнего основания «усеченного конуса»

*Поворот системы координат вокруг оси X:*

Command: ucs  
Текущее имя пск: MyUCS  
Enter an option  
[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World] <World>: x  
Specify rotation angle about X axis <90>: <Enter>

Command: polygon  
Enter number of sides <4>: 6  
Specify center of polygon or [Edge]: 0,0

Enter an option [Inscribed in circle/Circumscribed about circle] <I>: <Enter>  
Specify radius of circle: 23

Command: extrude  
Current wire frame density: ISOLINES=4  
Select objects: 1 found (*выделить шестиугольник*)  
Select objects: <Enter>  
Specify height of extrusion or [Path]: 13  
Specify angle of taper for extrusion <0>: <Enter>

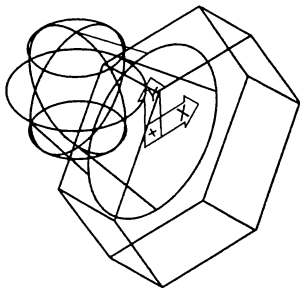


Рис. 566

Создан примитив «шестиугольная призма» с центром описанной окружности верхнего основания призмы совмещенным с центром нижнего основания «усеченного конуса»

### Объединение

Command: union  
*Выбрать тело вращения, сферу и призму:*  
Select objects: 1 found  
Select objects: 1 found, 2 total  
Select objects: 1 found, 3 total  
Select objects: <Enter>

Command: ucs  
Текущее имя пск: \*БЕЗ ИМЕНИ\*  
Enter an option  
[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World] <World>: r  
Enter name of UCS to restore or [?]: MyUCS

### Создание параллелепипедов для вычитания

Command: ucs  
Текущее имя пск: MyUCS  
Enter an option  
[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World] <World>: m  
Specify new origin point or [Zdepth]<0,0,0>: z  
Specify Zdepth<0>: 30

Command: rectang  
Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: -14,-13

Specify other corner point: 14,-8

Command: rectang  
Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: 7,24  
Specify other corner point: -7,6

Command: extrude  
Current wire frame density: ISOLINES=4  
*Выбрать созданные прямоугольники:*  
Select objects: 1 found  
Select objects: 1 found, 2 total  
Select objects: <Enter>Specify height of extrusion or [Path]: -60  
Specify angle of taper for extrusion <0>: <Enter>

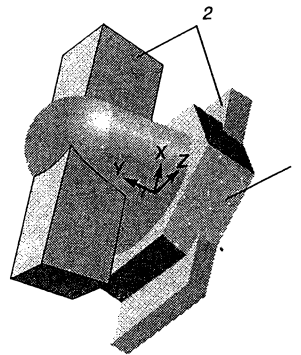


Рис. 567

Созданы примитивы (2) — две прямоугольные призмы для образования «окна» и «паза» в исходной модели(1). Исходная модель (1) получена ранее объединением примитивов «сфера», «усеченный конус» и «шестиугольная призма»

### Вычитание

Command: subtract  
Select solids and regions to subtract from ..  
*Выбрать тело, в котором нужно сделать отверстия.*

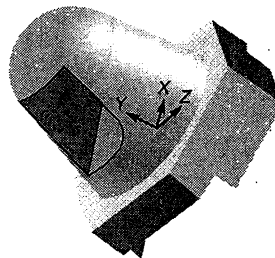


Рис.568

Создана твердая модель вычитанием прямоугольных призм из исходной модели

Select objects: 1 found  
Select objects: <Enter>

Select solids and regions to subtract ..  
*Выбрать параллелепипеды:*  
Select objects: 1 found  
Select objects: 1 found, 2 total  
Select objects: <Enter>

## § 84. ИЗОБРАЖЕНИЕ НА ЛИСТЕ

### Распределение по слоям

Command: ucs  
Текущее имя пск: MyUCS  
Enter an option  
[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/  
Apply/?/World] <World>: m  
Specify new origin point or [Zdepth]<0,0,0>: z  
Specify Zdepth<0>: -30

Command: layer  
*Создать слои с названиями «1» и «2».*

Command: copybase  
Укажите базовую точку: 0,0,0  
Select objects: 1 found  
Select objects: <Enter>

Command: layer  
*Для данного тела установить свойство Layer=>»1». Сделать слой «1» невидимым, а слой «0» - текущим.*

Command: pasteclip  
Specify insertion point: 0,0,0

Command: layer  
*Для появившегося тела установить свойство Layer=>»2». Сделать слой «2» невидимым, а слой «0»- текущим.*

Command: pasteclip  
Specify insertion point: 0,0,0

### Создание разреза №1

Command: layer  
*Сделать слой «1» видимым и текущим, а слои «2» и «0» - невидимыми.*

Command: slice  
Выбрать объект.  
Select objects: 1 found  
Select objects: <Enter>  
Specify first point on slicing plane by  
[Object/Zaxis/View/XY/YZ/ZX/3points] <3points>:  
xy

Specify a point on the XY-plane <0,0,0>: <Enter>  
Specify a point on desired side of the plane or [keep  
Both sides]: b  
*Теперь тело разрезано на две части.*

Command: slice  
*Выбрать одну из половин разрезанного тела.*  
Select objects: 1 found  
Select objects: <Enter>  
Specify first point on slicing plane by  
[Object/Zaxis/View/XY/YZ/ZX/3points] <3points>:  
yz  
Specify a point on the YZ-plane <0,0,0>: <Enter>  
Specify a point on desired side of the plane or [keep  
Both sides]: *Выбрать точку на той части «четверти» данного тела, которая должна остаться после разреза.*

*Объединить оставшуюся «четверть» и «половину» в одно:*

Command: union  
Select objects: 1 found  
Select objects: 1 found, 2 total  
Select objects: <Enter>

