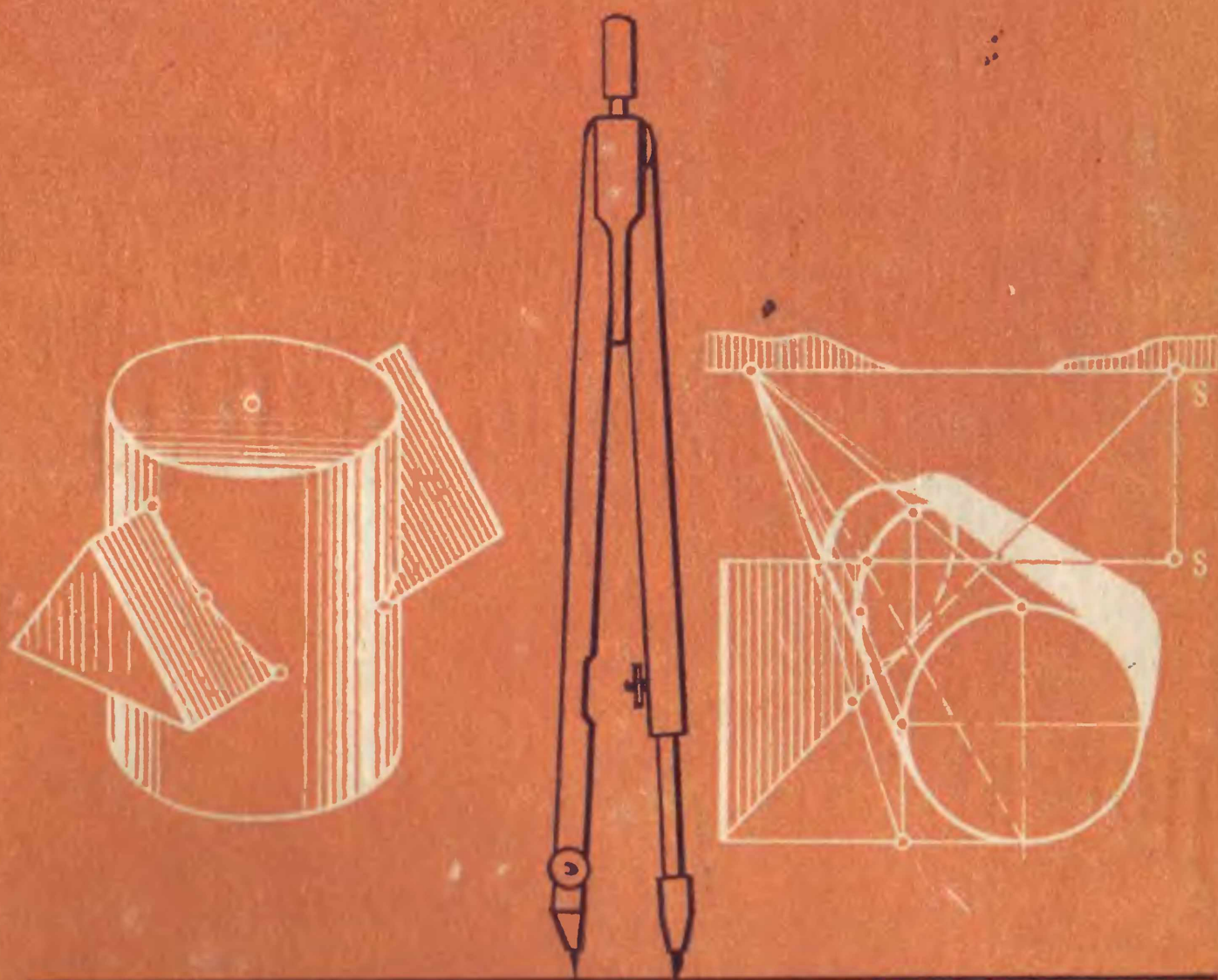


С. А. СОЛОВЬЕВ, Г. В. БУЛАНЖЕ, А. К. ШУЛЬГА

ЧЕРЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВА



С. А. СОЛОВЬЕВ, Г. В. БУЛАНЖЕ, А. К. ШУЛЬГА

ЧЕРЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВА

Издание второе,
переработанное и дополненное

Допущено Управлением учебных заведений
и научных учреждений Министерства культуры СССР
в качестве учебника для художественно-промышленных
училищ и училищ прикладного искусства



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1982

ББК 30.11
С 60
УДК 744:515.6

**Рецензенты — преподаватели Одесского государственного
художественного училища им. М. Б Грекова
Л. Н. Харитонova и Л. Н. Данковская.**

Соловьев С. А., Буланже Г. В., Шульга А. К.

С60 Черчение и перспектива: Учебник для учащихся техникумов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. школа, 1982. — 319 с., ил.

В пер.: 65 к.

В учебник включен материал, охватывающий три раздела программы: геометрическое и проекционное черчение, линейная перспектива. В данном издании (первое вышло в 1967 г.) особое внимание обращено на связь перспективы с предметами изобразительного искусства, анализ перспективного построения рисунков предметов, выполненных с натуры.

Предназначается для учащихся художественно-промышленных училищ и училищ прикладного искусства.

С $\frac{2104000000-043}{001(01)-82}$ 226—81

**ББК 30.11
607**

© Издательство «Высшая школа», 1982

Цель учебника — изучение теоретических основ методов проецирования пространственных фигур на плоскость, обучение практическим приемам построения чертежей различных деталей и объектов по законам и правилам параллельного проецирования и линейной перспективы. Учебник составлен в соответствии с программой «Черчение и перспектива», утвержденной Министерством культуры СССР в 1978 г. При изложении материала авторы стремились в доступной форме рассмотреть все разделы программы. Чтобы облегчить понимание излагаемого материала и сделать возможным самостоятельное изучение его, все теоретические положения и примеры иллюстрированы большим количеством чертежей. Кроме того, в разделе «Проекционное черчение» большинство чертежей сопровождается наглядными изображениями.

Для закрепления теоретических положений в учебнике приведены примеры решения различных задач, для лучшего усвоения пройденного материала в тексте помещены упражнения, а в конце параграфов или глав — контрольные вопросы.

Во второе издание учебника внесены изменения и дополнения согласно действующей программе «Черчение и перспектива». Все иллюстрации учебника переработаны и выполнены в соответствии с требованиями стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Настоящий учебник вместе с задачником тех же авторов представляет собой единый учебный комплект. Поэтому часть теоретических вопросов и практических советов помещена в задачнике.

Предисловие, введение, раздел первый написан А. К. Шульгой; раздел второй — Г. В. Буланже; разделы третий, четвертый и методические указания к работе над учебником — С. А. Соловьевым.

Авторы признательны рецензентам — преподавателям Одесского государственного художественного училища им. М. Б. Грекова Л. Н. Харитоновой и Л. Н. Данковской за ряд полезных советов.

Все замечания и пожелания по учебнику авторы просят направлять в адрес издательства.

Авторы

Чертеж и рисунок сопровождают нас всю жизнь, помогая разобраться в самых разнообразных вопросах науки, техники и искусства. На страницах учебника, журнала, газеты мы видим рисунки или чертежи, по которым легко представить себе, что изображено на них. Такие выразительные графические изображения возникли не сразу. Они прошли длиннейший путь от примитивного рисунка до сложного современного чертежа.

В очень давние времена у человека появилась необходимость изобразить то, что он видел, а позже — то, что ему нужно было сделать. Пещерная живопись, рисунки на камнях, папирусы, старинная стенная живопись, летописи донесли до нас древние графические изображения. большей частью они представляют собой рисунки, на которых все предметы выглядят плоскими. Постепенно рисунок совершенствовался, складывались и обобщались правила его построения, появилось понятие о перспективе. В основном правила и способы перспективного изображения сложились уже в XV—XVI вв. В настоящее время область применения перспективных изображений очень широка — это живопись, архитектура, фотография, кинематография и ряд других областей человеческой деятельности.

Наряду с рисунком еще в древности применялись чертежи. Это были планы местностей, а позже и планы строительства крупных сооружений. Эти чертежи не отражали действительных пропорций сооружений и изображали их подчас односторонне, например давали только вид сверху. Поэтому они были пригодны для производства лишь там, где в основном руководствовались указаниями мастера, а не какой-либо документацией.

Дальнейшее развитие хозяйственной и военной деятельности человека потребовало создания чертежей, точно и полностью раскрывающих форму и размеры объекта производства. Такие чертежи были получены на основе метода прямоугольных проекций. Теорию его обосновал и изложил французский ученый Г. Монж (1746—1818), обобщив накопленный до него опыт в области методов проекционных изображений. Простота построений и высокая точность изображений, полученных с помощью метода прямоугольных проекций, обеспечили его широкое распространение. И в наши дни все технические чертежи выполняют на основе этого метода.

Развитие способов графических изображений в России имеет свою историю. Первые чертежи, которыми пользовались в старину, до нас не дошли. На основе сохранившихся материалов можно предположить, что прообразом их была разметка на земле планов

зданий и разметка на материале приблизительной формы изготавливаемых изделий. Из дошедших до нас изображений к наиболее древним относятся рисунки (миниатюры) в летописях, стенная живопись и иконы. На них наряду с плоскими изображениями встречаются наглядные, построенные по типу аксонометрических рисунков. С конца XVI в. некоторые государственные документы иллюстрируются уже чертежами. Развитие промышленности, особенно в начале XVIII в., привело к созданию более точных чертежей. Были введены масштабные изображения. При постройке кораблей впервые стали применять изображения в трех плоскостях проекций. «Чертежи в планах и профилях», как называли в то время подобные изображения, уже мало чем отличались от современных проекционных чертежей. Примером таких чертежей являются чертежи А. К. Нартова, И. И. Ползунова, И. П. Кулибина и других выдающихся деятелей науки и техники. Наличие таких чертежей способствовало сравнительно легкому и быстрому распространению в России теории метода прямоугольных параллельных проекций.

Русские и советские ученые внесли крупный вклад в развитие графических изображений. К числу ведущих в этой области относятся такие ученые, как Я. А. Севастьянов, А. Х. Редер, Н. И. Макаров, В. И. Курдюмов, Н. А. Рынин, М. А. Саверин, Н. Ф. Четверухин, С. М. Куликов, В. О. Гордон и многие другие.

В настоящее время нет такой области науки и техники, где бы не применялись графические изображения. Ни один вид современного производства не обходится без чертежей и технической документации, выполненной и оформленной по единым правилам. Эти правила изложены в комплексе государственных стандартов под общим названием «Единая система конструкторской документации» (ЕСКД). Система стандартов ЕСКД устанавливает правила выполнения различных видов чертежей, их разработки и оформления, а также правила обращения всей конструкторской документации. Применение стандартов ЕСКД обязательно для всех учреждений, предприятий и организаций СССР, включая и учебные заведения. Соблюдение единых стандартов ЕСКД позволяет унифицировать всю техническую документацию, что в конечном счете ускоряет и удешевляет процесс изготовления чертежей и технической документации.

Раздел первый

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

Глава 1

ЧЕРТЕЖНЫЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ И ИНСТРУМЕНТЫ. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

§ 1. ЧЕРТЕЖНЫЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ И ИНСТРУМЕНТЫ

Прежде чем начать чертить, учащийся должен узнать назначение каждого инструмента, научиться правильно обращаться с ним и овладеть приемами работы чертежными инструментами. Для графических работ применяют следующие материалы, чертежные инструменты и принадлежности: бумагу, карандаши, тушь, резинки, угольники, линейки, лекала, готовальню, чертежную доску и чертежный прибор.

Чертежная бумага предназначена для выполнения чертежей или рисунков карандашом, тушью и акварелью. У чертежной бумаги одна сторона гладкая, другая шероховатая. На гладкой стороне чертят, на шероховатой рисуют. От качества чертежной бумаги во многом зависит внешний вид чертежа или рисунка, а также время их изготовления. Поэтому чертежная бумага не должна лохматиться при трении ее резинкой, переламываться при перегибании и пропускать тушь (т. е. тушь не должна расплываться). Такими качествами обладает чертежная бумага фабрики Гознак.

Калька — прозрачная бумага, предназначенная для копирования чертежей и последующего изготовления с нее копий. Бумажная калька может быть шероховатой и гладкой. На шероховатой кальке чертят как карандашом, так и тушью, на гладкой — только тушью. Копии чертежей, предназначенные для долгого хранения, снимают на полотняную кальку.

Миллиметровая бумага представляет собой бумагу с нанесенной на ней сеткой миллиметровых квадратов. На такой бумаге чертят схемы, диаграммы, графики и эскизы, так как сетка облегчает их выполнение.

Чертежные карандаши имеют шестигранную форму. Такие карандаши удобно держать в руке, они не скатываются с наклонного чертежного стола.

Чертежные карандаши разделяют на мягкие, средние и твердые. Мягкие карандаши маркируют М, 2М, ..., 6М, твердые — Т, 2Т, ..., 7Т. Возрастающие цифры перед буквой М указывают увели-

чение мягкости карандаша, а перед буквой Т — увеличение его твердости. Карандаши средней твердости обозначают ТМ. Марку карандаша выбирают в зависимости от вида работы и качества бумаги.

Для чертежных работ также пригодны цанговые карандаши с графитами соответствующей твердости.

Для предварительного наброска чертежа, выполняемого тонкими линиями, пользуются твердыми карандашами 2Т или 3Т. Твердый карандаш затачивают в виде конуса по размерам, указанным на рис. 1, а. Нужную твердость карандаша подбирают по бумаге, проводя на ней пробные линии карандашами разной твердости. Правильно подобранный каран-

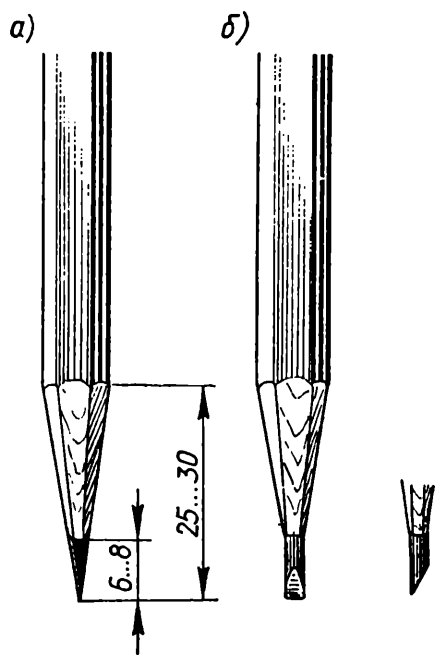


Рис. 1.

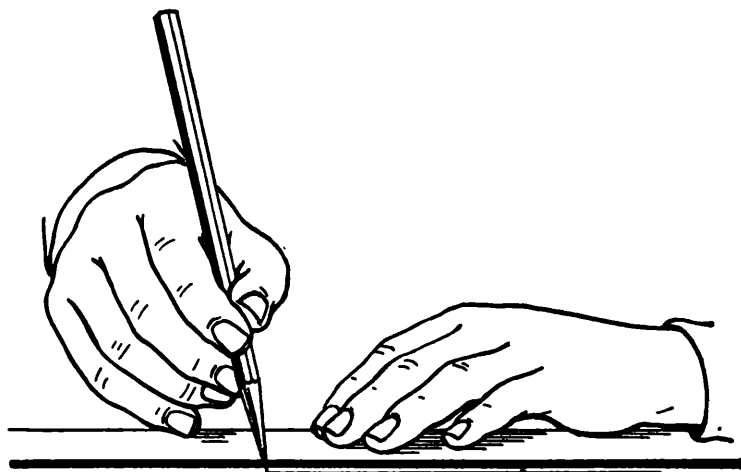


Рис. 2

даш не должен резать бумагу и размазываться на ней.

Обводят чертеж более мягкими карандашами марки Т или ТМ. При обводке карандаш затачивают в виде плоской лопатки (рис. 1, б). Такая заточка позволяет проводить линии одинаковой толщины.

Любой карандаш затачивают с конца, не имеющего маркировки. После заточки графит карандаша зачищают на мелкой наждачной бумаге № 0 или 00. Наждачную бумагу удобно наклеить на тонкую дощечку или картонку.

Карандашом проводят линии без сильного нажима, чтобы после удаления их резинкой на бумаге не оставалось следов. При проведении линии карандаш двигают слева направо с небольшим постоянным наклоном в сторону движения (рис. 2).

Тушь, черную или цветную, применяют для обводки чертежей, предварительно выполненных карандашом. Тушь бывает жидкая и сухая. Чаще пользуются жидкой тушью, которую продают в стеклянных флаконах, готовой к употреблению. Поскольку тушь быстро сохнет, флакон с ней должен быть все время закрыт. Для работ, требующих проведения большого количества тонких линий, удобнее пользоваться сухой тушью, так как она лучше, чем

жидкая, стекает с рейсфедера. Сухую тушь растирают в специальном фарфоровом блюде в небольшом количестве теплой воды.

Чертежные резинки применяют для удаления с бумаги лишних и неправильных линий, а также для чистки законченного чертежа. Излишнее стирание линий на одном и том же месте вызывает порчу верхнего слоя бумаги. Поэтому при работе над чертежом следует быть внимательным и как можно меньше проводить ошибочных и ненужных линий.

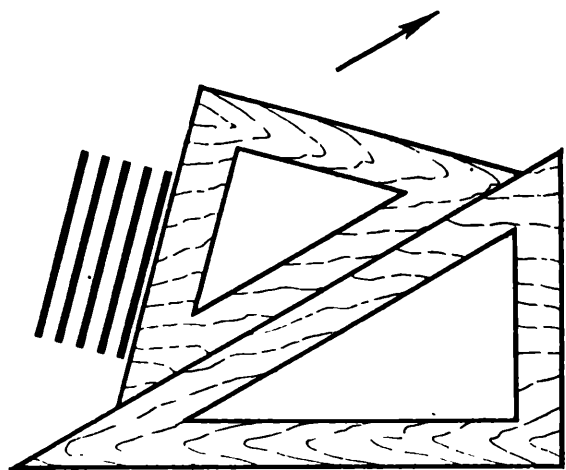


Рис. 3

Чертежные резинки бывают мягкие и твердые. Линии, проведенные карандашом, стирают мягкой резинкой с очень легким нажимом в одном направлении. Для исправления ошибок на законченном чертеже, выполненном карандашом, пользуются тонким срезом резинки.

Линии, проведенные тушью, удаляют твердой «стеклянной» резинкой или с помощью безопасной бритвы. Подчистку следует делать

после того, как чертеж закончен и тушь высохла. Подчистка тоже сильно портит бумагу, поэтому ее надо делать исключительно аккуратно, стараясь срезать или соскабливать минимальный слой бумаги.

Угольники, применяемые для чертежных работ, бывают двух видов. Угольники с углами 30° и 60° желательно приобрести с длиной большего катета приблизительно 300 мм, а угольник с углами 45° может быть любого размера. Чертежные угольники в сочетании друг с другом (рис. 3) или с линейкой дают возможность проводить параллельные и взаимно перпендикулярные прямые, строить различные углы и производить целый ряд геометрических построений.

Мерительная линейка — линейка, имеющая шкалу с миллиметровыми делениями и поперечное сечение в форме трапеции (рис. 4). Такая линейка служит для непосредственного измерения или откладывания на чертежах отрезков прямой линии определенной длины. Острый угол между боковой гранью со шкалой и основанием линейки позволяет при измерении вплотную придвинуть шкалу к нужному отрезку. Мерительные линейки для проведения прямых линий непригодны.

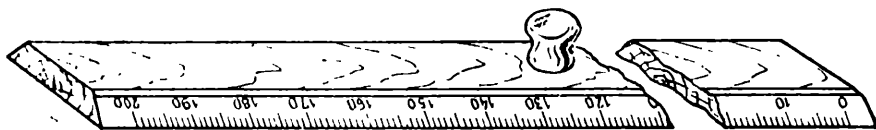


Рис. 4

Масштабная линейка имеет несколько шкал (обычно шесть) с различными масштабами (рис. 5). С ее помощью можно без дополнительных пересчетов измерять или строить отрезки прямых в масштабах, соответствующих имеющимся на линейке.

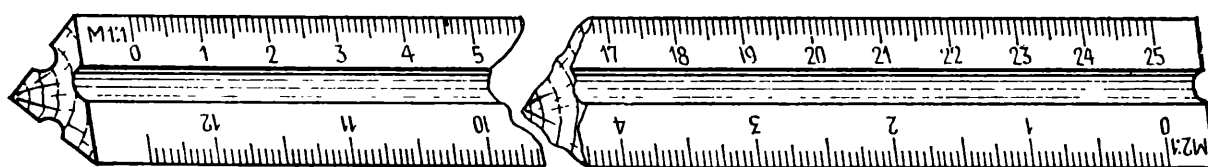


Рис. 5

Лекало представляет собой фасонную линейку с криволинейными очертаниями (рис. 6). Им пользуются для вычерчивания кривых линий, которые не могут быть построены с помощью циркуля. Контур лекала состоит из участков линий разной формы, что позволяет одно лекало использовать при вычерчивании различных кривых. Для кривых, сходных по форме, изготавливают специальные наборы лекал.

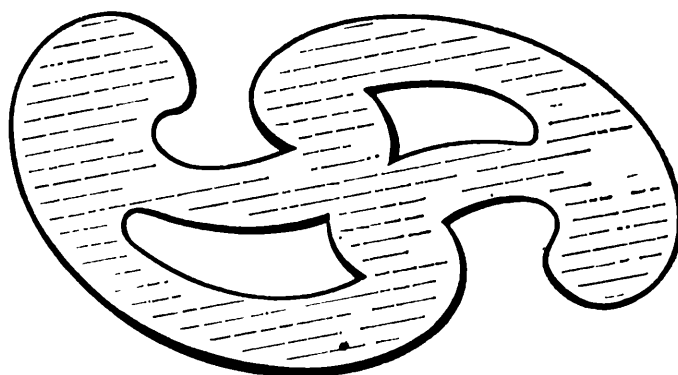


Рис. 6

Готовальня представляет собой набор чертежных инструментов. Готовальни различают по номерам, причем номер соответствует количеству инструментов, вложенных в нее. Для чертежных работ рекомендуется пользоваться готовальней № 10 или 14. Ниже приводится описание наиболее употребительных чертежных инструментов, имеющихся в этих готовальнях.

Циркуль разметочный (измеритель) применяется для измерения или откладывания линейных размеров на чертежах (рис. 7). Разметочный циркуль состоит из двух ножек 1 с вставными иглами 2 на одном конце и шарнирным устройством, позволяющим их раздвигать, на другом. Ножки циркуля должны раздвигаться плавно и при работе не изменять своего положения. Плавность их хода регулируют винтом 3. Концы игл в сдвинутом положении должны быть на одном уровне и сходиться в одной точке. Разметочным циркулем не рекомендуется откладывать или измерять большие расстояния (более 70 мм), так как при этом снижается точность измерения.

Кронциркуль разметочный (рис. 8) применяют для точных измерений небольших линейных размеров (0,3 ... 40 мм) или для многократного откладывания малых отрезков прямых. Нужно расстояние между иглами ножек кронциркуля устанавливают микрометрическим винтом 1, который вращают за диск 2.

Циркуль чертежный (круговой) предназначен для вычерчивания дуг или окружностей радиусов 3 ... 150 мм (рис. 9). У чертеж-

ного циркуля в отличие от разметочного одна ножка укорочена. Короткая ножка 3 заканчивается зажимным устройством 1, соединенным с ней осью 2. Ось позволяет поворачивать зажимное устройство на некоторый угол. У исправного чертежного циркуля ножки плавно сдвигаются, раздвигаются и сохраняют установленный размер. Плавность их хода регулируют винтом 4.

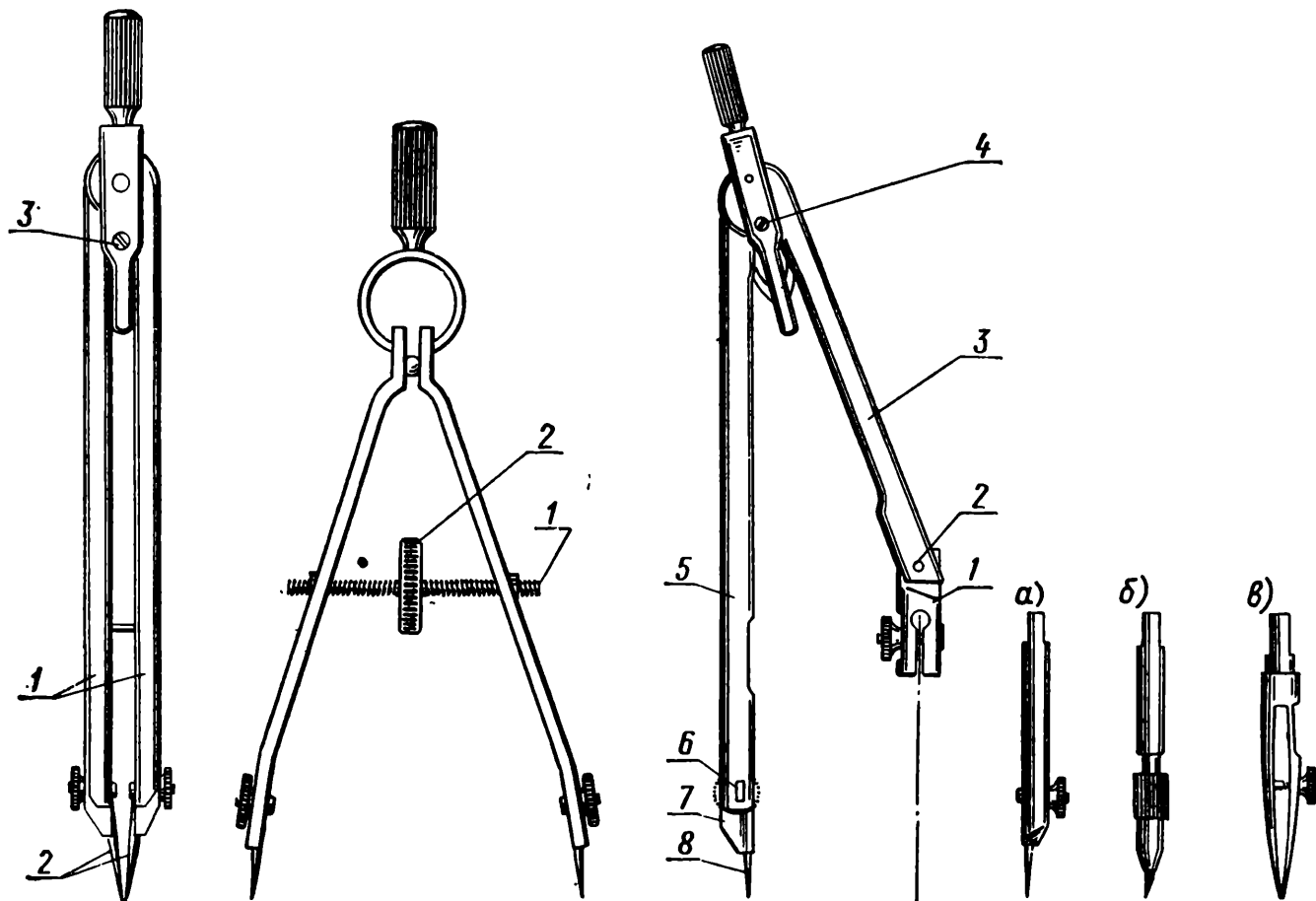


Рис. 7

Рис. 8

Рис. 9

В готовальне к чертежному циркулю прикладывают набор вставок: а — ножку с иглой, позволяющую использовать чертежный циркуль как разметочный; б — ножку с карандашом для проведения окружностей карандашом; в — рейсфедер для обводки окружностей тушью. Графитный стержень для карандашной ножки затачивают только с внешней стороны приблизительно под углом 75° к оси вставки.

В длинной ножке 5 чертежного циркуля закреплена игла 8, которая имеет два различных по форме конца. Ее вместе с державкой 7 можно поворачивать вокруг оси 6, что позволяет работать любым концом иглы. Конец А (рис. 10) заканчивается короткой тонкой иглой, и им пользуются при вычерчивании окружностей. Конец В имеет форму конуса и применяется, когда чертежный циркуль используют как разметочный.

При проведении окружности циркуль держат двумя пальцами только за головку и вращают по часовой стрелке (рис. 11).

Центрик (рис. 12) употребляют для предохранения бумаги от многократного прокалывания в тех случаях, когда требуется про-

вести большое количество концентрических окружностей. Его острую иглу вкалывают в центр проводимых окружностей, а в углубление на внешней стороне центрика ставят иглу циркуля.

Удлинитель (рис. 13) применяют вместе с чертежным циркулем для проведения окружностей больших радиусов (до 250 мм).

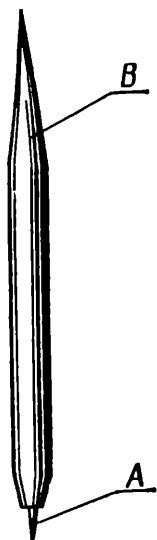


Рис. 10

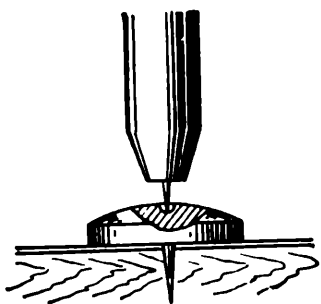


Рис. 12

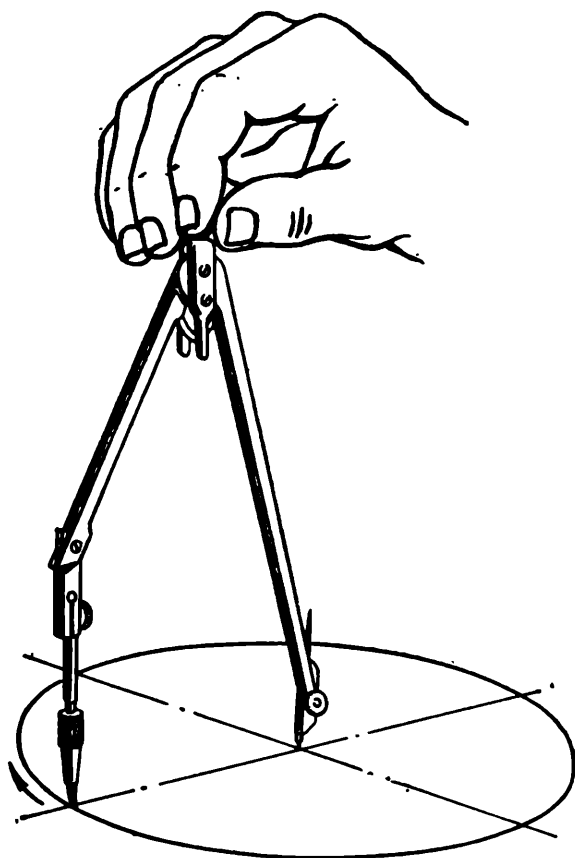


Рис. 11

Один конец удлинителя имеет зажимное устройство, подобное зажиму в чертежном циркуле. В нем закрепляют карандашную ножку или рейсфедер. Другой конец удлинителя крепят в зажимном устройстве циркуля.

Чертежный падающий кронциркуль (рис. 14) применяют для проведения небольших окружностей диаметром 0,6 ... 12 мм. Он состоит из втулки 1, в которую вставлена игла 2. Колодка 4 с зажимным винтом 6 предназначена для крепления сменной ножки 7 и через плоскую пружину 3 соединена с втулкой 1. В падающий кронциркуль вставляют карандашную ножку или рейсфедер. Размер радиуса проводимой окружности устанавливают с помощью винта 5.

Перед тем как поставить острие иглы в намеченный центр, втулку с ножкой приподнимают вверх до упора. Затем опускают ножку до касания графита или пера с бумагой и проводят окружность. Во время работы падающий кронциркуль держат большим и средним пальцами за втулку, а указательным пальцем

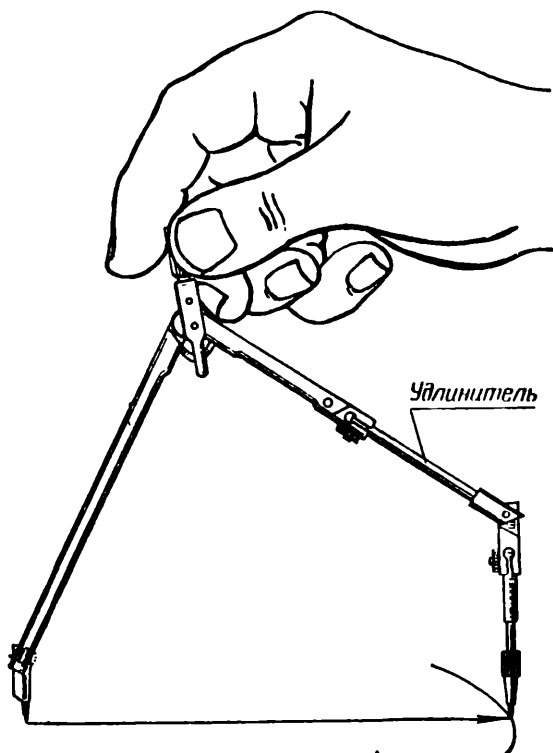


Рис. 13

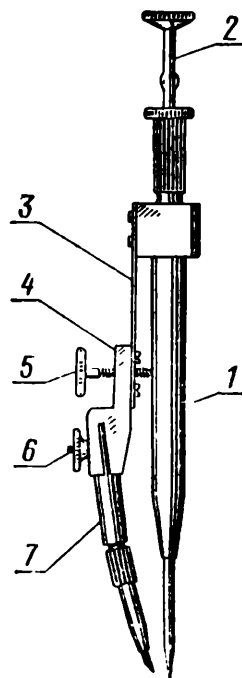


Рис. 14

упираются в плоскую головку стержня иглы (рис. 15). При снятии падающего кронциркуля с бумаги втулку снова приподнимают.

Рейсфедер линейный (рис. 16) применяют для проведения линий на чертеже тушью. Рейсфедер состоит из стержня 1, в котором закреплено линейное чертежное перо 2. Створки пера сближают или раздвигают с помощью винта и зажимной гайки 3. Расстояние между створками пера определяет толщину проводимой линии. Концы створок при сближении должны совпадать.

Наполнение рейсфедера тушью производят в стороне от чертежа. Перед этим створки пера рейсфедера сближают, чтобы тушь касалась обеих створок. Тушь в рейсфедер набирают на высоту 5...6 мм. При наполнении рейсфедера тушью нельзя касаться створок пера руками, так как даже незначительное количество жира влияет на качество проводимых линий.

Тушь быстро сохнет, поэтому даже при непрерывной работе рейсфедер

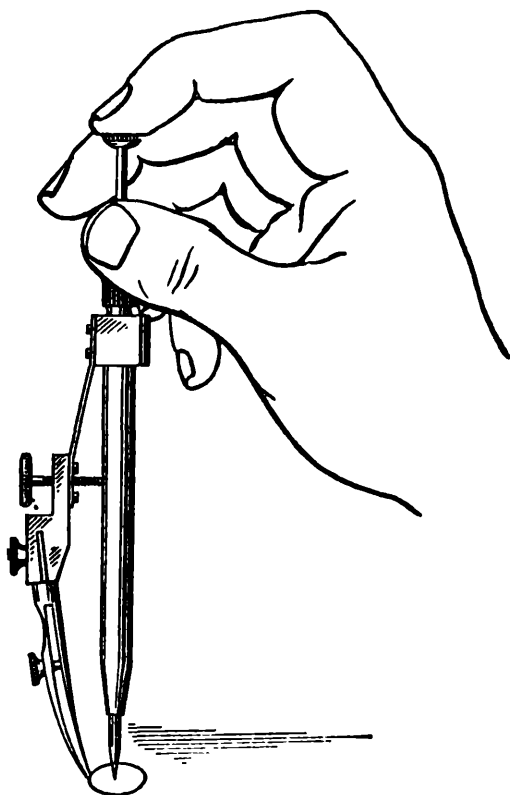


Рис. 15

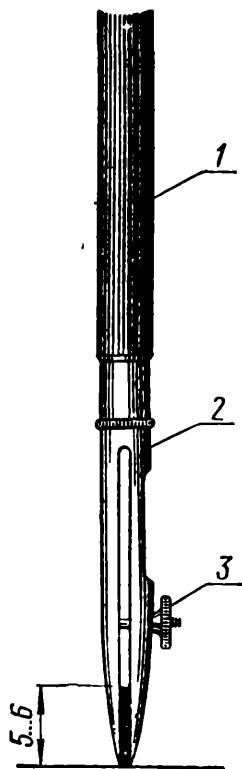


Рис. 16

следует время от времени протирать. Сильно присохшую к створкам пера тушь нельзя соскабливать ножом. Створки пера следует опустить в теплую воду, удалить тушь и насухо протереть их. По окончании работы рейсфедер тщательно протирают и немного отвинчивают зажимную гайку, чтобы створки пера не были сжаты.

При работе рейсфедер располагают так, чтобы створки пера были параллельны кромке линейки (рис. 17). Зажимная гайка должна быть с наружной стороны линейки. Во время работы рейсфедер немного наклоняют в сторону движения. Линии проводят с постоянной скоростью, без нажима на бумагу.

Чертежная доска предназначена для выполнения на ней чертежных работ. Изготавливают чертежные доски из липовых планок, скрепленных по бокам дубовыми брусками. При креплении листа бумаги кнопки вкалывают только в липовые планки. Для правильного натяжения листа бумаги его ре-

комендуют крепить в порядке, показанном на рис. 18. Размер чертежной доски выбирают по размеру листа бумаги.

Чертежный прибор (рис. 19) представляет собой приспособление для проведения прямых линий в каком угодно месте площади чертежной доски и под любым углом к горизонту. Работа на таком приборе ускоряет процесс черчения.

Чертежный прибор состоит из системы рычагов 1, поворотной головки 2 и двух линеек 3. Система рычагов позволяет передвигать линейки параллельно самим себе в нужное место. Поворотная головка имеет шкалу с делениями в градусах и служит для