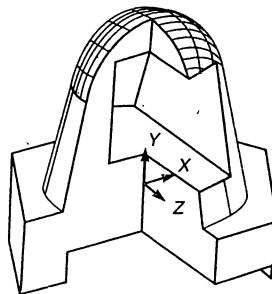


Рис. 569

Выполнены подготовительные операции на твердой модели для выполнения половинного разреза на виде слева

### Создание разреза №2

Command: layer  
*Сделать слой «2» видимым и текущим, а слои «1» и «0» — невидимыми.*

Command: ucs  
Текущее имя пск: MyUCS  
Enter an option  
[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/  
Apply/?/World] <World>: n  
Specify origin of new UCS or  
[Zaxis/3point/Object/Face/View/X/Y/Z] <0,0,0>:  
0,18,0

Command: slice  
*Выбрать объект.*

Select objects: 1 found  
 Select objects: <Enter>  
 Specify first point on slicing plane by  
 [Object/Zaxis/View/XY/YZ/ZX/3points] <3points>:  
 yz  
 Specify a point on the YZ-plane <0,0,0>: <Enter>  
 Specify a point on desired side of the plane or [keep  
 Both sides]: b

Command: slice  
 Select objects: 1 found  
 Select objects: <Enter>  
*Выбрать одну из половин разрезанного тела.*  
 Specify first point on slicing plane by  
 [Object/Zaxis/View/XY/YZ/ZX/3points] <3points>:  
 zx  
 Specify a point on the ZX-plane <0,0,0>: <Enter>  
 Specify a point on desired side of the plane or [keep  
 Both sides]: *Указать точку на нижней части  
 выбранной половины.*  
 Command: union  
 Select objects: 1 found  
 Select objects: 1 found; 2 total  
 Select objects: <Enter>

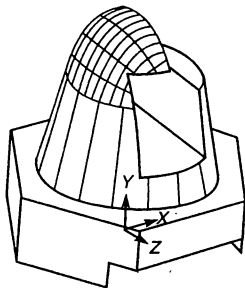


Рис. 570

Выполнены подготовительные операции на твердой модели для выполнения половинного разреза на виде сверху

### Новая система координат (для проекций)

Command: ucs  
 Текущее имя пск: \*БЕЗ ИМЕНИ\*  
 Enter an option  
 [New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/  
 Apply/?/World] <World>: r  
 Enter name of UCS to restore or [?]: MyUCS

Command: ucs  
 Текущее имя пск: MyUCS  
 Enter an option  
 [New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/  
 Apply/?/World] <World>: n

Specify origin of new UCS or  
 [Zaxis/3point/Object/Face/View/X/Y/Z] <0,0,0>:  
 -30,-20,-30

Command: ucs  
 Текущее имя пск: \*БЕЗ ИМЕНИ\*  
 Enter an option  
 [New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/  
 Apply/?/World] <World>: s  
 Enter name to save current UCS or [?]: Proj

### Создание вида «спереди»

Command: layer  
*Слои «1» и «2» сделать невидимыми, а слой «0» —  
 видимым и текущим.*

Command: layout  
 Enter layout option  
 [Copy/Delete/New/Template/Rename/Saveas/Set/?]  
 <set>: <Enter>  
 Enter layout to make current <Layout1>: <Enter>  
 Regenerating layout.  
 Regenerating model.

*Если на листе что-то появилось, то удалить  
 (выбирая рамки видовых экранов).*

Command: erase  
 Select objects: 1 found  
 Select objects: <Enter>

Command: solview  
 Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]: u  
 Enter an option [Named/World/?/Current]  
 <Current>: <Enter>  
 Enter view scale <1>: <Enter>  
 Specify view center: *Определить на экране центр  
 вида «спереди».*  
 Specify view center <specify viewport>: <Enter>  
*Определить рамку видового экрана.*  
 Specify first corner of viewport:  
 Specify opposite corner of viewport:  
 Enter view name: v1  
 UCSVIEW = 1 UCS will be saved with view  
 Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]:  
 <Enter>

Command: soldraw  
 Select viewports to draw..  
*Выбрать созданный видовый экран:*  
 Select objects: 1 found  
 Select objects: <Enter>  
 One solid selected.

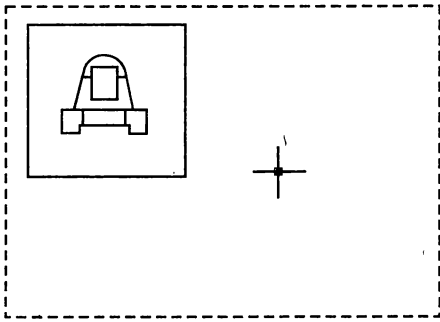


Рис. 571

Получено главное изображение (вид спереди) детали по твердой модели

### Создание вида «слева»

Command: layer

Заморозить слои «v1-DIM», «v1-HID» и «v1-VIS». Сделать слои «0» и «2» невидимыми, а слой «1» - видимым и текущим.

Command: solview

Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]: o  
Specify side of viewport to project: *Определить сторону видового экрана для получения новой проекции (в данном случае «щелкнуть» по середине левой стороны ВЭ).*

Specify view center:

Specify view center <specify viewport>: <Enter>

Specify first corner of viewport:

Specify opposite corner of viewport:

Enter view name: v2

UCSVIEW = 1 UCS will be saved with view

Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]:

<Enter>

Command: soldraw

Select viewports to draw..