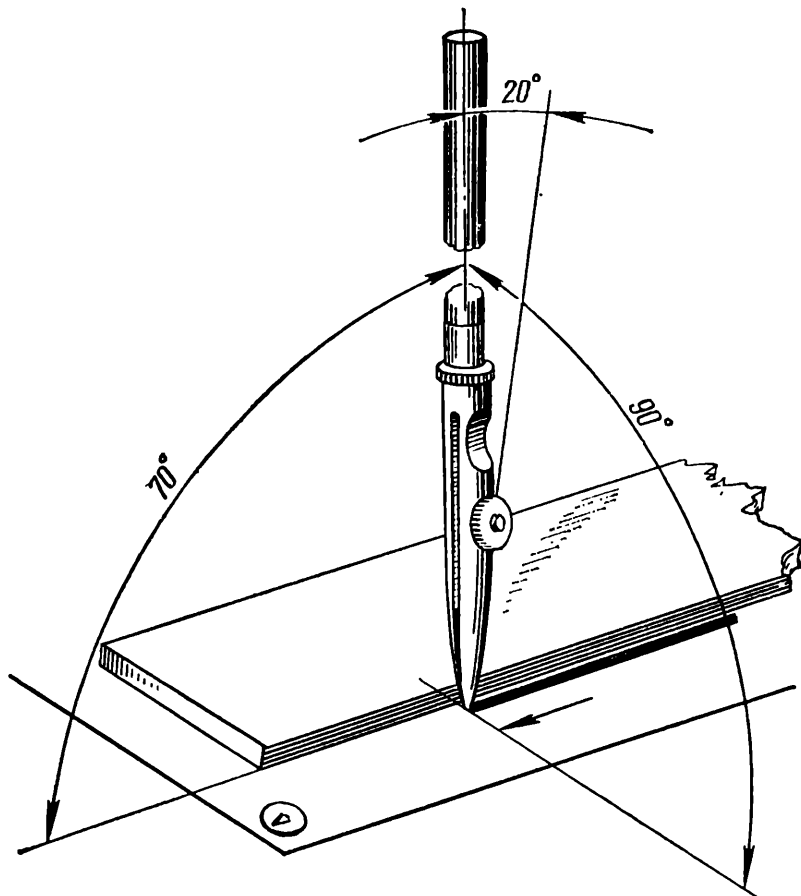


Рис. 17

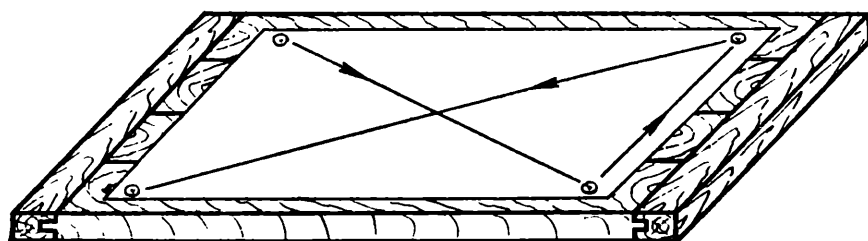


Рис. 18

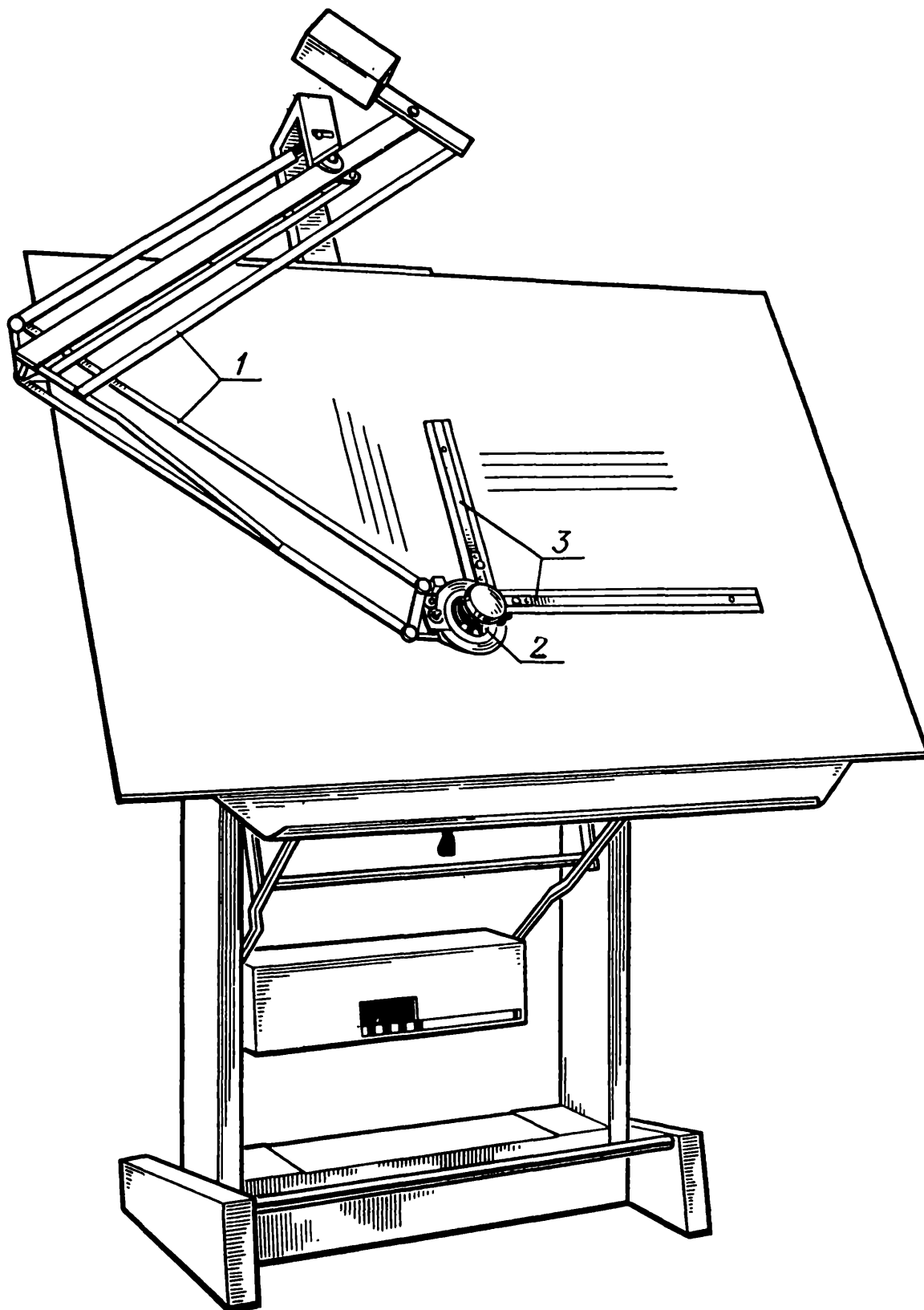


Рис. 19

поворота линейек на нужный угол. Сами линейки установлены под прямым углом друг к другу, что обеспечивает проведение взаимно перпендикулярных линий.

§ 2. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА

Состояние чертежных инструментов влияет на качество чертежей. Поэтому к чертежным инструментам надо относиться бережно. Инструменты лучше всего хранить в сухом, прохладном месте,

оберегать от падения и ударов. Кромки деревянных инструментов надо беречь от повреждений и порезов. Ни в коем случае нельзя ножом или бритвой обрезать бумагу по деревянной линейке или на чертежной доске. Перед работой деревянные и пластмассовые чертежные инструменты следует протереть чистой тряпкой. Загрязненные кромки линеек, угольников и т. п. протирают тампоном из ваты, смоченным одеколоном.

Правильная организация рабочего места и порядок во время работы — залог успешной работы.

Чертежную доску при работе карандашом устанавливают с наклоном ($10...15^\circ$) по отношению к горизонтальной или к вертикальной плоскости, а при работе тушью доску устанавливают почти горизонтально.

Прежде чем приступить к работе с чертежами, необходимо вымыть руки, так как жирные пятна от пальцев портят ее. Даже чистыми руками касаться бумаги надо как можно реже. Поле чертежа должно быть открыто только в той части, где непосредственно в данный момент выполняют построения. Остальную часть закрывают чистой бумагой. Необходимо также закрывать весь лист во время перерыва в работе или при свертывании чертежа.

На чертежную доску кладут инструменты, нужные только для выполнения данной работы. Остальные инструменты — тушь, подсобную литературу и чертежи — раскладывают на столе, расположенном справа от чертежного стола. Карандаши, резинки и мелкие чертежные инструменты удобно положить в коробку. Флакон с тушью помещают в специальную подставку. При работе с тушью необходима тряпочка для вытирания чертежных перьев и промокательная бумага. Очень важно правильное освещение: чертежная доска должна быть освещена слева и сверху. При искусственном освещении желательно иметь рассеянный свет.

Глава 2

ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

§ 3. ФОРМАТЫ ЧЕРТЕЖЕЙ, ОСНОВНАЯ НАДПИСЬ И КОМПОНОВКА ЧЕРТЕЖА

Формат чертежа определяется размерами внешней рамки листа, на котором он выполнен. Внешнюю рамку формата чертят сплошными тонкими линиями. Государственным общесоюзным стандартом ГОСТ 2.301—68 установлены для всех чертежей единые форматы, размеры которых приведены ниже:

Обозначение формата . . .	44	24	22	12	11
Размеры сторон формата, мм	1189×841	594×841	594×420	297×420	297×210

Примечание. В случае необходимости разрешается образовывать дополнительные форматы*.

* Подробно о дополнительных форматах см. ГОСТ 2.301—68.

Форматы располагают горизонтально (рис. 20, а) или вертикально (рис. 20, б), кроме чертежей на листе формата 11, который следует располагать только вертикально. Внутри формата чертят рамку на расстоянии 20 мм от его левой стороны — поля для подшивки чертежа — и 5 мм от остальных сторон. В правом нижнем углу формата помещают основную надпись.

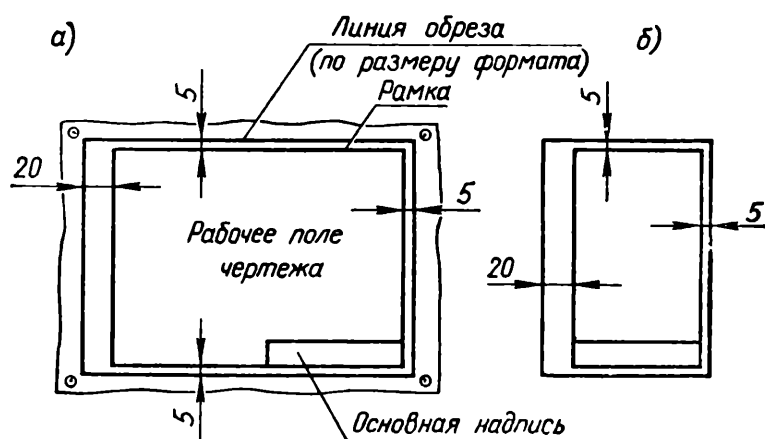


Рис. 20

Внутреннюю рамку и основную надпись выполняют сплошными линиями, толщина которых немного меньше линий контура изображений. Площадь, оставшуюся после вычерчивания основной надписи, называют рабочим полем чертежа. Лист обрезают по внешней рамке формата, после того как чертеж полностью закончен.

Основная надпись имеет несколько граф, в которых указывают сведения о чертеже и его исполнителе. Виды, габаритные размеры, объем необходимой информации основных надписей, применяемых в конструкторской документации, изделий машиностроения и приборостроения установлены СТ СЭВ 365—76. На рис. 21 показан вариант основной надписи для учебных чертежей.

Компоновкой чертежа называют целесообразное размещение изображений, размеров и надписей на рабочем поле чертежа. Графический материал располагают так, чтобы полностью использовать рабочее поле чертежа и не перегружать отдельных его мест. Для этого определяют габариты изображений, которые предстоит

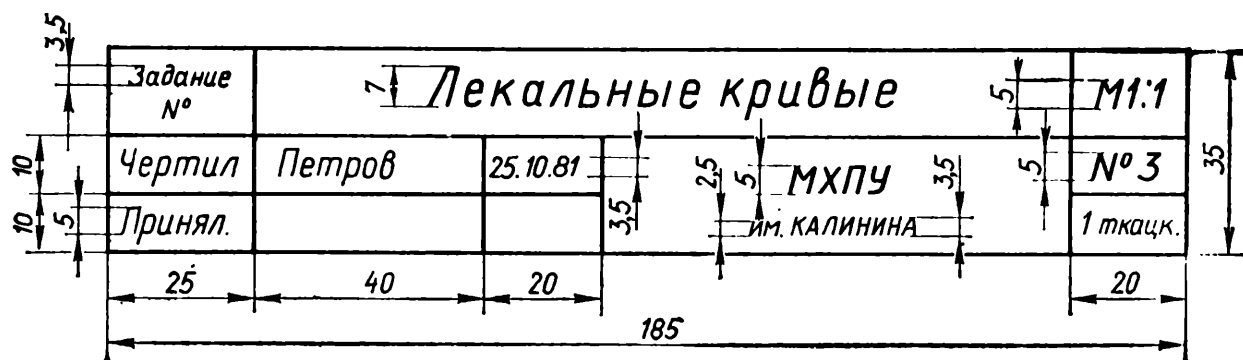


Рис. 21

начертить (рис. 22, а), включая в это понятие линии контура, размеры и надписи, и в виде прямоугольников намечают их положение на чертеже (рис. 22, б). Прямоугольники размещают так, чтобы расстояния от рамки до них и между ними были равны между собой как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.

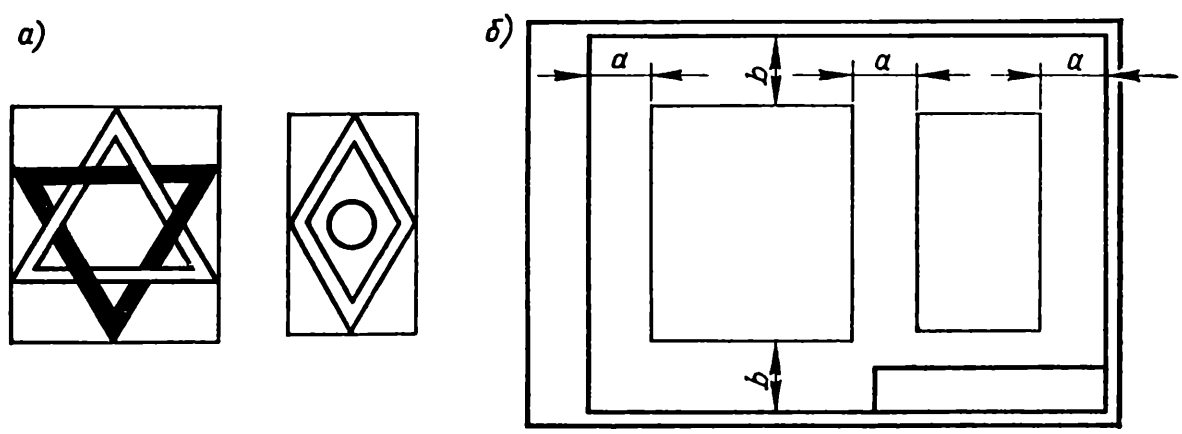


Рис. 22

§ 4. ЛИНИИ ЧЕРТЕЖА И ИХ ОБВОДКА

Линии чертежа. Чертежи выполняют линиями, установленными ГОСТ 2.303—68. Начертание и толщины линий, а также длины штрихов и промежутков между ними, рекомендуемые для чертежей форматов 11 и 12, показаны на рис. 23.

Толщина линий зависит от их назначения. Главным на чертеже является очертание изображаемого предмета, поэтому линии видимого контура имеют наибольшую толщину и их принимают за основные. В зависимости от размера чертежа и его сложности толщину сплошной основной линии, которую обозначают буквой s , следует выбирать в пределах 0,6...1,5 мм. Для чертежей форматов 11 или 12 рекомендуется брать s в пределах 0,8...1 мм. Толщина остальных линий зависит от принятой толщины сплошной основной линии и установлена в пределах $s/2...s/3$. Однако штриховые линии рекомендуется выполнять толщиной около $s/2$, а остальные линии, используемые в качестве выносных, размерных, осевых, центровых и линий штриховки, — $s/3$. В пределах чертежа одного формата выбранная толщина однотипных линий должна быть одинаковой. На рис. 24 пока-

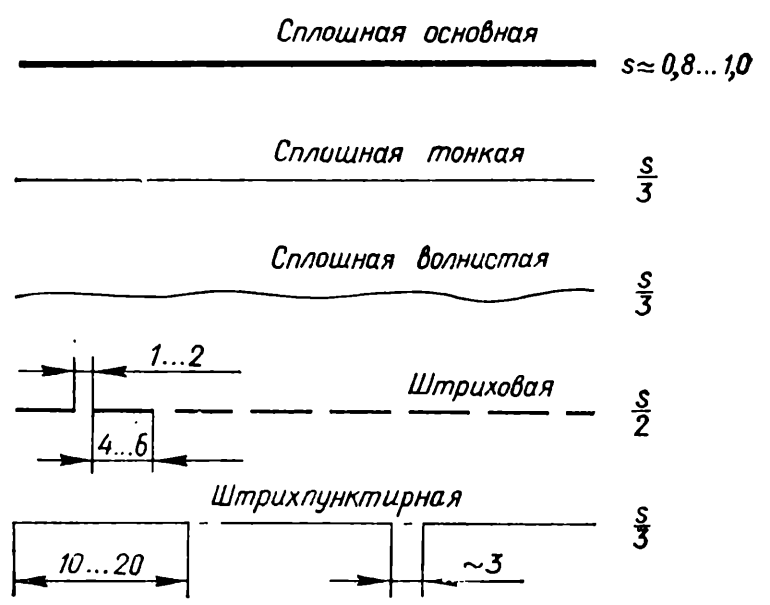


Рис. 23

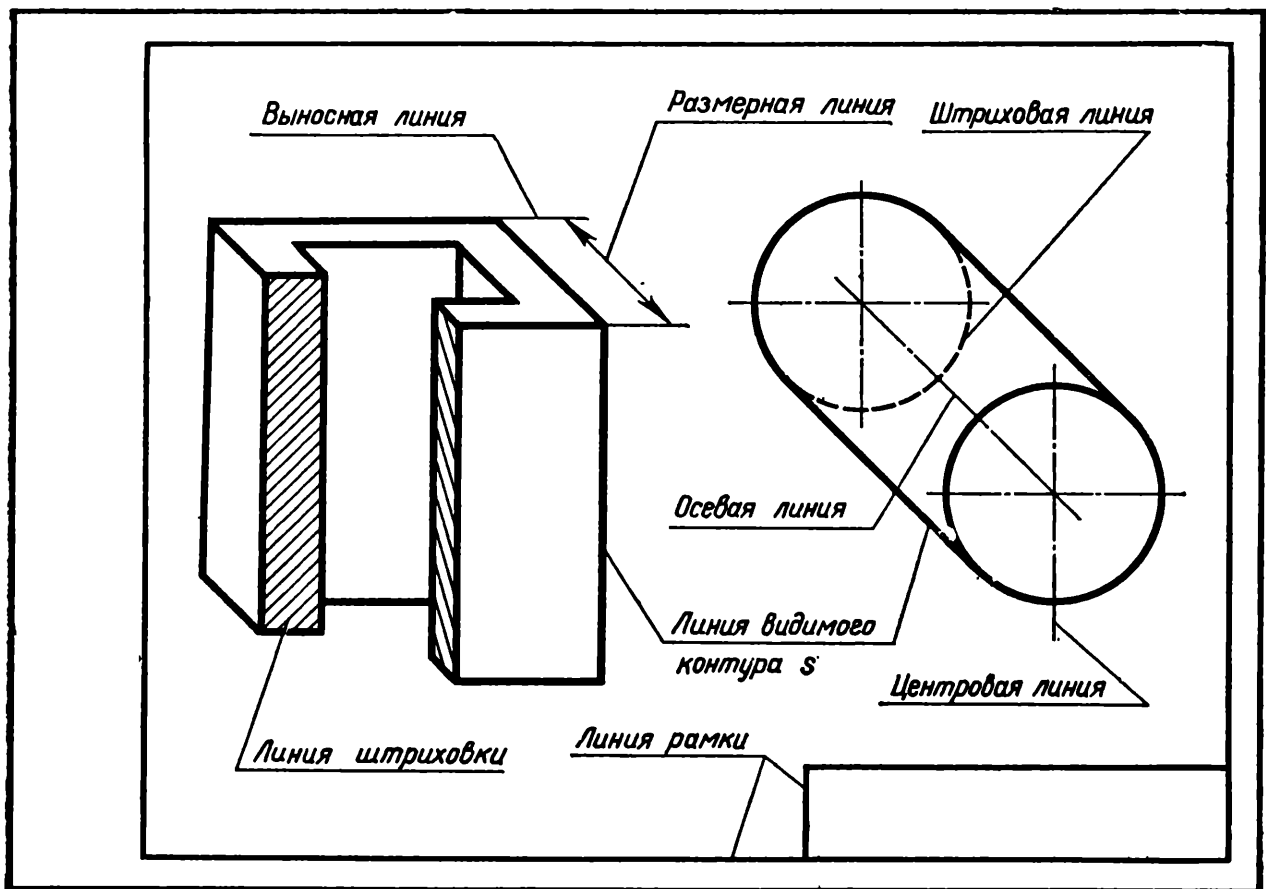


Рис. 24

зано применение линий чертежа с указанием их основного назначения.

Для правильного понимания чертежа важно, чтобы штриховые линии в местах пересечения их с другими линиями (участок *I* на рис. 25, *a*) или между собой (участок *II*) не имели разрыва. При нанесении центровых линий следует помнить, что во всех случаях центр окружности определяется пересечением штрихов (рис. 25, *b*) и что центровые и осевые линии должны выходить за пределы контурных линий на 5...7 мм.

Последовательность обводки линий чертежа. К обводке чертежа приступают после того как закончены все построения в тонких линиях. Линии чертежа обводят в следующем порядке: 1) осевые и центровые линии, 2) лекальные кривые, 3) окружности и их дуги, 4) горизонтальные прямые, перемещаясь сверху вниз;

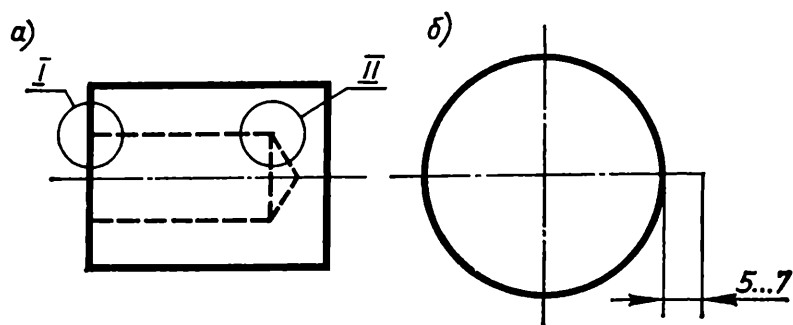


Рис. 25

5) вертикальные прямые, двигаясь слева направо, 6) наклонные прямые.

Обводка чертежа тушью. Перед началом обводки линий чертежа тушью подбирают путем проб толщины сплошной основной, штриховой и других линий. Пробы делают на полях чертежа за линией обреза или на отдельном листе однородной бумаги. При обводке линий чертежа тушью нельзя проводить линию два раза по одному и тому же месту, так как из-за повторной обводки линии обычно получаются разной толщины. При проведении контурной линии необходимо следить за тем, чтобы тонкая линия располагалась посередине толстой (рис. 26, а). Это особенно следует иметь в виду при касании двух линий (рис. 26, б), так как всякий сдвиг линий относительно друг друга приводит к их утолщению.

Обводка чертежа карандашом. Обводить чертеж карандашом довольно трудно, так как приходится следить одновременно за одинаковой толщиной однотипных линий и их яркостью. Нужную толщину линий при обводке карандашом выдерживают путем его заточки (см. рис. 1). Одинаковую же яркость линий при обводке получают путем сохранения постоянного нажима как у карандаша, так и циркуля. При этом следует иметь в виду, что в циркуль должен быть вставлен графит мягче, чем в карандаше. Например, если чертеж обводят карандашом марки Т, то в циркуль вставляют графит

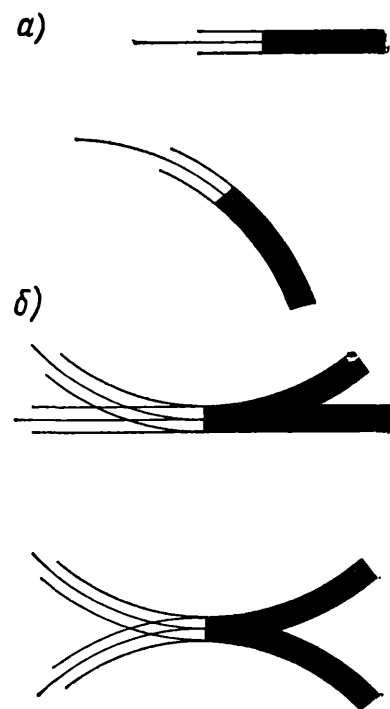


Рис. 26

твёрдости ТМ.

Для получения первых навыков обводки линий чертежа полезно вычертить и обвести несколько прямых и окружностей различными линиями: сплошной (основной и тонкой), штриховой, штрихпунктирной.

§ 5. МАСШТАБЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Предмет на чертеже желательно изображать в натуральную величину. Однако крупные предметы, такие, как стол, книжный шкаф и др., изображают в уменьшенном виде, а мелкие предметы, например детали часового механизма, на чертеже увеличивают, т. е. изображают в масштабе. Масштабом называют отношение линейных размеров предмета на чертеже к его действительным размерам. Существует несколько видов масштабов.

Численный масштаб обозначается отношением двух чисел, перед которыми ставят букву М, например М1:1 или М2:1. В тех случаях, когда масштаб вписывают в графу с названием «масштаб», букву М перед отношением не ставят. Масштаб выбирают в зависимости от размера и сложности изображаемого предмета согласно ряду масштабов, предусмотренных ГОСТ 2.302—68.

Масштабы умень-

шения 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 вели-

чина 1:1

Масштабы увеличе-

ния 2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1

При любом масштабе на чертеже проставляют действительные размеры предмета. Это показано на рис. 27, где один и тот же пятиугольник вычерчен по действительным размерам, т. е. в

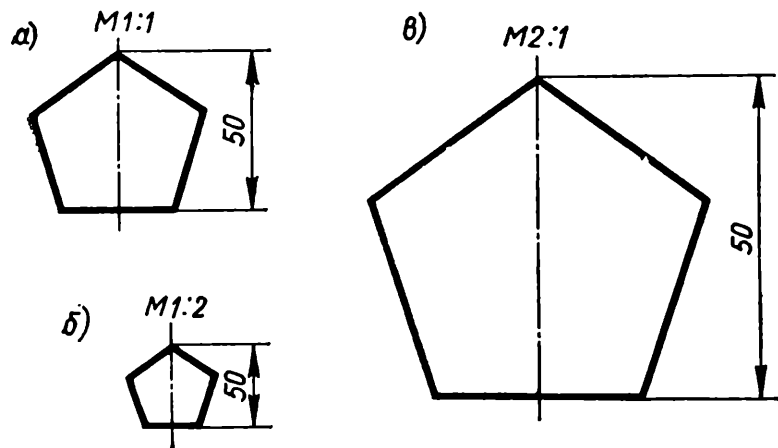


Рис. 27

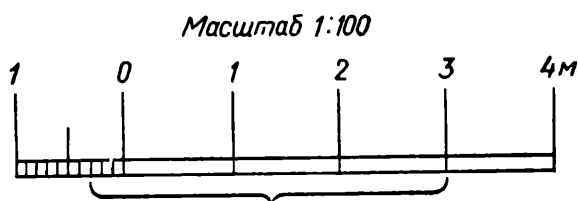


Рис. 28

М 1 : 1 (а); с уменьшением всех линейных размеров в два раза (б) и с увеличением линейных размеров в два раза (в).

Линейный масштаб представляет собой шкалу с делениями и по значению, как правило, соответствует численному. Например, на рис. 28 изображена шкала линейного масштаба, соответствующего численному масштабу уменьшения 1 : 100. Большие деления шкалы нанесены через 1 см, а малые — через 0,1 см. При заданном масштабе каждое большое деление шкалы соответствует 1 м натуральной длины, а малое — 10 см.

Пользуются линейным масштабом следующим образом. На чертеже разметочным циркулем измеряют длину отрезка прямой и, приложив ножки циркуля к шкале, определяют его размер. Для примера на рис. 28 скобкой отмечен отрезок прямой, размер которого равен 3 м 30 см.

Угловой масштаб применяют для графического пересчета одного масштаба в другой. Если на изображении нет размеров или указаний о том, в каком масштабе оно выполнено, то с помощью углового масштаба изображение можно увеличить или уменьшить, т. е. осуществить пересчет одного нестандартного масштаба в другой. Если же на изображении есть хотя бы один действительный размер предмета, то с помощью углового масштаба можно осуществить пересчет в стандартный масштаб.

Угловой масштаб представляет собой две взаимно перпендикулярные прямые, через точку пересечения которых проведена наклонная прямая, называемая прямой перехода (рис. 29, а).

По вертикальной прямой откладывают длину отрезков прямых, измеренных по данному изображению, и с помощью прямой перехода получают их длину в требуемом масштабе на горизонтальной прямой. Для этого на горизонтальной прямой нанесены миллиметровые деления.

Построение прямой перехода разберем на конкретном примере. Предположим, что нужно в $M1:50$ выполнить чертеж двери (рис. 29, б), которая изображена в нестандартном масштабе и не имеет размеров, кроме одного — высоты, равной 2 м.

Для этого на горизонтальной прямой отложим отрезок $OM = 2000/50 = 40$ мм, а на вертикальной — отрезок ON , взятый с изображения и означающий искаженную высоту AB двери. Через точку N проведем горизонтальную прямую, а через точку M — вертикальную и на их пересечении получим точку K . Прямая, проведенная через точки O и K , является прямой перехода от данного изображения к изображению в масштабе $1:50$.

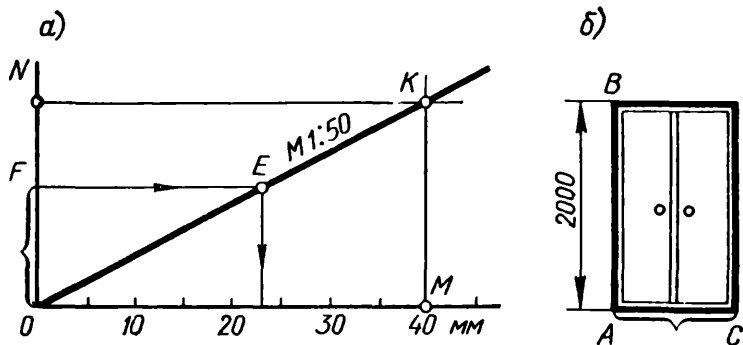


Рис. 29

Пользуются угловым масштабом следующим образом. На чертеже измеряют любой отрезок прямой, например AC (см. рис. 29, б), и на вертикальной прямой откладывают отрезок $OF = AC$. Через точку F проводят прямую, параллельную миллиметровой шкале, до пересечения ее с прямой перехода в точке E . Опустив из точки E перпендикуляр, по шкале определяют размер отрезка AC в масштабе $1:50$.

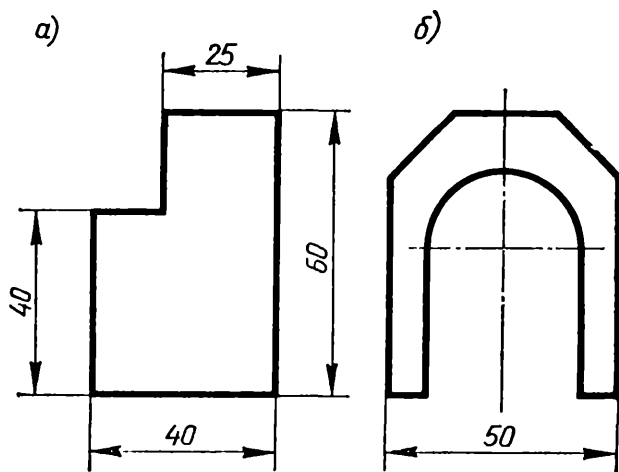


Рис. 30

Для закрепления пройденного материала учащимся предлагается контур, заданный на рис. 30, а, выполнить в $M2:1$ и $M1:5$, а контур, изображенный на рис. 30, б, начертить в $M1:1$ с помощью углового масштаба.

§ 6. НАНЕСЕНИЕ РАЗМЕРОВ

Размеры на чертежах наносят в соответствии с правилами, изложенными в ГОСТ 2.307—68. При выполнении чертежа очень важно правильно и четко нанести размеры, так как судить о величине изображенного предмета можно только по ним. Размеры на чертеже должны отражать величину изделия независимо от масштаба изображения и точности выполнения чертежа, так как

величина изображенного изделия определяется только по размерам, нанесенным на чертеже. Количество же размеров должно быть таким, чтобы можно было изготовить изделие, причем каждый размер на чертеже следует указывать только один раз.

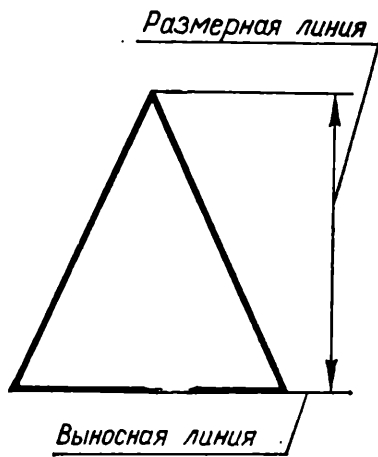


Рис. 31

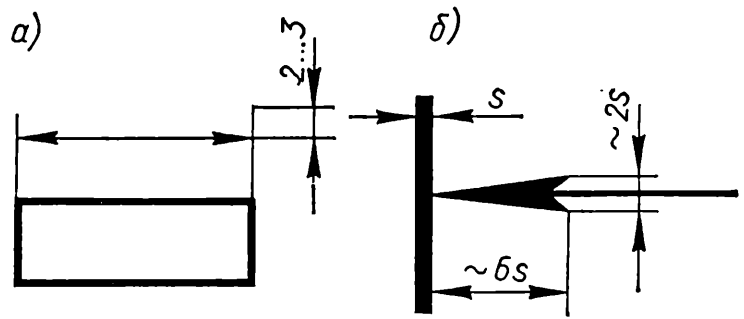


Рис. 32

Размерными и выносными линиями (рис. 31) пользуются при нанесении размеров. Размерные линии указывают границы измерения; проводят их в большинстве случаев между вспомогательными линиями, называемыми выносными. Каждая размерная линия должна быть ограничена стрелками, которые упираются в выносные линии, а также в линии контура или осевые. Выносная линия, в которую упирается стрелка, должна выходить за конец стрелки на 2...3 мм (рис. 32, а). Стрелки имеют форму, показанную на рис. 32, б. Размеры элементов стрелки размерной линии зависят от толщины S линий видимого контура. В пределах одного формата чертежа стрелки вычерчивают приблизительно одинаковыми.

Для указания размера прямолинейного отрезка размерную линию проводят параллельно этому отрезку (рис. 33, а). Размеры длины дуги окружности указывают концентрической дугой, проведенной между параллельными выносными линиями (рис. 33, б). Размер же угла указывается дугой с центром в его вершине (рис. 33, в).

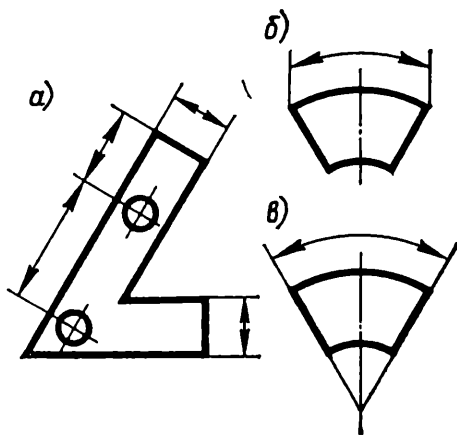


Рис. 33

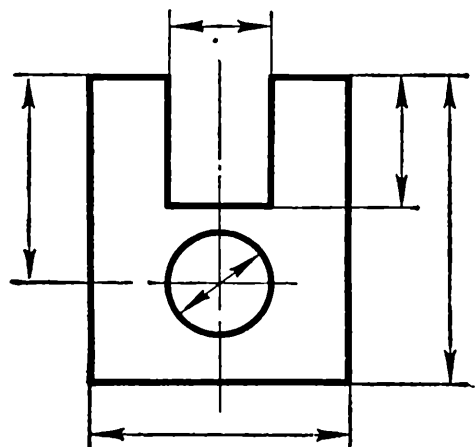


Рис. 34

При проведении размерных линий следует иметь в виду, что линии контура, осевые, центровые и выносные не должны использоваться в качестве размерных. Кроме того, следует избегать взаимного пересечения размерных и выносных линий. Пример правильного нанесения размерных линий показан на рис. 34. Чтобы не мешать чтению чертежа, размерные линии по возможности помещают вне контура изображения. Расстояние от размерной линии до линии контура или между параллельными размерными линиями следует выдерживать одинаковым на всем поле чертежа в пределах 6...10 мм (рис. 35).

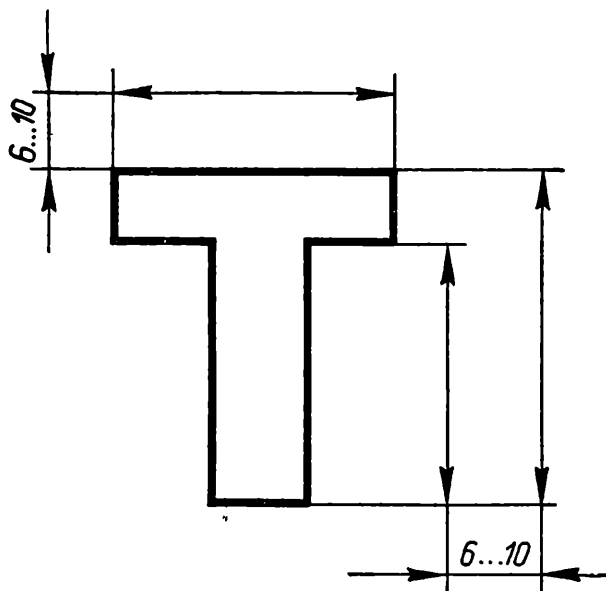


Рис. 35

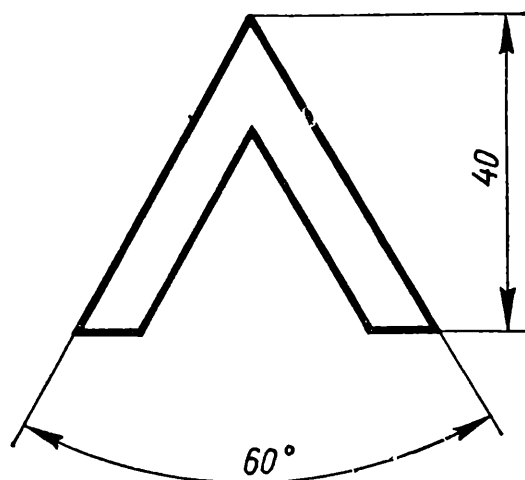


Рис. 36

Размерные числа применяют для нанесения на чертежах линейных и угловых размеров (рис. 36). Линейные размеры характеризуют высоту, ширину, длину, а также радиус, диаметр и другие элементы изображаемого предмета. Значения линейных размеров проставляют в миллиметрах без обозначения единицы измерения. Угловые размеры указывают на величину угла, причем размерное число должно сопровождаться единицей измерения. Все размерные числа в пределах одного формата чертежа должны иметь одинаковую высоту, чаще всего 3.5 мм.

Размерные числа ставят над размерной линией возможно ближе к ее середине. Однако в некоторых случаях от этого правила приходится отступать. Например, при наличии нескольких параллельных размерных линий цифры размещают в шахматном порядке (рис. 37, а), чтобы более четко видеть, к какой размерной линии они относятся. Цифры смещают и в том случае, если они попадают на осевую линию. Если же почему-либо смещение нежелательно, то осевую линию следует прерывать (рис. 37, б). Когда же середина размерной линии оказывается на заштрихованной поверхности, для нанесения размерного числа прерывают штриховку (рис. 37, в).

Чтобы не ошибиться в расположении цифр при нанесении линейных или угловых размеров с различными наклонами размерных линий, следует руководствоваться чертежом на рис. 38. Штриховкой на нем выделены зоны, где размеры рекомендуется наносить на полках.

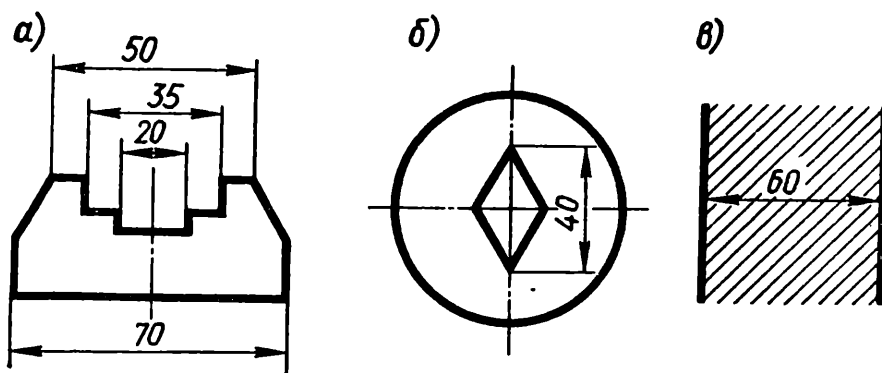


Рис. 37

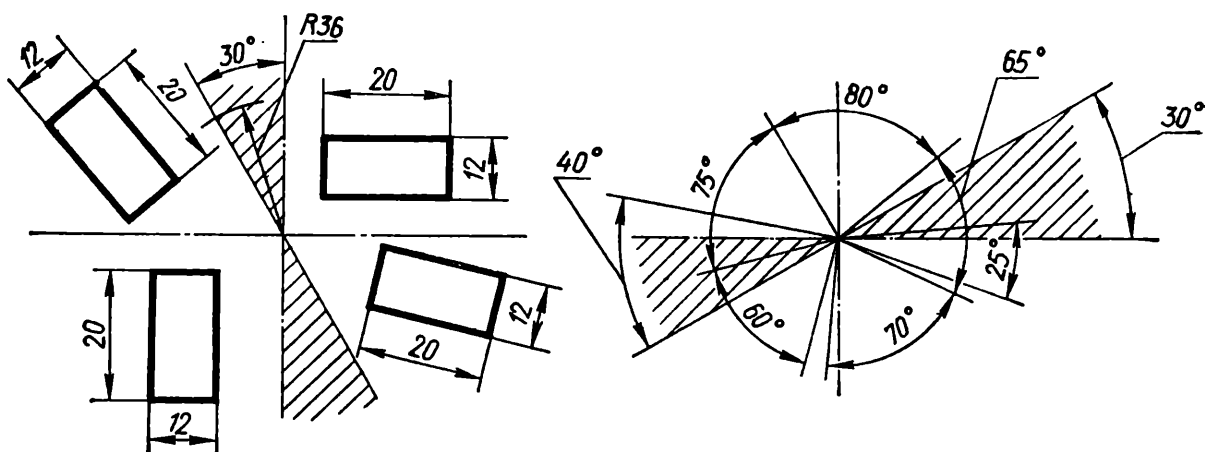


Рис. 38

Довольно часто при нанесении размеров небольших выступов, канавок, небольших углов и т. п. между размерными стрелками нет места для размерного числа (рис. 39). В таких случаях цифры пишут на полках или над размерной линией, но за пределами измеряемого отрезка прямой, причем выноски и цифры желательно располагать с правой стороны.

Условные знаки и надписи, наиболее часто встречающиеся на чертежах, следующие: 1) знак \varnothing , который всегда ставят перед размерным числом диаметра (рис. 40, а), 2) прописная буква *R*, которую наносят во всех случаях перед размерным числом радиуса (рис. 40, б), 3) знак \square , который помещают перед размерным числом стороны квадрата (рис. 40, в). Перед размерным числом радиуса или диаметра сферы допускается писать слово «Сфера» (рис. 40, г), чтобы легче отличить сферу от других поверхностей.