*Выбрать только что созданный видовой экран.*

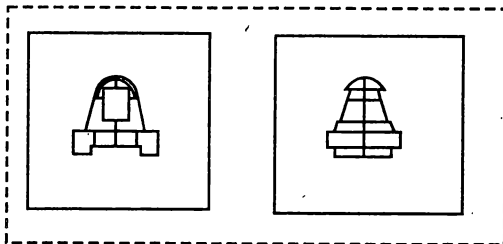


Рис. 572

Получен вид слева детали по твердой модели (без штриховки)

Select objects: 1 found  
Select objects: <Enter>  
One solid selected.

### Создание вида «сверху»

Command: layer

Сделать слои «0» и «1» невидимыми, а слой «2» - видимым и текущим.

Заморозить слои «v2-DIM», «v2-HID» и «v2-VIS».

Command: solview

Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]: o

Specify side of viewport to project: *Выбрать верхнюю сторону первого видового экрана.*

Specify view center:

Specify view center <specify viewport>: <Enter>

Specify first corner of viewport:

Specify opposite corner of viewport:

Enter view name: v3

UCSVIEW = 1 UCS will be saved with view

Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]:

<Enter>

Command: soldraw

Select viewports to draw..

Select objects: 1 found

Select objects: <Enter>

One solid selected.

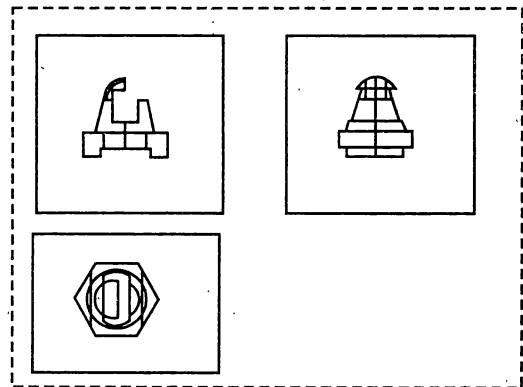


Рис. 573

Получен вид сверху детали по твердой модели (без штриховки)

*Далее можно разморозить все слои; сделать невидимыми «0», «1», «2», «v1-HID», «v2-HID», «v3-HID» и «VPORIS». В результате в пространстве листа получится изображение детали в трех проекциях.*

Command: model  
Regenerating model.

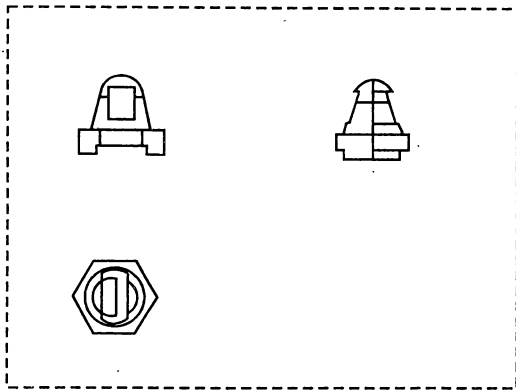


Рис. 574.

Закончено формирование чертежа детали по твердой модели (разрезы не имеют штриховки)

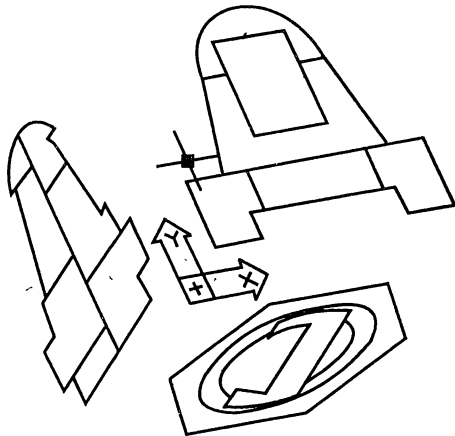


Рис. 575

Чертеж детали (без штриховки) представлен в пространстве модели (в увеличенном масштабе) для большей наглядности

### § 85. Доводка

В пространстве модели появились три плоских изображения – три проекции. Их можно далее отредактировать: проставить размеры, заштриховать нужные области, изобразить оси симметрии и пр. (При этом нужно включать подходящий текущий слой. Лучше всего – DIM.)

Выполнив все это, получим (в модели) рис. 576. Вид в пространстве листа (см. рис. 577).

Выключим все слои, кроме «0».

Перейдем в пространство модели. Расположим созданное тело в подходящем ракурсе с помощью команды view или 3dorbit. Далее:

Command: ucs

Текущее имя пск: \*БЕЗ ИМЕНИ\*

Enter an option

[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World] <World>: n

Specify origin of new UCS or [Zaxis/3point/Object/Face/View/X/Y/Z] <0,0,0>: ob

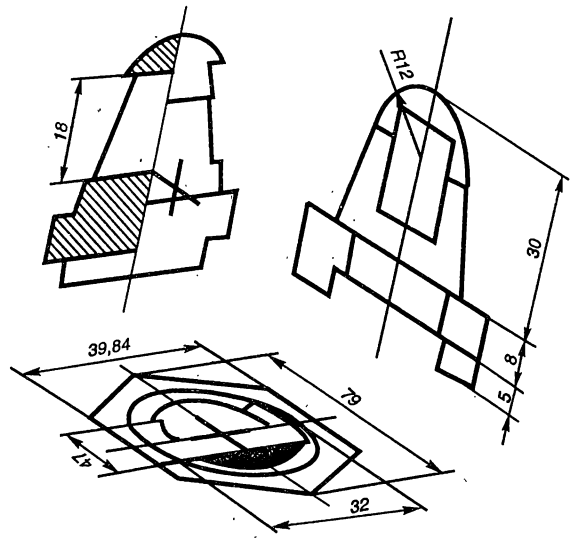


Рис. 576

Отредактированный чертеж детали в пространстве модели (выполнена штриховка, проставлены размеры)