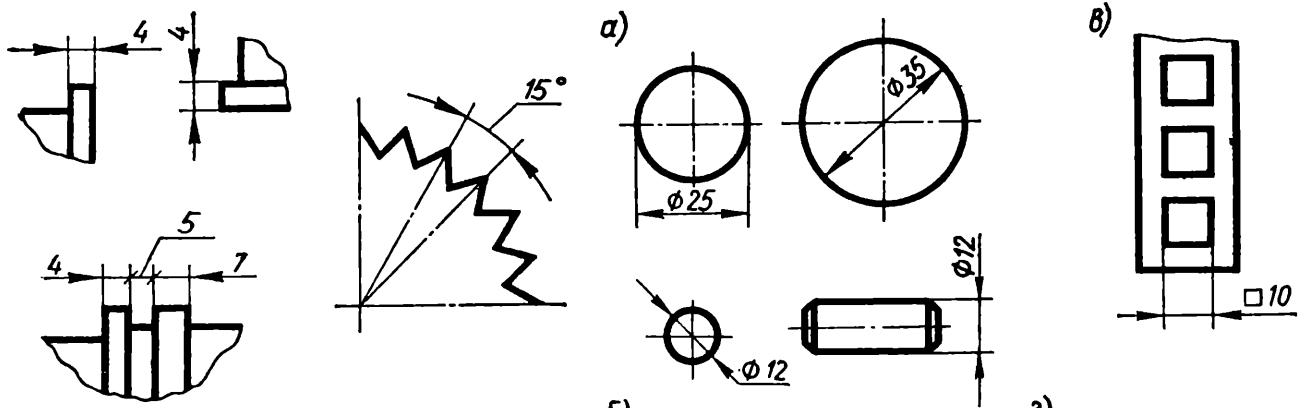


Рис. 39

Контрольные вопросы и упражнения. 1. В какой последовательности следует обводить линии чертежа? 2. Сформулируйте понятие масштаба. 3. Какие существуют виды масштабов и чем они отличаются друг от друга? 4. В каких единицах измерения указывают на чертежах линейные и угловые размеры? 5. В каких пределах должно быть расстояние между размерной линией и параллельной ей линией контура, а также между параллельными размерными линиями? 6. От какого параметра чертежа зависит размер стрелки у размерной линии? 7. Нанесите все необходимые размерные линии для контура, изображенного на рис. 30, б. 8. Нанесите размеры контура (рис. 33, а), считая, что он изображен в М 1:1.

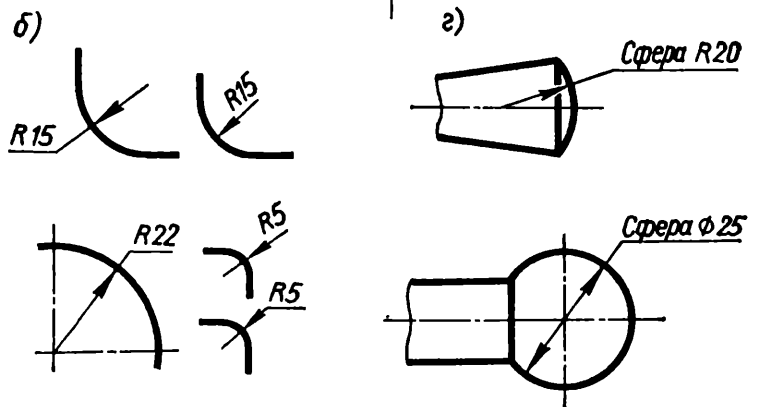


Рис. 40

Глава 3 ЧЕРТЕЖНЫЙ ШРИФТ

Надписи и размеры на чертежах и других технических документах всех отраслей промышленности и строительства выполняют основным или широким шрифтом, установленным ГОСТ 2.304—68. В данной главе все размеры и соотношения приведены для основного шрифта, который следует предпочитать широкому.

§ 7. ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ ЧЕРТЕЖНОГО ШРИФТА

Размер шрифта определяется высотой h прописных (заглавных) букв в миллиметрах. ГОСТ 2.304—68 установлены следующие размеры шрифта: 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40. Из них наиболее употребительные шрифты размеров 2,5...14 мм.

Буквы и цифры чертежного шрифта, а также различные знаки пишутся с наклоном 75° к основанию строки (рис. 41). На чертежах допускается пользоваться прямым шрифтом, т. е. писать без наклона. Исключение составляют буквы греческого алфавита, которые пишут только с наклоном.

Все элементы букв и цифр шрифта, а также расстояния между буквами, словами и строками выражаются через его высоту h и

Соотношение размеров прописных и строчных букв и цифр

Определяемая величина	Обозначение	Соотношение между высотой и остальными размерами	Размер шрифта, мм					
			2,5	3,5	5	7	10	14
Высота прописных букв и цифр	h	—	2,5	3,5	5	7	10	14
Высота строчных букв (кроме $b, в, д, р, у, ф$)	h_1	$h_1 \approx 5/7 h$	—	2,5	3,6	5	7	10
Высота строчных букв $b, в, д, р, у, ф$	h	—	—	3,5	5	7	10	14
Ширина прописных букв (кроме $A, Ж, М, Ф, Ш, Щ, Ъ, Ю$) и цифр (кроме 1)	b	$b \approx 4/7 h$	1,4	2	2,8	4	5,7	8
Ширина прописных букв $Ж, Ф, Ш, Щ, Ъ, Ю$	b_1	$b_1 \approx 6/7 h$	2,1	3	4,3	6	8,6	12
Ширина прописных букв A, M	b_2	$b_2 \approx 5/7 h$	1,8	2,5	3,6	5	7	10
Ширина цифры 1	b_3	$b_3 \approx 2/7 h$	0,7	1,0	1,4	2	3	4
Ширина строчных букв (кроме $ж, м, т, ф, ш, щ, ы, ю$)	b_4	$b_4 \approx 3/7 h$	—	1,5	2,1	3	4,3	6
Ширина строчных букв $ж, м, ф, ш, щ, ы, ю$	b_5	$b_5 \approx 5/7 h$	—	2,5	3,6	5	7	10
Ширина строчной буквы $м$	b_6	$b_6 \approx 4/7 h$	—	2	2,8	4	5,7	8
Толщина линий букв и цифр	s	$s \approx 1/7 \dots 1/10 h$	0,4...0,25	0,5...0,35	0,7...0,5	1,0...0,7	1,4...1,0	2,0...1,4
Расстояние между буквами в словах и между цифрами в числах	A	$A \approx 2/7 h$	0,7	1,0	1,4	2,0	3,0	4,0
Расстояние между словами и между числами	A_1	$A_1 \approx h$	2,5	3,5	5	7	10	14
Расстояние между окончаниями строк, не менее	A_2	$A_2 \approx 1 1/3 h$	3,8	5,3	7,5	10,5	15	21

кратны значению $\frac{1}{7}h$. Поэтому при освоении чертежного шрифта удобно использовать вспомогательную сетку, состоящую из ромбов со сторонами, равными $\frac{1}{7}h$ (рис. 42, а). После приобретения навыков в начертании букв и цифр вместо сетки можно задавать только высоту шрифта и проводить наклонные линии, определяющие ширину буквы или цифры и интервалы между ними (рис. 42, б).

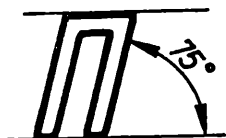


Рис. 41

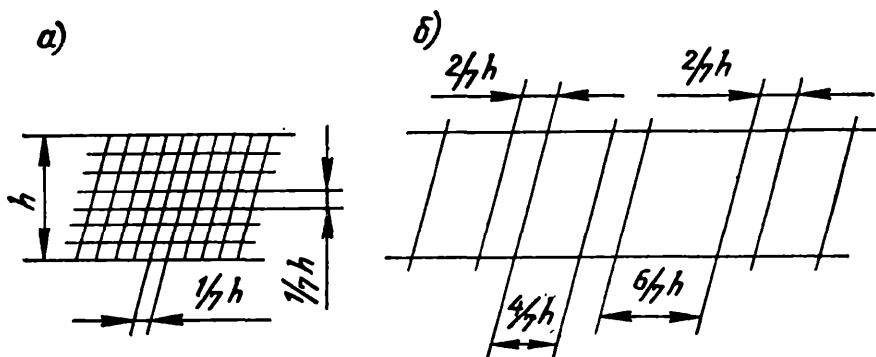


Рис. 42

Соотношения между высотой h и остальными размерами букв и цифр, а также их числовые значения для шрифтов 2,5...14 приведены в табл. 1.

§ 8. КОНСТРУКЦИЯ БУКВ И ЦИФР

Многие буквы чертежного шрифта имеют в своих очертаниях ряд одинаковых конструктивных элементов. Наличие общих конструктивных элементов позволяет разделить прописные и строч-

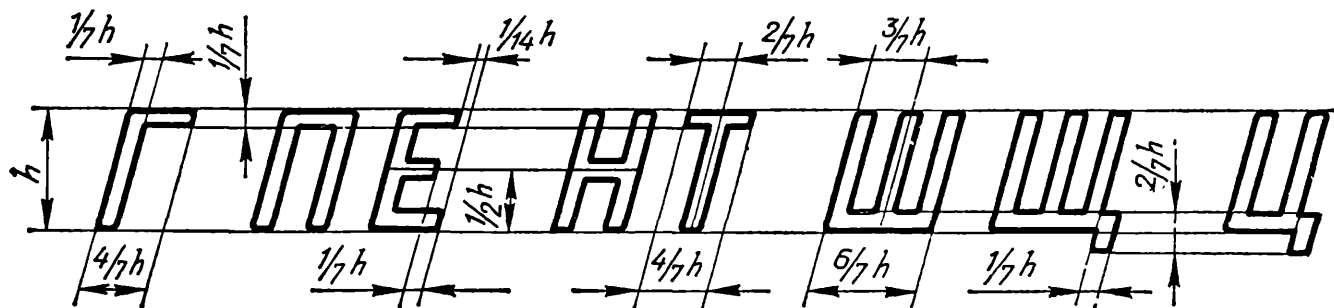


Рис. 43

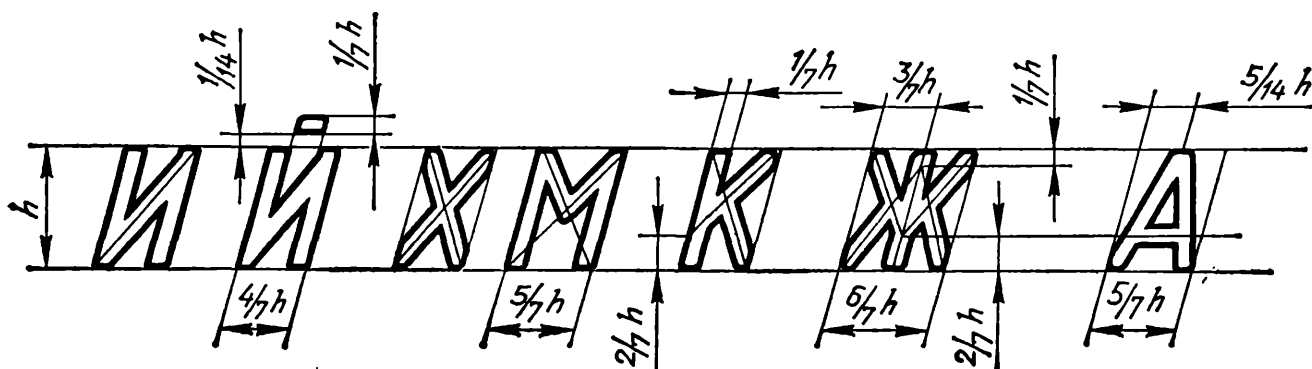


Рис. 44

ные буквы на группы букв однотипной формы, по которым удобно изучать чертежный шрифт. В каждой группе буквы расположены в зависимости от сложности и однотипности их начертания. Во всех группах вначале помещены буквы наиболее простого начертания. Размеры одинаковых элементов у букв одной группы указаны один раз.

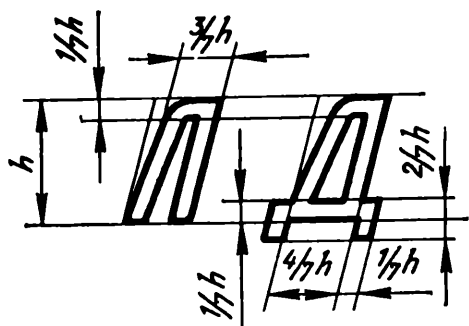


Рис. 45

Прописные буквы по конструктивному признаку можно разделить на пять групп.

1. Буквы Г, Е, Н, П, Т, Ц, Ш, Щ (рис. 43) состоят из сочетаний прямолинейных элементов, наклоненных под углом 75° к основанию строки и расположенных горизонтально.

2. Буквы А, Ж, И, Й, К, М, Х (рис. 44) имеют прямолинейные очертания, включающие диагональные (буквы И, Й, Х, М) и наклонные (буквы А, Ж, К) элементы.

3. Буквы Д и Л (рис. 45) имеют схожие очертания, состоящие в основном из прямолинейных элементов.

4. Буквы Б, В, Р, У, Ч, Ъ, Ы, Я (рис. 46) имеют очертания, образованные сочетанием наклонных и горизонтальных прямых с криволинейными элементами.

5. Буквы З, О, С, Ф, Э, Ю (рис. 47) имеют в своих контурах криволинейные очертания. Буквы О, С, Э и Ю имеют общую основу — букву О.

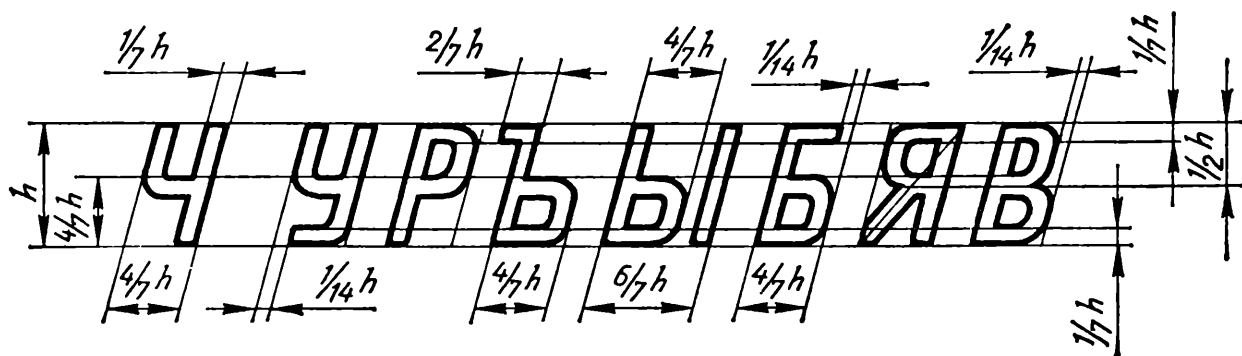


Рис. 46

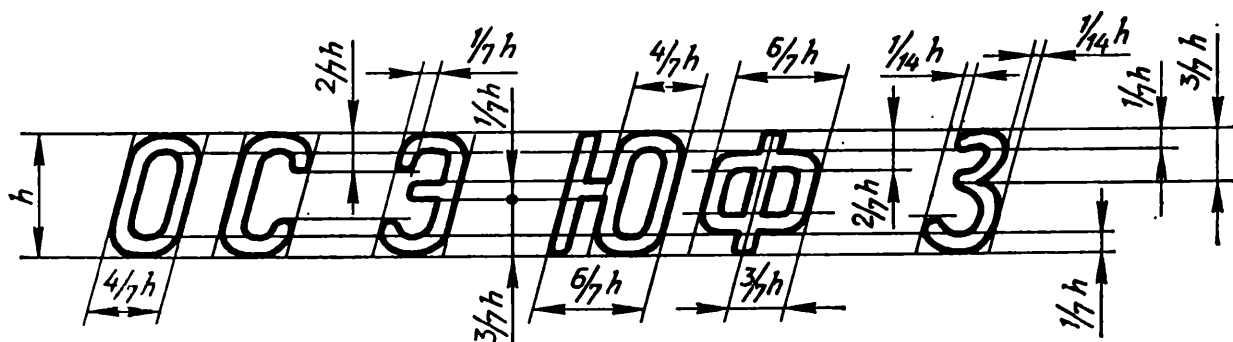


Рис. 47

Строчные буквы *ж, к, л, м, н, о, ц, х, ь, ъ, ы, э, ю, я* имеют одинаковую форму с одноименными прописными буквами. Поэтому конструкцию этих букв можно изучать по рис. 43, ..., 47. При этом следует помнить, что прописные и строчные буквы шрифта одного и того же размера отличаются друг от друга высотой и шириной. Для сравнения на рис. 48 показаны габариты прописных и строчных букв *Н* и *н*, *М* и *м*.

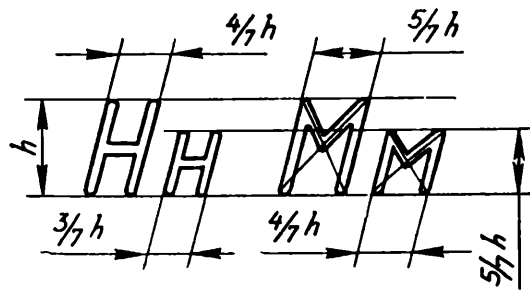


Рис. 48

Строчные буквы, форма которых отлична от одноименных прописных букв, по конструктивному признаку можно разделить на четыре группы.

1. Буквы *и, й, п, т, ц, ш, щ* (рис. 49) состоят из отрезков прямых, расположенных под углом 75° к основанию строки и соединенных между собой внизу или вверху криволинейными элементами. Основой для букв *и, й, ц, ш, щ* является буква *и*, а для букв *п* и *т* — буква *п*.

2. Буквы *а, е, с* (рис. 50) содержат элементы буквы *о*.

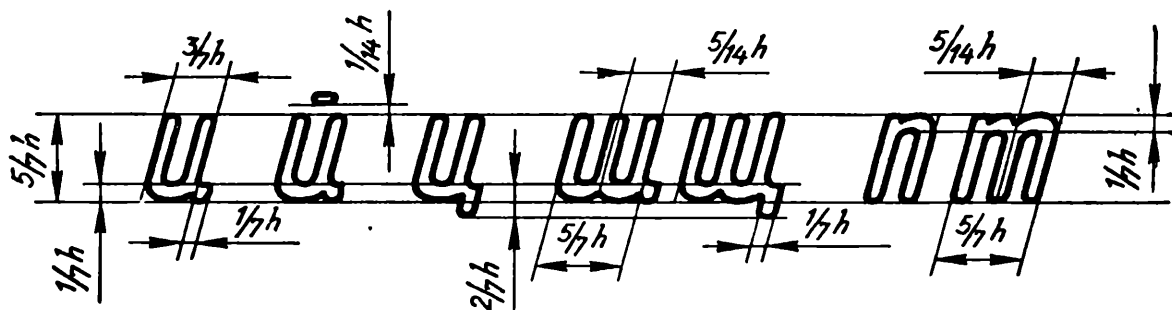


Рис. 49

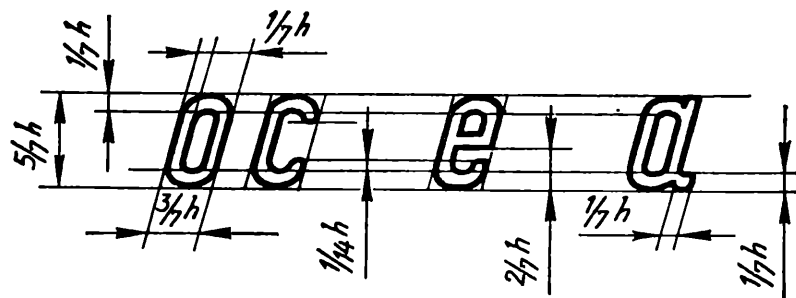


Рис. 50

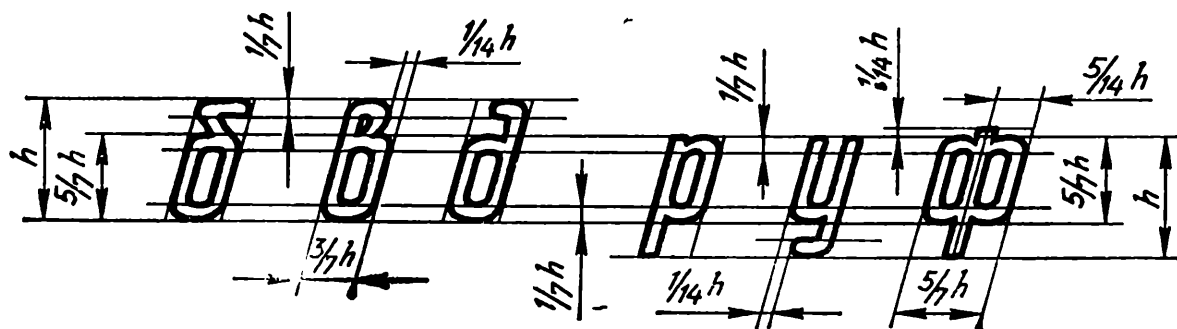


Рис. 51

3. Буквы б, в, д, р, ф, у (рис. 51) имеют высоту, равную размеру шрифта, вследствие элементов, выступающих на $\frac{2}{7}h$ по отношению к высоте строчных букв. Основой букв б, в, д является о, у которой сверху добавлены криволинейные элементы. Буквы р, у, ф имеют выступающие элементы внизу.