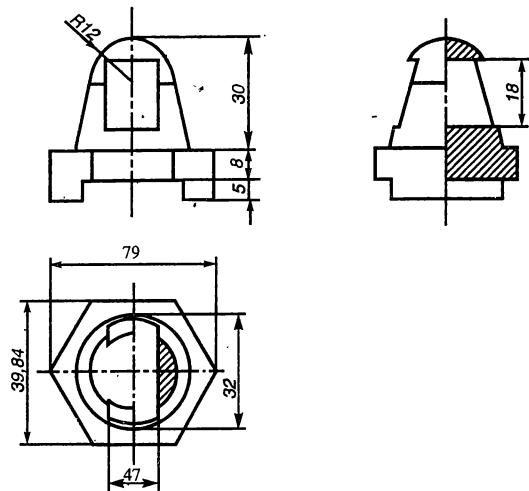


Рис. 577

Command: layout

Enter layout option

[Copy/Delete/New/Template/Rename/Saveas/Set/?]

<set>: <Enter>

Enter layout to make current <Layout1>: <Enter>

Regenerating layout.

Regenerating model.

Command: solview

Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]: u

Enter an option [Named/World/?/Current]

<Current>: <Enter>

Enter view scale <1>: <Enter>  
 Specify view center: *Определить центр видового экрана.*  
 Specify view center <specify viewport>: <Enter>  
*Определить границы видового экрана.*  
 Specify first corner of viewport:  
 Specify opposite corner of viewport:  
 Enter view name: v4  
 UCSVIEW = 1 UCS will be saved with view  
 Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]:  
 <Enter>  
 Command: soldraw  
 Select viewports to draw..  
*Выбрать только что созданный видовой экран.*  
 Select objects: 1 found  
 Select objects: <Enter>  
 One solid selected.

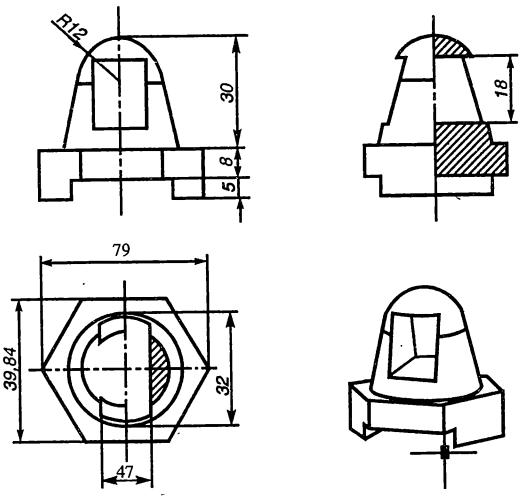


Рис. 578

Отредактированный чертеж детали в пространстве листа дополнен пространственным изображением детали (ракурс подобран так, чтобы возможно полнее были видны все элементы составляющие деталь)

*После этого следует сделать невидимым слой «v4-HID», «v3-HID», «v2-HID», «v1-HID», «0», «1», «2», «VPORIS».*  
*Возможен и другой способ моделирования твердого тела. Исходное тело создаем как тело вращения. Шестигранную призму получим «срезанием» граней. Пазы выполним, как и в предыдущем случае – «вычитанием» двух призм.*

## § 86. ТВЕРДАЯ МОДЕЛЬ (СПОСОБ 2)

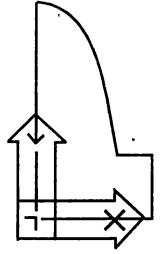
### Новая система координат

Command: ucs  
 Текущее имя пск: \*МИР\*  
 Enter an option  
 [New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply?/World] <World>: n  
 Specify origin of new UCS or  
 [Zaxis/3point/Object/Face/View/X/Y/Z] <0,0,0>:  
 100,87

Command: ucs  
 Текущее имя пск: \*БЕЗ ИМЕНИ\*  
 Enter an option  
 [New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply?/World] <World>: s  
 Enter name to save current UCS or [?]: MyUCS

### Полилиния

Command: pline  
 Specify start point: 0,0  
 Current line-width is 0.0000  
 Specify next point or  
 [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 23,0  
 Specify next point or  
 [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 23,13  
 Specify next point or  
 [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 16,13  
 Specify next point or  
 [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 12,31  
 Specify next point or  
 [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: a  
 Specify endpoint of arc or  
 [Angle/CEnter/CLose/Direction/Halfwidth/Line/Radius/Second pt/Undo/Width]: r  
 Specify radius of arc: 12  
 Specify endpoint of arc or [Angle]: 0,43



8:<

Рис.579

Создана замкнутая полилиния сложной формы, которая необходима для создания базовой твердой модели (не имеющей плоских граней примитива – «шестигранная призма»)

Specify endpoint of arc or  
 [Angle/CENter/CLose/Direction/Halfwidth/Line/  
 Radius/Second pt/Undo/Width]: 1  
 Specify next point or  
 [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: c

### Вращение полилинии

Command: revolve  
 Current wire frame density: ISOLINES=4  
 Select objects: 1 found  
 Select objects: <Enter>  
 Specify start point for axis of revolution or  
 define axis by [Object/X (axis)/Y (axis)]: y  
 Specify angle of revolution <360>: <Enter>

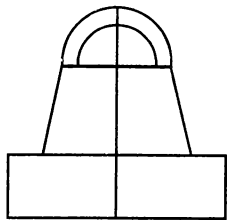


Рис. 580

Создана базовая твердая модель (не имеющая плоских граней примитива — «шестигранная призма»)

### Призма с отверстием

Command: ucs  
 Текущее имя пск: MyUCS  
 Enter an option  
 [New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/  
 Apply/?/World] <World>: x  
 Specify rotation angle about X axis <90>: <Enter>

Command: layer  
 Создать новый слой «1», сделать его текущим.  
 Сделать слой «0» невидимым.

Command: polygon  
 Enter number of sides <4>: 6  
 Specify center of polygon or [Edge]: 0,0  
 Enter an option [Inscribed in circle/Circumscribed  
 about circle] <I>: i  
 Specify radius of circle: 23

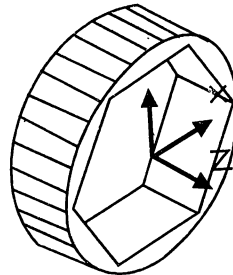
Command: circle  
 Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan  
 radius)]: 0,0  
 Specify radius of circle or [Diameter]: 25

«Выдавим» шестиугольник и окружность:

Command: extrude  
 Current wire frame density: ISOLINES=4

Выбрать шестиугольник и окружность.  
 Select objects: 1 found  
 Select objects: 1 found, 2 total  
 Select objects: <Enter>  
 Specify height of extrusion or [Path]: -15  
 Specify angle of taper for extrusion <0>: <Enter>

Command: subtract  
 Select solids and regions to subtract from ..  
 Выбрать цилиндр.  
 Select objects: 1 found  
 Select objects: <Enter>  
 Select solids and regions to subtract ..  
 Выбрать шестиугольную призму.  
 Select objects: 1 found  
 Select objects: <Enter>



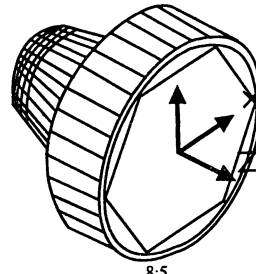
8,4

Рис. 581

Создан «инструмент» для «срезания» плоских граней призмы — кольцо, имеющее внутреннюю призматическую поверхность, соответствующую форме примитива «призма»

### «Срезание» граней

Сделать видимым слой «0».



8,5

Рис. 582

«Инструмент» совмещен с базовой твердой моделью

Command: subtract  
 Select solids and regions to subtract from ..  
 Выбрать тело вращения.  
 Select objects: 1 found  
 Select objects: <Enter>  
 Select solids and regions to subtract ..

Выбрать призму с отверстием:

Select objects: 1 found  
Select objects: <Enter>  
Command: ucs  
Текущее имя пск: \*БЕЗ ИМЕНИ\*  
Enter an option  
[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/  
Apply/?/World] <World>: x  
Specify rotation angle about X axis <90>: -90

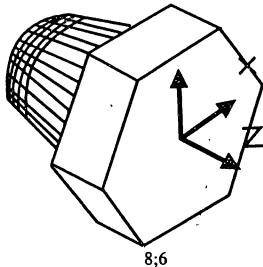


Рис. 583

Выполнено «срезание» плоских граней на базовой модели.

Создана твердая исходная модель детали, на базе которой, после выполнения операций, описанных ранее, получим чертеж детали

Command: ucs  
Текущее имя пск: \*БЕЗ ИМЕНИ\*  
Enter an option  
[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/  
Apply/?/World] <World>: m  
Specify new origin point or [Zdepth]<0,0,0>: 0,13

Command: ucs  
Текущее имя пск: \*БЕЗ ИМЕНИ\*  
Enter an option  
[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/  
Apply/?/World] <World>: s  
Enter name to save current UCS or [?]: MyUCS  
UCS "MyUCS" already exists. Replace it? <N> y

*Далее можно повторить операции, описанные в пунктах 1.6—2.7.*

*Получим аналогичный результат.*

### Заключение

На базе примера, приведенного в этой главе, можно выполнить на компьютере чертеж практически любой сложной детали. Однако, следует подробно ознакомиться с литературой, описывающей работу графических пакетов, таких как, например, AutoCAD 2000.

## ЛИТЕРАТУРА

### Использованная

1. Баталов Н.М., Малкин Д.М. Технические основы машиностроительного черчения. — М.: Машгиз, 1962. 500 с.
2. Вяткин Г.П. и др. Машиностроительное черчение. — М.: Машиностроение, 1985. 336 с.
3. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора. — Л.: Машиностроение, 1983. 463 с.
4. Дружинин Н.С., Цыблов П.П. Курс черчения. — М.: Высшая школа, 1971. 293 с.
5. Каменев В.И. Курс машиностроительного черчения. 6-е изд., перераб. — М.: Машгиз, 1955. 163 с.
6. Суворов С.Г., Суворова Н.С. Машиностроительное черчение в вопросах и ответах. Справочник. — М.: Машиностроение, 1984.
7. Бабулин Н.А. Построение и чтение машиностроительных рабочих чертежей. Всесоюзное учебно-педагогическое издательство Трудрезервиздат, 1957.
8. Матвеев А.А., Борисов Д.М., Богомолов П.Н. Черчение. — Л.: Машиностроение, 1979.
9. Миронова Р.С., Миронов Б.Г. Сборник заданий по черчению. — М.: Высшая школа, 1984. 263 с.
10. Могильный И.М. Техническое черчение. 4-е изд., перераб. и доп. — Киев: Машгиз, 1956. 388 с.
11. Розов С.В. Курс черчения. — Машгиз, 1963. 319 с.
12. Серебряков А.А., Янковский К.А., Плешкин М.М. Черчение. — М.: Трудрезервиздат, 1957. 162 с.
13. Федоренко В.А., Шошин А.И. Справочник по машиностроительному черчению. — Л.: Машиностроение, 1981. 416 с.
14. Фролов С.А., Воинов А.В., Феоктистов Е.Д. Машиностроительное черчение. — М.: Машиностроение, 1981. 297 с.