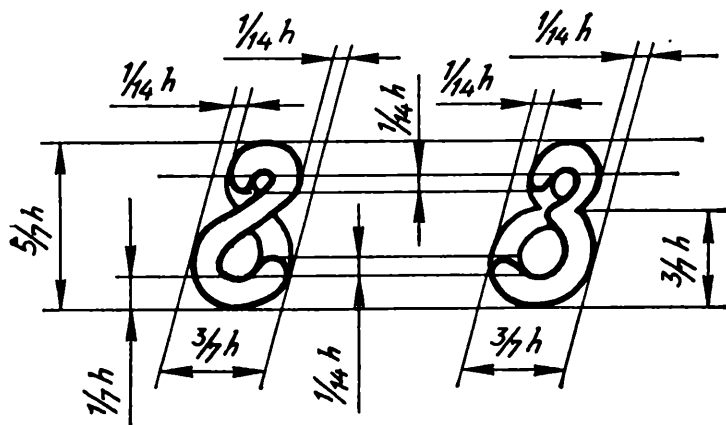


Рис. 52

4. Буквы г и з (рис. 52) целиком состоят из криволинейных элементов. Основой для построения этих букв служит цифра 8.

Для нанесения размеров на чертежах используют арабские цифры. Их форма показана на рис. 53. Там же указаны соотношения конструктивных элементов арабских цифр. Высота цифр равна высоте прописных

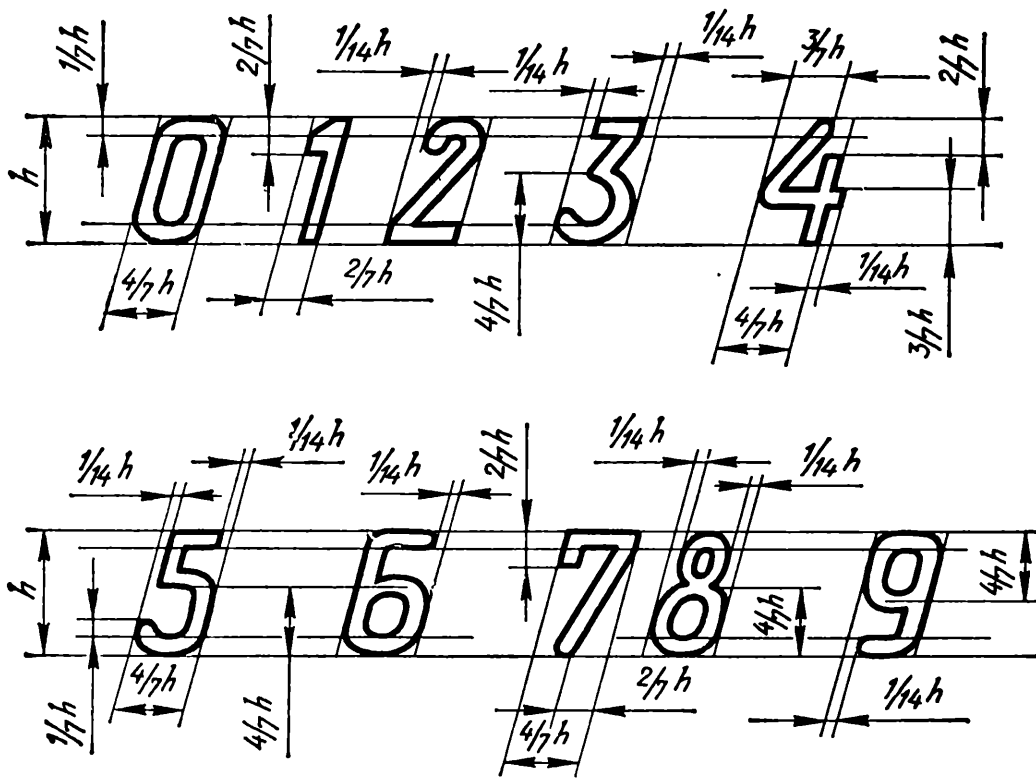


Рис. 53

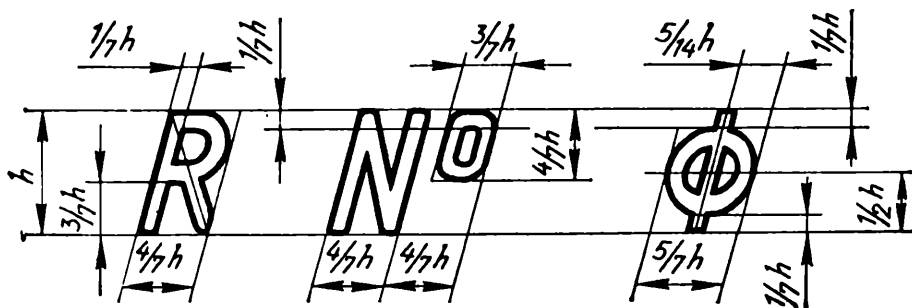


Рис. 54

букв. Ширина цифр равна $\frac{4}{7}h$, за исключением цифры 1 шириной $\frac{2}{7}h$ и цифры 4, имеющей по ширине выступ на $\frac{1}{14}h$.

На рис. 54 показаны форма и соотношения конструктивных элементов знаков, наиболее часто применяемых на чертежах: буква R — знак радиуса; N° — знак номера; \varnothing — знак диаметра.

§ 9. ВЫПОЛНЕНИЕ НАДПИСЕЙ ЧЕРТЕЖНЫМ ШРИФТОМ

При выполнении надписей на чертежах надо следить не только за правильным начертанием букв и цифр, но и за правильным расположением их в словах и числах.



Рис. 55

ГОСТ 2.304—68 установлено расстояние, равное $\frac{2}{7}h$, между буквами в словах и цифрами в числах, а также между знаками и буквами или числами (рис. 55). В тех случаях, когда при сочетании прописных букв получается кажущееся увеличение промежутков между ними, расстояние между буквами сокращают в два раза или пишут буквы без интервала. Зрительное искажение расстояния между буквами получается при сочетании таких букв как Г и А, Г и Д, Г и Л, Р и А и др. На рис. 55 дан пример написания слов, которые содержат подобные сочетания букв.

Расстояние между словами и числами должно быть не менее ширины нормальной буквы соответствующего шрифта. Чаще всего это расстояние берут равным ширине буквы плюс расстояние между соседними буквами, т. е. $\frac{6}{7}h$ (рис. 55).

Когда надпись выполняют в две и более строк, то расстояние между основаниями последовательных строк должно быть не менее $1,5h$. Обычно его принимают равным $2h$ (рис. 55). Числовые значения расстояний между знаками и строками приведены в табл. 1.

При выполнении надписи прописными (заглавными) буквами первую букву надписи по высоте не выделяют (рис. 56, а). Если же надпись выполняют строчными буквами, толщину линий за-

главной прописной буквы принимают одинаковой со строчными (рис. 56, б).

Любые надписи на чертежах должны быть композиционно увязаны с форматом и графическим материалом чертежа. Если надписи выполняют в таблицах технических документов, то их следует увязывать с размерами граф.

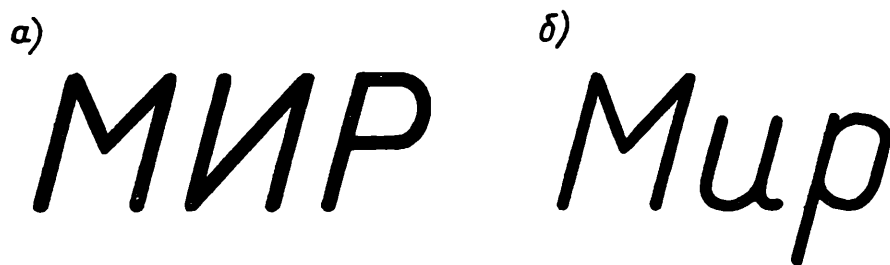


Рис. 56

Под композицией текста следует понимать не только его расположение, но и размер шрифта. При выборе размера шрифта учитывают значимость содержания надписи, требования стандартов в отношении размеров различных обозначений и назначение чертежа. Все однородные надписи на одном чертеже выполняют одним и тем же размером шрифта. На чертежах цифры размерных чисел пишут шрифтом размера 3,5. Цифры в обозначениях и основной надписи, например масштаб, порядковый номер детали или задания пишут на один размер шрифта крупнее, чем размерные цифры на том же чертеже. Заголовки в основной надписи, таблицах и другой технической документации выполняют шрифтом размера 5 или 7 (см. рис. 21). Остальной текст таблиц и основной надписи пишут шрифтом размера 3,5 или 5. Шрифтами размеров 10 и 14 пишут заголовки на титульных листах технической документации или графических работ (в учебном курсе).

После того как установлен размер шрифта надписей и размечены строки, определяют место надписей в строке. При этом удобно предварительно на длинной полоске бумаги разметить ширину каждой буквы и промежутков между буквами и словами. Далее полоску бумаги прикладывают к нужной строке и, сдвигая ее вправо или влево, выбирают положение текста. Затем отмеченные промежутки в виде штрихов переносят на основание строки и через них проводят наклонные прямые. При этом получается вспомогательная сетка из параллелограммов. В целях избежания ошибок и пропусков над строкой против каждого параллелограмма следует писать соответствующую букву или цифру (рис. 57).

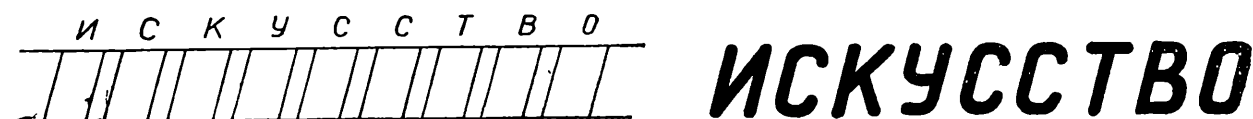


Рис. 57

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ

Под геометрическими понимают элементарные построения на плоскости, базирующиеся на основных положениях геометрии. К ним относятся проведение взаимно перпендикулярных и параллельных прямых, деление отрезков, углов и др. Знание приемов, используемых в геометрических построениях, позволяет правильно начертить контур любого изделия, точно выполнить рамку формата чертежа и разметить надписи. Таким образом, приемы геометрических построений являются основой для выполнения чертежа и значительно ускоряют его выполнение, так как позволяют в каждом случае выбрать наиболее рациональные приемы построений.

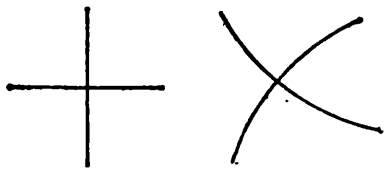


Рис. 58

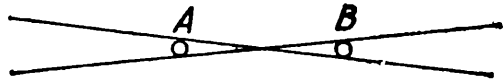


Рис. 59

Кроме того, выполнение геометрических построений дает возможность учащимся овладеть правильными приемами работы чертежными инструментами.

Графические построения всегда неточны, но степень неточности может быть различной. Построение более точно, если оно содержит мало операций (под операцией понимают проведение прямой линии, вычерчивание дуги окружности, откладывание отрезка прямой и т. п.). Поэтому при решении графических задач следует выбирать построение с наименьшим числом операций.

Точность геометрических построений во многом зависит от аккуратности и внимания работающего. При этом необходимо иметь в виду следующее: проводимые линии должны быть тонкими и чертить их надо твердым карандашом; точку на чертеже следует задавать как точку пересечения двух линий — прямых, дуг окружностей или прямой и дуги окружности. Во всех случаях угол между этими линиями должен быть прямым или приближаться к нему (рис. 58). Проводить прямую желательно через две точки, расположенные подалеже друг от друга, так как при сближении точек увеличивается возможность отклонения прямой от ее истинного направления (рис. 59).

§ 10. ПОСТРОЕНИЕ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРЯМЫХ

Построение перпендикулярных прямых. *Построение перпендикуляра к прямой MN в заданной на ней точке A* (рис. 60). Точку A принимают за центр и описывают дугу окружности произ-

вольного радиуса R_1 до пересечения ее с прямой MN в точках O_1 и O_2 . Из центров O_1 и O_2 проводят дуги окружности радиуса R_2 , большего радиуса R_1 , до взаимного их пересечения в точках B и C . Соединив прямой точки B и C , получают искомый перпендикуляр.

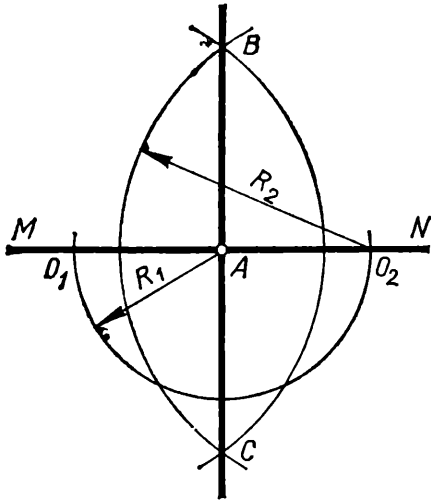


Рис. 60

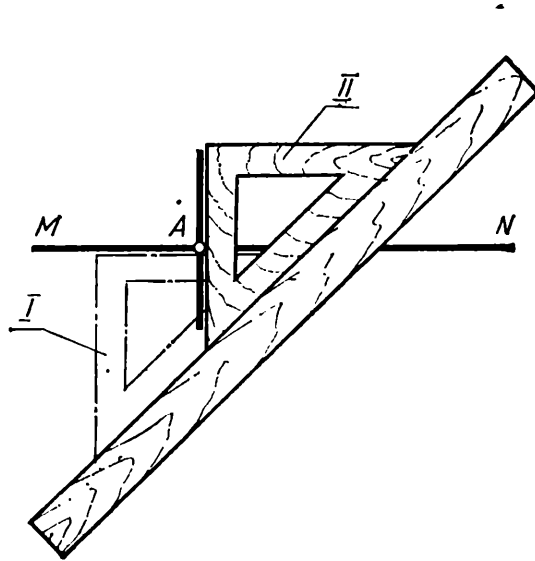


Рис. 61

На рис. 61 та же задача решена с помощью линейки и угольника. К прямой MN прикладывают угольник катетом (положение I), а к его гипотенузе — линейку или другой угольник.левой рукой придерживают линейку, а правой передвигают угольник до совпадения его второго катета с точкой A (положение II), после чего проводят прямую, перпендикулярную заданной.

Построение прямой, перпендикулярной отрезку MN и проходящей через точку M (рис. 62). Вне отрезка MN выбирают произвольную точку O так, чтобы угол OMN был приблизительно равен $45...60^\circ$. Из центра O проводят окружность радиуса OM , которая пересечет заданный отрезок прямой в точке A . Точки A и O соединяют прямой и продолжают ее до пересечения с окружностью в точке B . Прямая, проведенная через точки B и M , перпендикулярна заданной в силу того, что угол BMA прямой как угол, вписанный в окружность и опирающийся на ее диаметр.

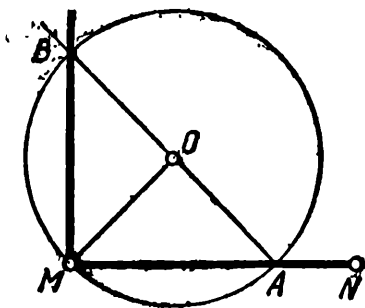


Рис. 62

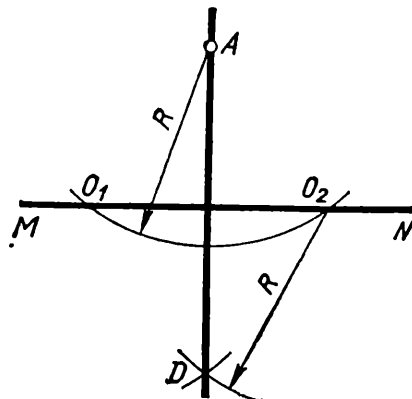


Рис. 63

Построение перпендикуляра к прямой MN из точки A , расположенной вне этой прямой (рис. 63). Из точки A как из центра проводят дугу окружности произвольного радиуса R , пересекающую заданную прямую в точках O_1 и O_2 . Из полученных точек проводят дуги окружности того же радиуса R до их взаимного пересечения в точке D . Прямая, проведенная через точки A и D , перпендикулярна заданной.

Учащимся предлагается самим решить две последние задачи с помощью угольника и линейки (см. рис. 61).

Построение параллельных прямых. Построение прямой, параллельной заданной прямой MN , через точку A , расположенную вне этой прямой (рис. 64). Из точки A проводят окружность радиуса R , пересекающую прямую MN в точках B и C . От одной из них, например точки C , на прямой MN откладывают в любую сторону отрезок прямой, равный радиусу R , и получают точку D . Из точки D проводят дугу окружности того же радиуса R до пересечения ее с окружностью в точке E . Прямая AE параллельна MN , так как отрезки AE и CD являются противоположными сторонами ромба $ACDE$.

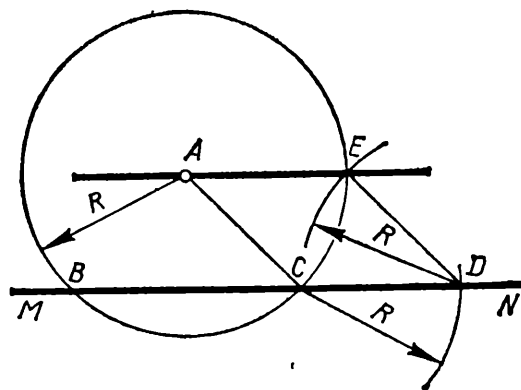


Рис. 64

При наличии угольника и линейки задача решается проще (рис. 65). К прямой MN прикладывают угольник гипотенузой (положение I), а к его катету — линейку.левой рукой придерживают линейку, а правой передвигают угольник до совпадения его гипотенузы с точкой A (положение II) и через нее проводят прямую, параллельную заданной.

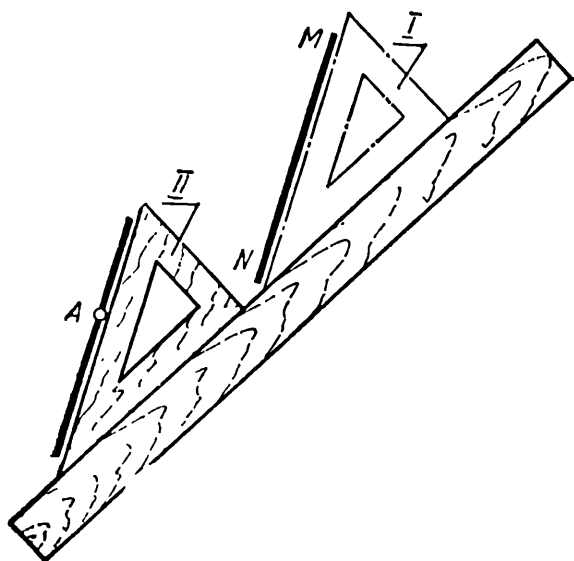


Рис. 65

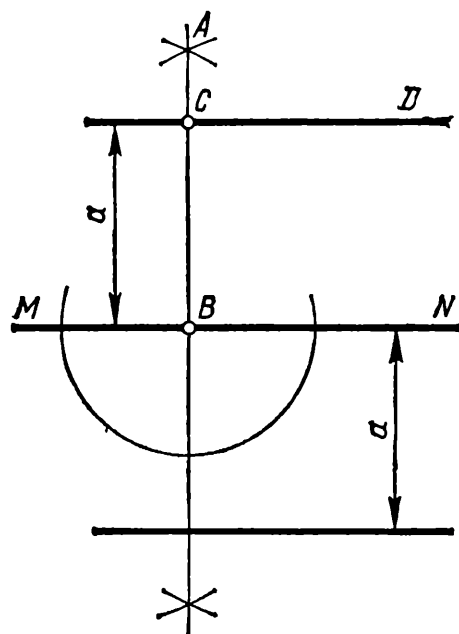


Рис. 66

Построение прямой, параллельной заданной прямой MN и отстоящей от нее на расстоянии a (рис. 66). Через произвольную точку B на прямой MN проводят прямую AB , перпендикулярную заданной. На перпендикуляре от точки B откладывают отрезок BC , равный заданному расстоянию a . Через точку C с помощью угольника и линейки проводят прямую CD , параллельную заданной. Отрезок $BC = a$ можно отложить на перпендикуляре в обе стороны, поэтому задача имеет два ответа.