### Рекомендуемая

1. Баранова Л.А. Основы черчения — М.: Высшая школа, 1994.
2. Боголюбов С.К. Черчение — М.: Машиностроение, 1997.
3. Боголюбов С.К. Черчение и детализация сборочных чертежей, альбом — М.: Машиностроение, 1996.
4. Чекмарев А.А. Справочник по машиностроительному черчению. — М.: Высшая школа, 2000.
5. Романычева Т.Э., Трошина Т.Ю. AutoCAD-2000 — М.: изд-во ДМК, 1999.
6. Сидоренков А., Басов К. AutoCAD-2000. Практический курс. — М.: изд-во ДЕСС-КОМ, 2000.
7. Маделбрук М., Смит В. AutoCAD для чайников. — М., С-Петербург, Киев, 1999.

\*

Вместе с учебником «Инженерная графика» издательство «Высшая школа» выпустило в 2000 г. учебное пособие «Сборник заданий по инженерной графике». Нужно отметить, что при работе над «Сборником заданий ...» авторы использовали ту же учебно-методическую литературу, что и при работе над учебником (см. стр. 283 «Учебника ...»).

При разработке чертежей для детализования (раздел V) использованы чертежи общих видов, выполненные в разные годы, в основном, с натуры авторами, а также студентами.

# ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

---

**А**  
Асимптота 63

**Б**  
База 245  
Боковая поверхность  
— конуса 121  
— пирамиды 107  
— призмы 107  
— цилиндра 118, 119.

**В**  
Вершина 69, 121  
Вид  
— главный 189  
— дополнительный 190  
— местный 190  
Виды основные 189  
Винт 219  
Виток  
— винтовой линии 201  
— резьбы 204  
Вторичные проекции точки 100  
Выносной элемент 190  
Высота  
— конуса 121  
— цилиндра 119

**Г**  
Гайка 214  
Гипербола 63  
Гипоциклоида 65  
ГОСТ 187  
Грань 69  
Графика 4

**Д**  
Детали  
— армированные 270  
— резьбовые крепежные 214  
Деталь 188  
Деталирование 265

Директриса (параболы) 62  
Документация рабочая 189  
Допуски 246  
Дубликаты 188

**Е**  
Единая система конструкторской документации (ЕСКД) 187

**З**  
Завиток 58  
Заклейка 232  
Зацепление  
— зубчатое 233, 340  
— реечное 233

**И**  
Изделие 187  
Изображение условное  
— подшипников 268  
— пружин 266  
— резьб 207  
— швов клееных 233  
— паяных 233  
— сварных 230  
Инструменты  
— измерительные 255...256  
— чертежные 10...15

**К**  
Карандаш 9  
Касание  
— внешнее 50  
— внутреннее 50  
— смешанное 54  
Квалитет 247  
Колесо зубчатое 234  
— ведомое 234  
— ведущее 234  
— коническое 237  
— цилиндрическое 234  
— червячное 238, 239

Кольцо 124  
Комплект 188  
Конус 121  
Конусность 57  
Копии 188  
Кривые линии 58...60  
Кронциркуль  
— падающий 15  
— разметочный 13, 255

## Л

Лекала 12  
Линейка 12  
Линии чертежа 17  
Линия  
— винтовая 201, 202  
— размерная 25

## М

Масштаб 17  
Меридиан 117  
Модуль зацепления 234  
Муфта 221

## Н

Надпись основная 17  
Накатка резьбы 204  
Направляющая 64, 117  
Нарезка резьбы 204  
Начало координат 72  
Недорез 211  
Нутромер 255

## О

Обозначение  
— материалов 197  
— обработки термической 252  
— покрытий 251  
— резьб 207, 209...211  
— сварных швов 230  
— шероховатости 249  
Образующая 117  
Овал 59  
Овоид 59  
Окружность делительная 234  
Оригинал 188  
Оси  
— координат 72  
— проекций 72  
Основание  
— конуса 121  
— пирамиды 107  
— цилиндра 119  
Основания призмы 107  
ОСТ 187  
Отклонение предельное 246, 247

## П

Парабола 62  
Параллель 117

Передача зубчатая 233, 240...242  
Пирамида 112  
План 276  
Плоскости  
— проекций 70, 71  
— общего положения 84  
Плоскость проецирующая 84  
Поверхность  
— винтовая 202  
— вращения 117  
— коническая 121  
— сферическая 124  
— тора 124  
— цилиндрическая 118

Подлинник 188  
Подшипники 268  
Посадки 247  
Призма 168  
Проект 189  
Проекция  
— аксонометрические 99  
— прямой 76...83  
— прямоугольные 70  
— точки 72...76

Проекция 69  
Процирование 69...71  
Производящая 69  
Простановка размеров 245  
Проточки 213

Профиль  
— резьбы 204  
— зуба 234

Пружины 268  
Прямоугольники габаритные 171  
Прямые 77, 78  
— общего положения 77  
— параллельные 35, 82  
— пересекающиеся 80  
— перпендикулярные 36  
— скрещивающиеся 80

## Р

Развертки 133, 135, 138, 141  
Радиусомер 255  
Размеры  
— габаритные 26  
— диаметра 30  
— действительные 246  
— квадрата 32  
— номинальные 246  
— радиусов 28, 29  
— справочные 28  
— угловые 28  
— фасок 32  
— шрифта 19  
Разрез 175  
— ломаный 192  
— местный 176

— наклонный 192  
— поперечный 175  
— продольный 175  
— простой 175, 192  
— сложный 192  
— ступенчатый 192  
**Ребро** 69  
**Резинка** 10  
**Резьба** 204...207  
**Рейка** 240  
**Рейщина** 10, 11  
**Рисунок** 11  
— технический 179, 183  
**Рифление** 200

## С

**Сбег резьбы** 211  
**Сборочный чертеж** 188  
**Сечение** 194, 195  
**Синусоида** 67  
**Соединение деталей**  
— — заклепками 232  
— — пайкой 233  
— — сваркой 228  
— — склеиванием 233  
— — шпилькой 118  
— — шпонкой 225  
— — штифтом 223  
**Соединения** 214, 228  
**Сопряжения** 46  
**Способ**  
— вращения 95  
— конкурирующих точек 82  
— плоскопараллельного перемещения 96  
— совмещения 98  
**Спецификация** 188, 261  
**Спираль** 66  
**Срез** 130  
**СТ СЭВ** 187  
**Схемы** 188

## Т

**Тела вращения** 117  
**Тор** 124  
**Точка**  
— входа 149  
— выхода 149  
— касания 46  
— сопряжения 46

## У

**Угол**  
— координат 72  
— профиля резьбы 204  
**Угольники** 12  
**Уклон** 56  
**Уплотнители** 269

## Ф

**Фасад** 280  
**Фаска** 213  
**Фигура среза** 130  
**Фитинги** 221  
**Форматы чертежные** 16  
**Фундамент** 273

## Х

**Ход резьбы** 204

## Ц

**Центр проецирования** 70  
**Центрик** 15  
**Циклоида** 64  
**Цилиндр** 118  
**Циркуль** 13

## Ч

**Червяк** 238  
**Чертеж** 4  
— детали 188  
— общего вида 188, 257  
— ортогональный 72  
— сборочный 188, 259  
— строительный 273  
**Чертежи групповые** 244  
**Чертежная доска** 9  
**Черчение проекционное** 69  
**Число размерное** 25, 27

## Ш

**Шаг**  
— винтовой линии 201  
— зубчатого колеса 234  
— резьбы 204  
**Шайбы** 215  
**Шар** 126  
**Шероховатость поверхности** 249  
**Шестерня** 234  
**Шпилька** 218  
**Шплинт** 223  
**Шпонка** 225  
**Шраффировка** 184  
**Шрифт** 19  
**Штангенциркуль** 225  
**Штифт** 223  
**Штриховка** 184

## Щ

**Щитки**

## Э

**Эвольвента** 67  
**Эллипс** 61  
**Эпициклоида** 64  
**Эскиз** 252

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....			
Введение .....			
<b>РАЗДЕЛ I</b>			
<b>ГРАФИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ. ГРАФИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ....</b>			
<i>Глава I. Чертежные инструменты и принадлежности, их назначение и приемы работы с ними</i> .....			
§ 1. Чертежные принадлежности .....	9		
§ 2. Чертежные инструменты .....	10		
<i>Глава II. Оформление чертежей</i> .....			
§ 3. Форматы. Рамка и основная надпись .....	16		
§ 4. Масштабы .....	17		
§ 5. Линии чертежа .....	17		
§ 6. Шрифты чертежные .....	19		
§ 7. Основные правила нанесения размеров на чертежах .....	25		
§ 8. Рекомендации по выполнению чертежей .....	32		
<i>Глава III. Геометрические построения</i> .....			
§ 9. Проведение параллельных и перпендикулярных линий .....	35		
§ 10. Деление отрезка прямой на равные части .....	37		
§ 11. Построение и деление углов .....	37		
§ 12. Построение плоских фигур .....	39		
§ 13. Нахождение центра окружности или дуги и определение величины их радиусов .....	40		
§ 14. Деление окружности на равные части и построение правильных вписанных многоугольников .....	41		
§ 15. Сопряжения .....	45		
Рекомендации по выполнению сопряжений на чертежах .....	55		
§ 16. Уклон и конусность .....	56		
<i>Глава IV. Кривые линии</i> .....			
§ 17. Коробовые кривые линии .....	58		
§ 18. Лекальные кривые .....	60		
<b>РАЗДЕЛ II</b>			
<b>ОСНОВЫ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ И ПРОЕКЦИОННОЕ ЧЕРЧЕНИЕ....</b>			
<i>Глава V. Способы получения графических изображений</i> .....			
§ 19. Центральное и параллельное проецирование ...	69		
§ 20. Ортогональные проекции. Проекция точки, прямой и плоскости .....	71		
§ 21. Взаимное расположение прямой, точки и плоскости .....			87
§ 22. Пересечение прямой с плоскостью и пересечение двух плоскостей .....			89
<i>Глава VI. Способы преобразования проекций</i> .....			
§ 23. Способ перемены плоскостей проекций .....			94
§ 24. Способ вращения .....			95
§ 25. Способ совмещения .....			98
<i>Глава VII. Аксонометрические проекции</i> .....			
§ 26. Прямоугольные аксонометрические проекции			99
§ 27. Косоугольные аксонометрические проекции ...			101
§ 28. Построение плоских геометрических фигур в аксонометрии .....			101
<i>Глава VIII. Геометрические тела в ортогональных и аксонометрических проекциях. Развертка поверхностей геометрических тел</i> .....			
§ 29. Многогранники .....			107
§ 30. Тела вращения .....			117
<i>Глава IX. Пересечение поверхностей геометрических тел проецирующими плоскостями. Построение ортогональных проекций, линий среза, аксонометрических проекций и разверток поверхностей усеченных геометрических тел</i> .....			
§ 31. Пересечение многогранников проецирующей плоскостью .....			130
§ 32. Пересечение тел вращения проецирующей плоскостью .....			135
§ 33. Построение линии среза .....			143
<i>Глава X. Взаимное пересечение поверхностей геометрических тел</i> .....			
§ 34. Построение точек пересечения прямой линии с поверхностью геометрических тел .....			149
§ 35. Построение линии взаимного пересечения поверхностей двух многогранников .....			156
§ 36. Построение линии взаимного пересечения поверхности многогранника с поверхностью тела вращения .....			159
§ 37. Построение линии взаимного пересечения двух тел вращения .....			162
§ 38. Построение чертежей моделей, состоящих из простых геометрических тел и имеющих линии пересечения поверхностей .....			168
<i>Глава XI. Проекционное черчение</i> .....			