§ 11. ДЕЛЕНИЕ ОТРЕЗКА ПРЯМОЙ

Деление отрезка прямой на равные части. Деление отрезка AB пополам (рис. 67, а). Из концов отрезка AB проводят две дуги окружности радиуса R , большего половины отрезка, до пересечения их в точках M и N . Прямая, проходящая через точки M и N , делит заданный отрезок в точке C пополам. Если продолжить деление отрезка и последовательно каждую половину его делить пополам, то отрезок AB будет разделен на 4, 8, 16 и т. д. равных частей (рис. 67, б).

Деление отрезка прямой на произвольное число равных частей. Такое деление основано на свойстве подобных треугольников. На рис. 68 показано деление отрезка AB на семь равных частей. Через любой конец отрезка AB под произвольным углом к нему (лучше острым) проводят вспомогательную прямую AC . С помощью циркуля от точки A на прямой AC откладывают семь произвольных, но равных между собой отрезков. Последнюю точку 7 соединяют с точкой B , а через остальные точки 1, 2, ..., 6 проводят прямые, параллельные прямой $B7$, до пересечения их с отрезком AB . Точки пересечения разделят отрезок AB на семь равных частей.

Для проверки усвоения материала самостоятельно разделите отрезок произвольной длины на пять равных частей.

Деление отрезка прямой на пропорциональные части. Деление отрезка в заданном отношении. Например, на рис. 69, а показано

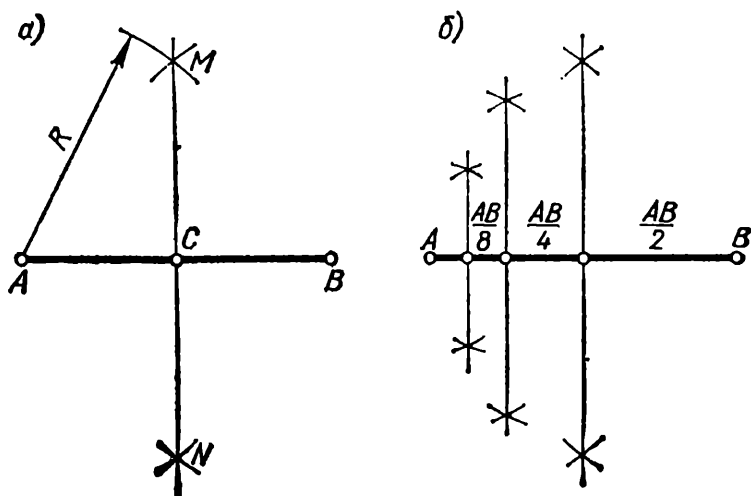


Рис. 67

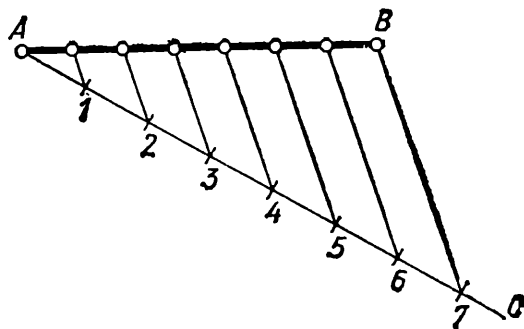


Рис. 68

деление отрезка AB на две части в отношении $AC:CB=2:3$. Через точку A проводят под произвольным углом к заданному отрезку вспомогательную прямую AD . На этой прямой от точки A откладывают пять $(2+3)$ равных отрезков произвольной длины. Точки B и V соединяют прямой линией. Через точку II проводят прямую, параллельную BV , до пересечения ее с отрезком AB в точке C . Точка C делит отрезок AB в отношении $2:3$.

Если отношение задано не цифрами, а в отрезках $m:n$, то на вспомогательной прямой AD вместо отрезков произвольной длины откладывают отрезки m и n .

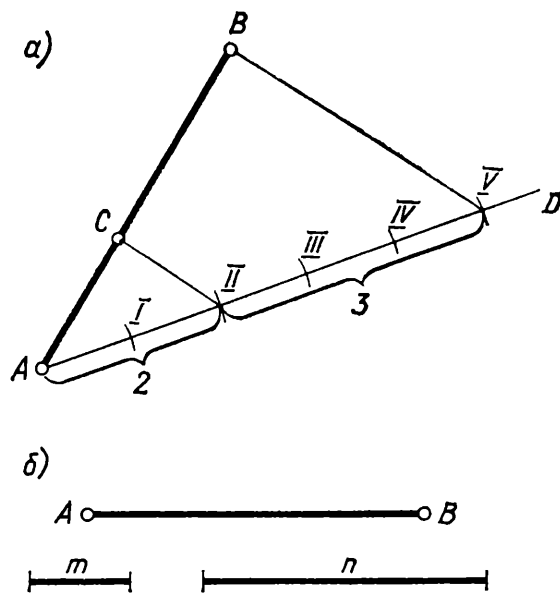


Рис. 69

Подобное построение учащемуся предлагается сделать самостоятельно, взяв размеры с рис. 69, б.

Деление отрезка AB в крайнем и среднем отношении (рис. 70). Отрезок AB делят в точке C пополам и через один из его концов, например точку B , проводят прямую BM , ему перпендикулярную (рис. 70, а). От точки B на перпендикуляре откладывают отрезок $BD=BC$. Точки A и D соединяют прямой (рис. 70, б). На отрезке AD получают точку E с помощью дуги окружности радиуса DB с центром в точке D . Из точки A как из центра проводят дугу окружности радиуса AE , которая пересечет отрезок AB в точке F . Точка F является точкой деления отрезка AB в крайнем и среднем отношении, так как $AF/FB=AB/AF$.

Рассмотренную пропорцию часто называют «золотым сечением». Это название связано с тем, что в пропорциях человеческого тела, в формах животных, среди творений мастеров архитектуры и прикладного искусства — всюду встречаются пропорции, подчиненные закономерности

деления в крайнем и среднем отношении. Деление отрезка в крайнем и среднем отношении позволяет подобрать наилучшие пропорции для одного предмета или выбрать соразмерность нескольких предметов.

Возьмем для примера прямоугольник с отношением сторон, равным построенной пропорции

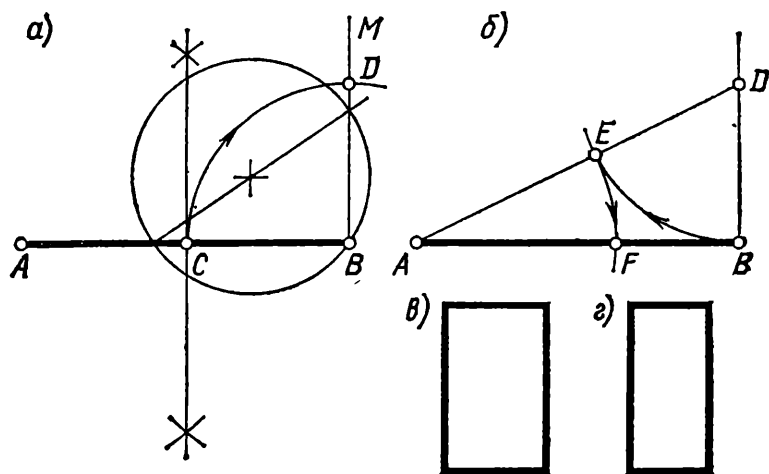


Рис. 70

(рис. 70, в), и сравним его с другим прямоугольником (рис. 70, г), у которого эта пропорция нарушена. Нетрудно заметить, что пропорции первого прямоугольника более приятны для глаза. Простейшее применение пропорции «золотого сечения» можно наблюдать в форматах книг, альбомов, размерах открыток и т. д.

§ 12. ПОСТОЯНИЕ УГЛОВ. ДЕЛЕНИЕ УГЛОВ. ПОСТРОЕНИЕ УКЛОНА И КОНУСНОСТИ

Построение углов. *Построение угла, равного данному.* Пусть требуется на прямой MN при точке D построить угол, равный углу ABC (рис. 71). Проводят две дуги окружности произвольного радиуса R_1 : одну из вершины угла ABC , пересекающую стороны его в точках K и L (рис. 71, а), другую из точки D , пересекающую прямую MN в точке F (рис. 71, б). Из точки F проводят дугу окружности радиуса $R_2 = KL$ до пересечения с дугой окружности радиуса R_1 в точке E . Проводя через точки D и E прямую, получают угол EDF , равный заданному углу ABC .

Построение углов заданного размера. Два угольника с углами 45° , 30° и 60° в сочетании с линейкой дают возможность построить любой угол, кратный 15° (рис. 72).

Постройте самостоятельно углы, равные 105° и 120° .

Углы любого размера строят с помощью круговых шкал, на которых нанесены деления в градусах. Такие шкалы имеются на поворотной головке чертежного прибора, транспортире и некоторых угольниках. Пусть требуется на прямой MN при точке B (рис. 73) построить угол MBA , равный 107° . Центр шкалы — точку O — совмещают с точкой B , а ее начальную прямую — с прямой MN . На шкале находят деление, соответствующее 107° , и отмечают точку A . Затем через точки A и B проводят вторую сторону угла.

Деление углов. *Деление угла пополам* (рис. 74, а). Из вершины B угла ABC проводят дугу окружности произвольного радиуса R_1 до пересечения ее со сторонами углами в точках M и N . Затем из точек M и N проводят дуги окружности радиуса $\geq R_1$ до взаимного пересечения их в точке D . Прямая BD разделит данный угол пополам.

Деление угла на 4, 8 и т. д. равных частей осуществляется последовательным делением пополам каждой части угла (рис. 74, б).

Если стороны угла, например AB и CD (рис. 75), в пределах чертежа не пересекаются, то на произвольном, но одинаковом расстоянии l от сторон угла проводят прямые

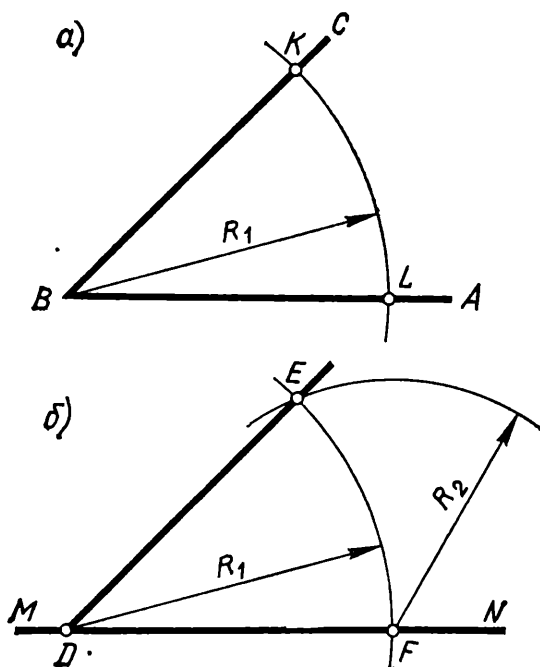


Рис. 71

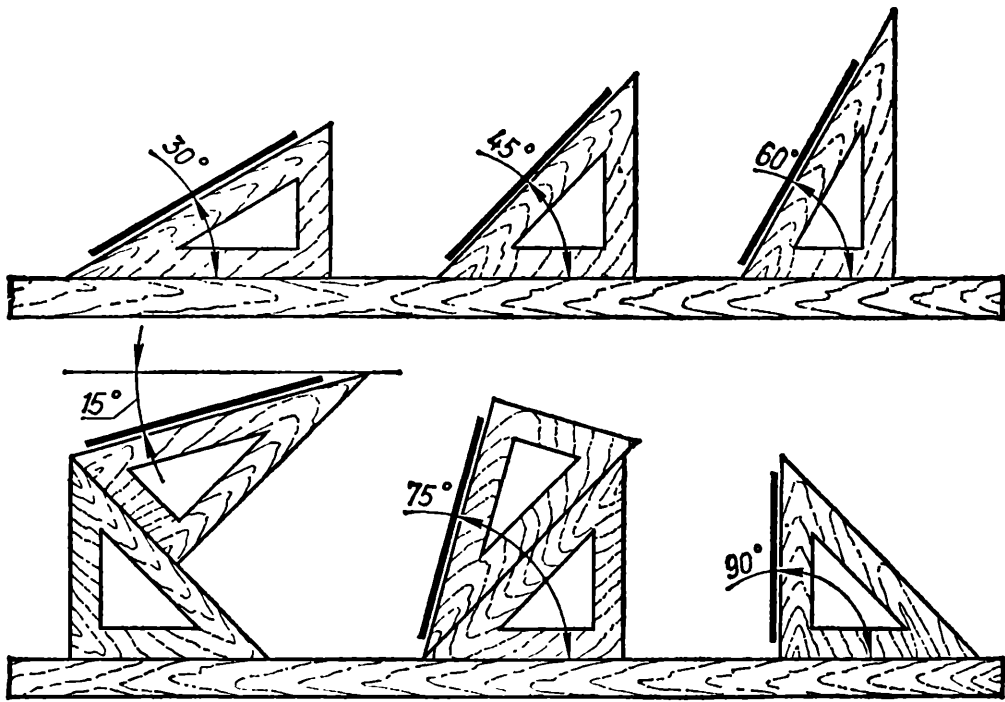


Рис. 72

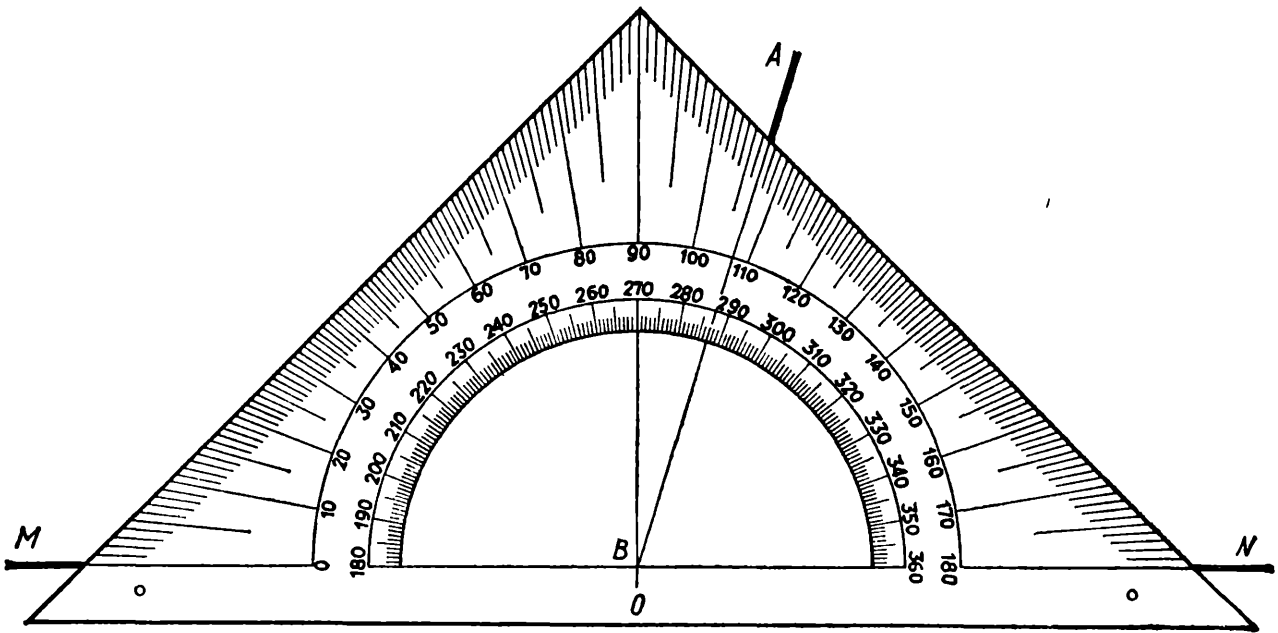


Рис. 73

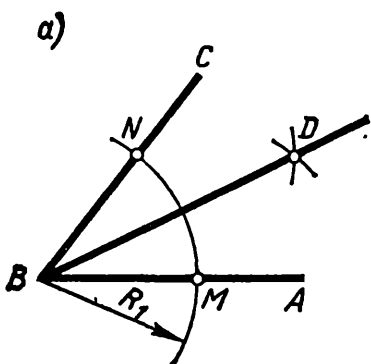


Рис. 74

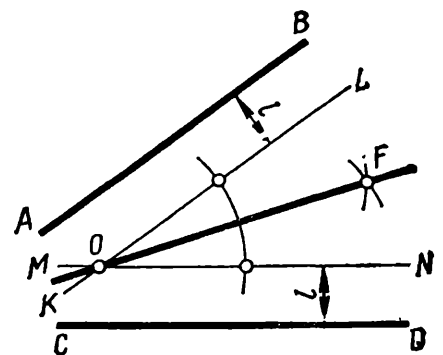
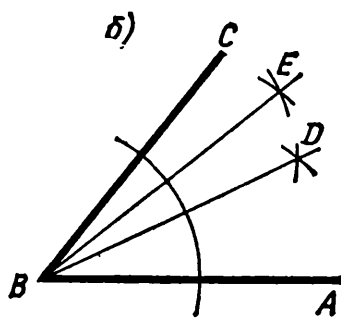


Рис. 75

$KL \parallel AB$ и $MN \parallel CD$ и продолжают их до пересечения в точке O . Полученный угол LON делят пополам прямой OF . Прямая OF разделит пополам также и заданный угол.

Деление прямого угла на три равные части (рис. 76). Из вершины прямого угла точки B проводят дугу окружности произвольного радиуса R до пересечения ее с обеими сторонами угла в точках A и C . Из точек A и C проводят дуги окружности того же радиуса R до пересечения с дугой AC в точках M и N . Прямые, проведенные через вершину угла B и точки M и N , разделят прямой угол на три равные части.

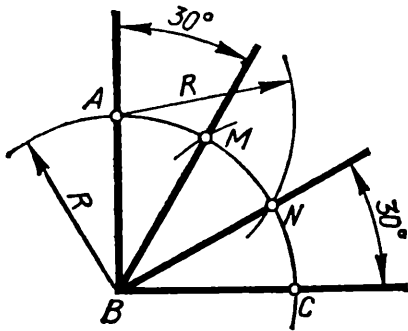


Рис. 76

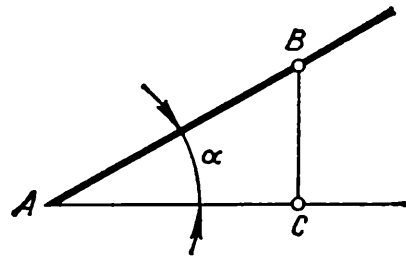


Рис. 77

Используя способы деления углов, самостоятельно разделите прямой угол на шесть и двенадцать равных частей.

Построение уклона и конусности. В очертаниях многих предметов есть прямые, составляющие между собой некоторый угол. На чертежах значение угла между прямыми задают в градусах, уклоном или конусностью (для предметов конической формы).

Уклоном называется величина, характеризующая наклон одной прямой линии по отношению к другой. Уклон выражается отношением двух катетов. Например, наклон прямой AB к прямой AC определяется отношением катета BC к катету AC (рис. 77). Такое отношение равно тангенсу угла между данными прямыми $BC/AC = \operatorname{tg} \alpha$.

На рис. 78 показано построение прямой AB с уклоном $1:4$ по отношению к прямой MN и проходящей через расположенную на ней точку A . На прямой MN от точки A откладывают четыре равных отрезка произвольной длины a и отмечают точку C . Из точки C к прямой MN восстанавливают перпендикуляр и на нем откладывают отрезок CB длиной a . Прямая, проведенная через точки A и B , имеет уклон, равный $1:4$ по отношению к прямой MN .

Значение уклона на чертежах записывают отношением двух чисел. Согласно ГОСТ 2.307—68, перед размерным числом уклона ставят знак угла \angle . Вершина угла знака \angle должна быть направлена в сторону уклона (рис. 78).

Самостоятельно выполните задачу на построение прямой, проходящей через точку на вертикальной прямой и имеющей уклон $1:15$ по отношению к ней.

Конусностью называют отношение диаметра основания конуса к его высоте $K = D_k L = 2 \operatorname{tg} \alpha$ (рис. 79) или отношение разности диаметров двух поперечных сечений конуса к расстоянию между ними $K = (D_k - d_k) / L = 2 \operatorname{tg} \alpha$ (рис. 80). Конусность выражают отношением двух чисел, перед которым ставят знак \triangleright . Вершины знака и конуса должны быть направлены в одну сторону.