§ 39. Компоновка и последовательность выполнения чертежа модели .....	171
§ 40. Построение третьей проекции модели по двум данным проекциям .....	172
§ 41. Построение трех проекций модели по ее наглядному изображению .....	173
§ 42. Простые разрезы .....	175
<i>Глава XIII. Техническое рисование</i> .....	179
§ 43. Выполнение технических рисунков плоских геометрических фигур .....	179
§ 44. Выполнение технического рисунка геометрических тел и нанесение светотени на их поверхности .....	183
§ 45. Выполнение технического рисунка модели .....	185

### РАЗДЕЛ III

#### МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

##### *Глава XIII. Основные сведения о конструкторской документации* .....

§ 46. Стандартизация и ЕСКД .....	187
§ 47. Виды изделий .....	187
§ 48. Конструкторские документы и стадии их разработки .....	188

##### *Глава XIV. Изображения изделий на машиностроительных чертежах* .....

§ 49. Виды. Выносные элементы .....	189
§ 50. Разрезы .....	192
§ 51. Сечения .....	194
§ 52. Графические обозначения материалов и правила их нанесения на чертежах .....	197
§ 53. Условности и упрощения .....	198

##### *Глава XV. Винтовые линии и винтовые поверхности* .....

§ 54. Винтовые линии .....	201
§ 55. Винтовые поверхности .....	202

##### *Глава XVI. Резьба и резьбовые изделия* .....

§ 56. Общие сведения о резьбе .....	204
§ 57. Профили резьб и их основные параметры .....	205
§ 58. Изображение и обозначение резьбы .....	207
§ 59. Технологические элементы резьбы .....	211

##### *Глава XVII. Разъемные и неразъемные соединения* .....

§ 60. Разъемные соединения и их элементы .....	214
§ 61. Неразъемные соединения .....	228

##### *Глава XVIII. Зубчатые передачи* .....

.....	223
-------	-----

§ 62. Цилиндрические зубчатые колеса, их элементы и изображения .....	234
§ 63. Конические зубчатые колеса, их элементы и изображение .....	237
§ 64. Червяки, червячные колеса, их элементы и изображения .....	238
§ 65. Рейки, их элементы и изображение .....	240
§ 66. Изображение зубчатых передач .....	240
<i>Глава XIX. Чертежи деталей</i> .....	243
§ 67. Основные требования к чертежам деталей .....	243
§ 68. Нанесение размеров .....	244
§ 69. Допуски и посадки .....	246
§ 70. Обозначение шероховатости поверхности детали .....	249
§ 71. Нанесение на чертежах обозначений покрытий и термической обработки поверхностей деталей .....	251
§ 72. Выполнение эскизов с натуры .....	252
§ 73. Обмер деталей .....	255

##### *Глава XX. Чертеж общего вида и сборочный чертеж* .....

§ 74. Чертеж общего вида .....	257
§ 75. Сборочный чертеж .....	259
§ 76. Спецификация .....	261
§ 77. Выполнение сборочных чертежей и чертежей общих видов .....	264
§ 78. Деталирование .....	265
§ 79. Чертежи пружин .....	266
§ 80. Изображение подшипников качения на чертежах общих видов и сборочных чертежах .....	268
§ 81. Изображение уплотнителей на чертежах общих видов и сборочных чертежах .....	269
§ 82. Выполнение чертежей армированных деталей .....	270

### РАЗДЕЛ IV

#### МАШИННАЯ ГРАФИКА

<i>Глава XXI. Выполнение чертежа детали в AutoCAD</i> ....	273
§ 83. Твердая модель .....	274
§ 84. Изображение на листе .....	276
§ 85. Доводка .....	279
§ 86. Твердая модель (способ 2) .....	280
Литература .....	283
Предметный указатель .....	284

Учебное издание

Миронова Роза Семеновна.  
Миронов Борис Григорьевич

#### ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

Редактор *Т. С. Костян*  
Художник *В. А. Дмитриев*  
Художественный редактор *Ю. Э. Иванова*  
Технический редактор *Н. В. Быкова*

Изд. № ХЕ-228. Подп. в печать 16.08.2001  
Формат 84x108 1/16. Бум. газетн.  
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная  
Объем: 30,24 усл. печ. л., 31,24 усл. кр.-отт., 32,13 уч.-изд. л.  
Тираж 15 000 экз. Заказ № 1745

ЛР № 010146 от 25.12.96. ГУП «Издательство «Высшая школа», 127994, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., 29/14.  
Факс: 200-03-01, 200-06-87 E-mail: V-Shkola@g23.relcom.ru  
http: // www.v-shkola.ru

ЛР № 071190 от 11.07.95. Издательский центр «Академия», 105043, Москва, ул. 8-я Парковая, д. 25.

Отпечатано в ФГУП ИПК «Ульяновский Дом печати»  
432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14.

**Издательство  
"Высшая школа"**

---

Москва  
ул. Неглинная, 29/14  
тел. 200-07-69  
факс 200-03-01

**СПЕШИТЕ ЗАКАЗАТЬ:**

---

**Р.С.Миронова  
Б.Г.Миронов**

**Сборник  
заданий  
по инженерной  
графике**

ISBN 5-06-003801-7



9 785060 038019