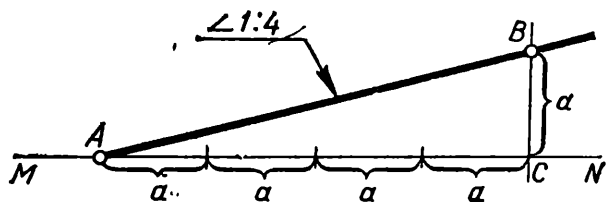


Рис. 78

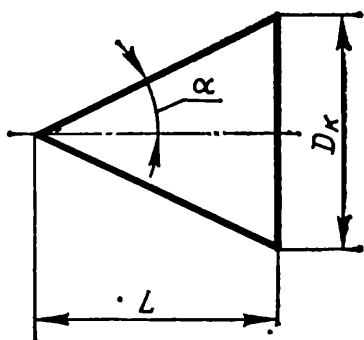


Рис. 79

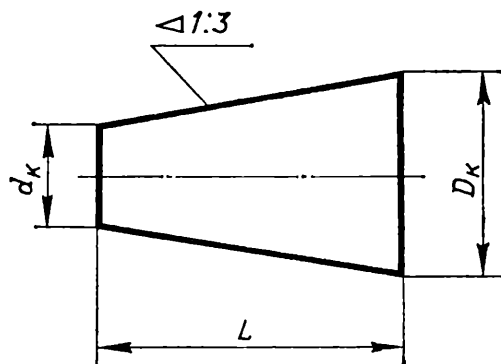


Рис. 80

Контрольные вопросы и упражнения. 1. Разделите отрезок прямой произвольной длины в отношении 1 : 4. 2. Постройте с помощью циркуля и линейки угол 120° . 3. Разделите угол 50° на четыре равные части с помощью циркуля и линейки. 4. Что называют уклоном? Как принято обозначать уклон на чертежах? 5. Что называют конусностью? Как расположена вершина знака, обозначающего конусность?

§ 13. ПОСТРОЕНИЕ ПЛОСКИХ ФИГУР

Построение треугольника ABC по трем его сторонам AB, BC и CA (рис. 81). На произвольной прямой откладывают отрезок, равный любой стороне треугольника, например AB. Из точки A как из центра описывают дугу окружности радиуса $R_1 = AC$, а из точки B — дугу окружности радиуса $R_2 = BC$ до их взаимного пересечения в точке C. Затем соединяют прямыми точку C с точками A и B.

Построение треугольника A₁B₁C₁, равного треугольнику ABC (рис. 82). На произвольной прямой откладывают отрезок, например A₁C₁, равный стороне AC данного треугольника. Из точек A₁ и C₁ как из центров проводят дуги окружностей соответственно радиусов $R_1 = AB$ и $R_2 = CB$ до их взаимного пересечения в точке B₁. Полученную точку B₁ соединяют прямыми с точками A₁ и C₁.

Построение многоугольника (четырёх-, пятиугольников и т. д.), равного данному (рис. 83). Заданный многоугольник разбивают на треугольники. С помощью полученных треугольников способом, показанным на рис. 82, строят многоугольник, равный данному. Такой способ построения называется триангуляцией, его широко применяют при построении разверток.

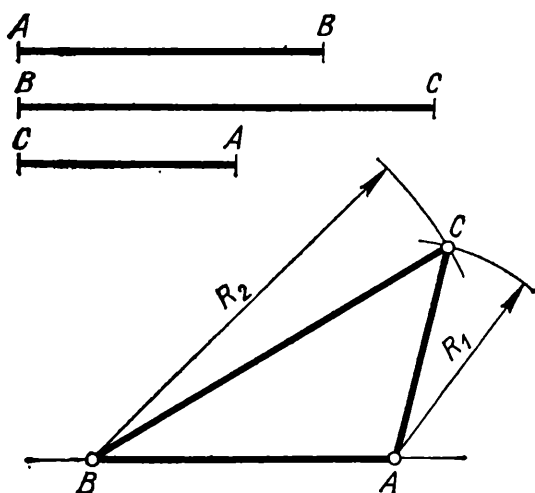


Рис. 81

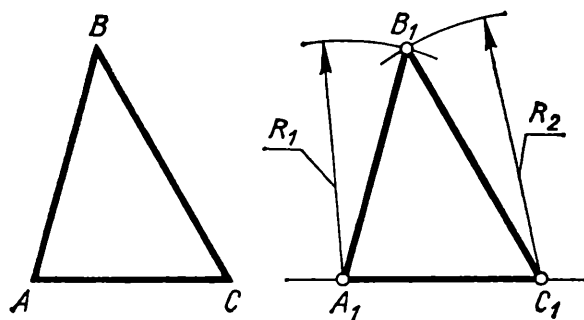


Рис. 82

Построение многоугольника по координатам его вершин. Положение точки на плоскости может быть задано ее расстоянием от двух взаимно перпендикулярных пересекающихся прямых OX и OY (рис. 84, а). Эти прямые называются осями координат, а точка их пересечения O — началом координат. Горизонтальная прямая OX называется осью абсцисс, а вертикальная прямая OY — осью ординат. Способ задания точек в координатах носит название метода координат, при котором положение точки, например A , определяют ее абсцисса x_A и ордината y_A .

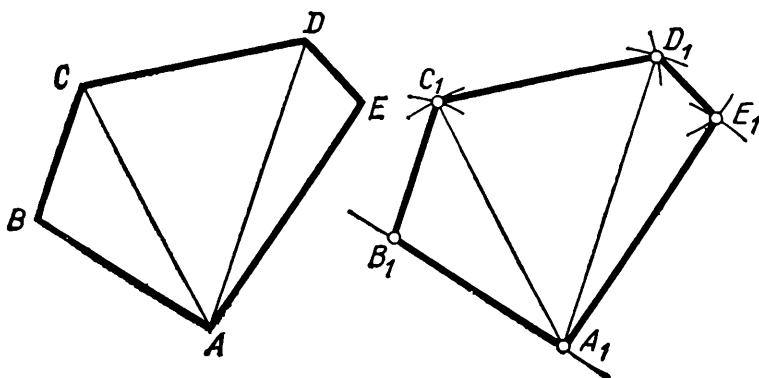


Рис. 83

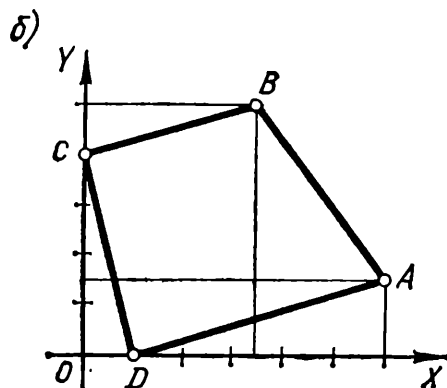
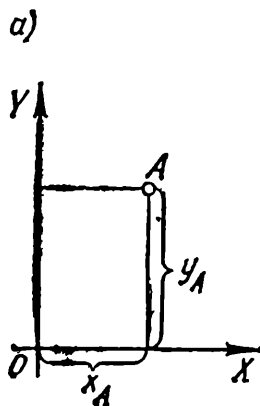


Рис. 84

На рис. 84, б показано построение четырехугольника $ABCD$ по координатам его вершины: A ($x=60$; $y=15$); B ($x=35$, $y=50$), C ($x=0$; $y=40$); D ($x=10$; $y=0$). Выбрав нужный масштаб, строят

каждую вершину четырехугольника по ее координатам, а затем вершины соединяют прямыми.

§ 14. ДЕЛЕНИЕ ОКРУЖНОСТИ НА РАВНЫЕ ЧАСТИ. ПОСТРОЕНИЕ ПРАВИЛЬНЫХ МНОГОУГОЛЬНИКОВ

Деление окружности на равные части и построение правильных вписанных многоугольников. Для деления окружности пополам достаточно провести любой ее диаметр. Два взаимно перпендикулярных диаметра разделят окружность на четыре равные части (рис. 85, а). Разделив каждую четвертую часть пополам, получают восьмые части, а при дальнейшем делении шестнадцатые, тридцать вторые части и т. д. (рис. 85, б). Если соединить прямыми точки деления, то можно получить стороны правильного вписанного четырехугольника (a_4), восьмиугольника (a_8) и т. д. (рис. 85, в).

Деление окружности на 3, 6, 12, ... равных частей, а также построение соответствующих правильных вписанных многоугольников осуществляют следующим образом. В окружности проводят два взаимно перпендикулярных диаметра 1—2 и 3—4 (рис. 86, а). Из точек 1 и 2 как из центров описывают дуги окружности радиуса R до пересечения с ней в точках A , B , C и D . Точки A , B , 1, C , D и 2 делят окружность на шесть равных частей. Эти же точки, взятые через одну, разделят окружность на три равные части (рис. 86, б). Для деления окружности на 12 равных частей описы-

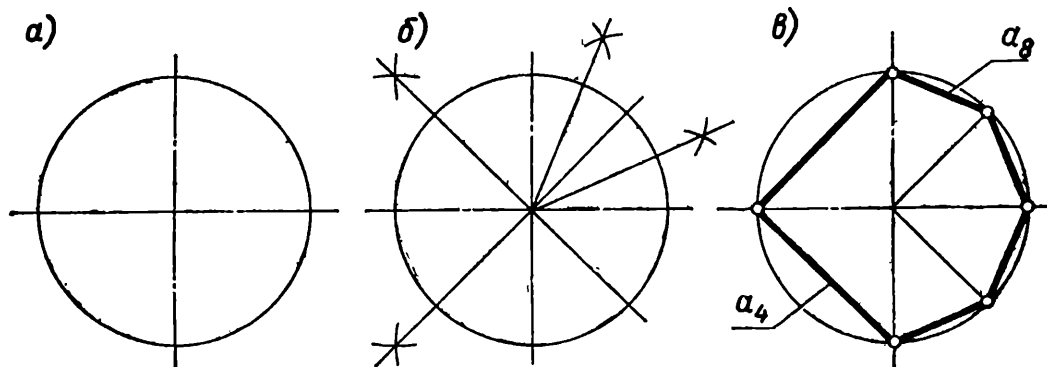


Рис. 85

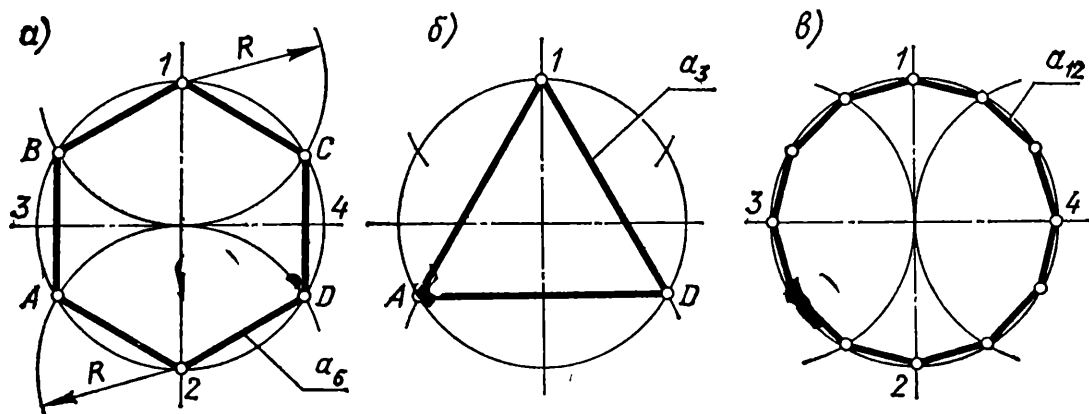


Рис. 86

вают еще две дуги окружности радиуса R из точек 3 и 4 (рис. 86, в). Построить правильные вписанные треугольник, шестиугольник и т. д. можно также с помощью линейки и угольника с углами 30 и 60° . На рис. 87 показано подобное построение вписанного треугольника.

Вписанный шестиугольник учащемуся предлагается построить самостоятельно.

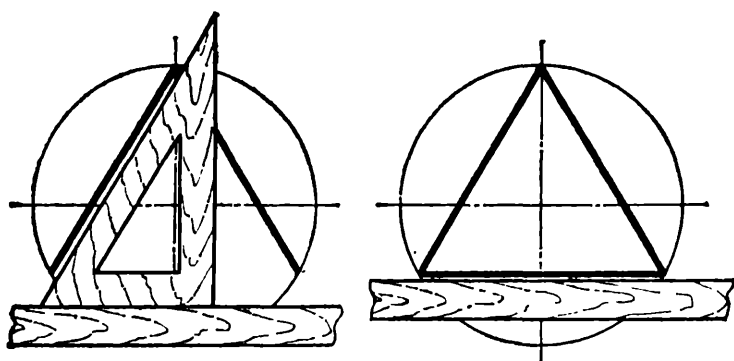


Рис. 87

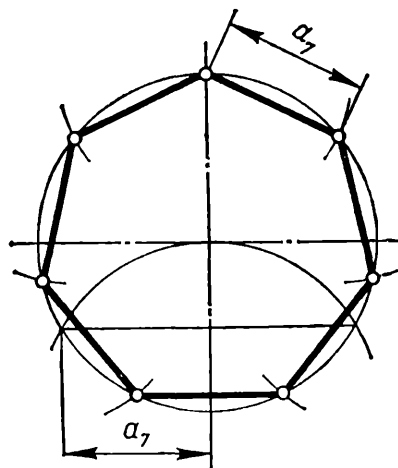


Рис. 88

Деление окружности на семь равных частей и построение правильного вписанного семиугольника (рис. 88) выполняют с помощью половины стороны вписанного треугольника, приблизительно равной стороне вписанного семиугольника.

Для деления окружности на пять или десять равных частей проводят два взаимно перпендикулярных диаметра (рис. 89, а). Радиус OA делят пополам и, получив точку B , описывают из нее дугу окружности радиуса $R=BC$ до пересечения ее в точке D с горизонтальным диаметром. Расстояние между точками C и D равно длине стороны правильного вписанного пятиугольника (a_5), а отрезок OD равен длине стороны правильного вписанного десятиугольника (a_{10}). Для более точного деления окружности на десять равных частей ее предварительно делят на пять равных частей (рис. 89, б). Затем через полученные точки 1, 2, ..., 5 и точку O проводят прямые, на пересечении которых с окружностью получают еще пять точек. Деление окружности на пять и десять рав-

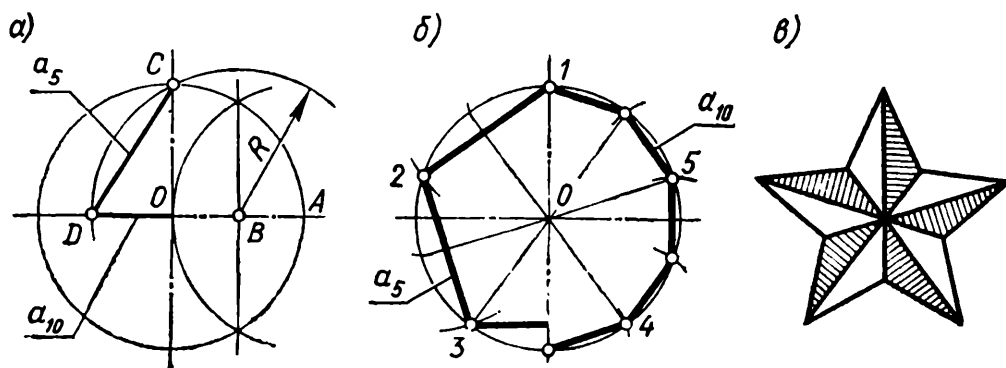


Рис. 89

ных частей используют при построении правильных пяти- и десятиугольников и звезд (рис. 89, в).

В тех случаях, когда нельзя точно разделить окружность на какое-либо число равных частей, используют способ приближенного деления (рис. 90). В окружности проводят два взаимно перпендикулярных диаметра и вертикальный диаметр AB делят на равное число частей, например девять, с помощью вспомогательной прямой (рис. 90, а). Из точки B описывают дугу окружности радиуса $R=AB$ и на пересечении ее с продолжением горизонтального диаметра получают точки C и D . Из точек C и D через четные или нечетные точки деления диаметра AB проводят лучи.

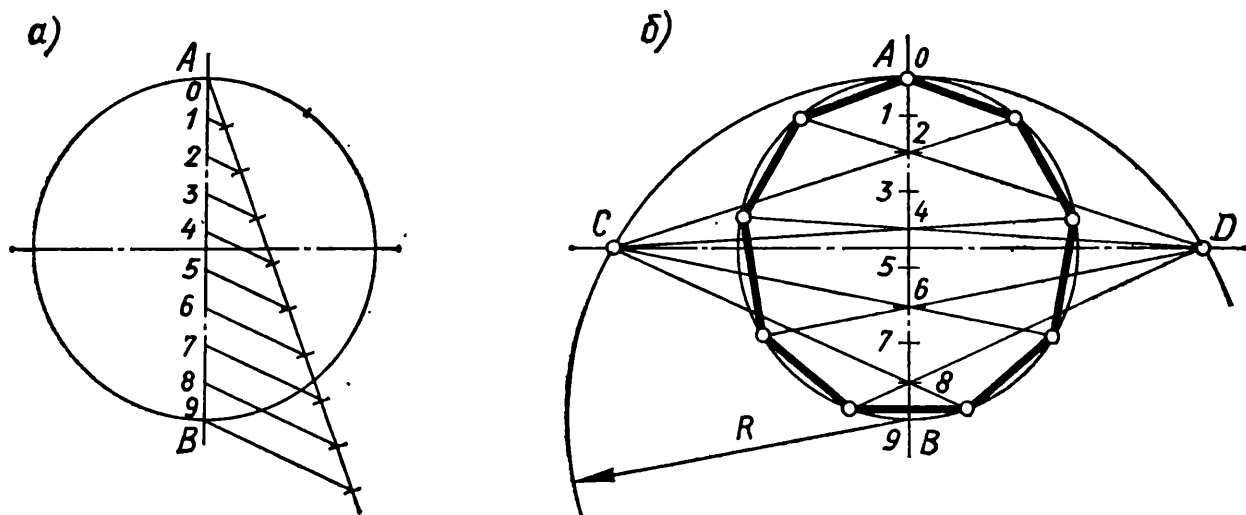


Рис. 90

Точки пересечения лучей с окружностью разделят ее на девять равных частей (рис. 90, б). При построении необходимо учитывать, что способ приближенного деления окружности на равные части требует большой точности выполнения всех операций.

Для закрепления приемов деления окружности на равные части самостоятельно разделите окружность на восемь и одиннадцать частей.

Построение правильных многоугольников по данной стороне.
Построение квадрата по данной его стороне L (рис. 91). На произвольной прямой откладывают отрезок AB , равный стороне квадрата L . Из любого конца отрезка, например из точки A , восстанавливают перпендикуляр и на нем откладывают отрезок $AD=L$. Затем из точек B и D как из центров проводят дуги окружности радиуса $R=L$ и на пересечении их отмечают точку C . Соединив прямыми точку C с точками B и D , получают квадрат с заданной стороной L .

Построение квадрата по его стороне с помощью угольника и линейки или двух угольников учащимся предлагается выполнить самостоятельно.

Построение правильного шестиугольника по данной его стороне L (рис. 92). Известно, что сторона правильного шестиугольника равна радиусу окружности, описанной вокруг него. Поэтому, построив на произвольной прямой отрезок $AB=L$ (рис. 92, а), из

концов его как из центров проводят две дуги окружности радиуса $R=L$ до взаимного пересечения их в точке O . Приняв точку O за центр, проводят окружность того же радиуса $R=L$ и делят ее на шесть равных частей. Точки деления являются вершинами правильного шестиугольника со стороной L (рис. 92, б). Построение правильного шестиугольника с помощью линейки и угольника с углами 60 и 30° показано на рис. 93.

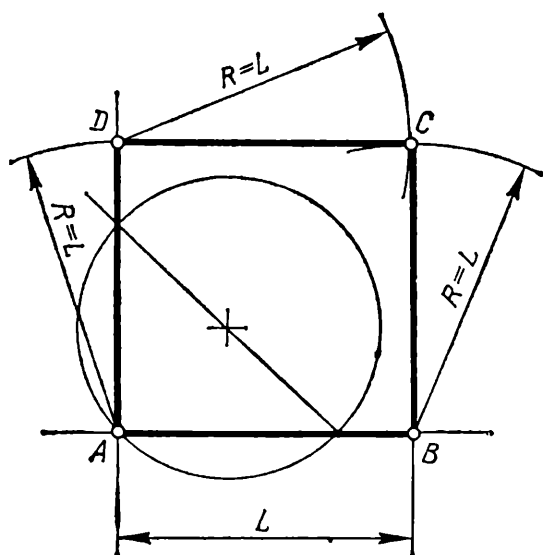


Рис. 91

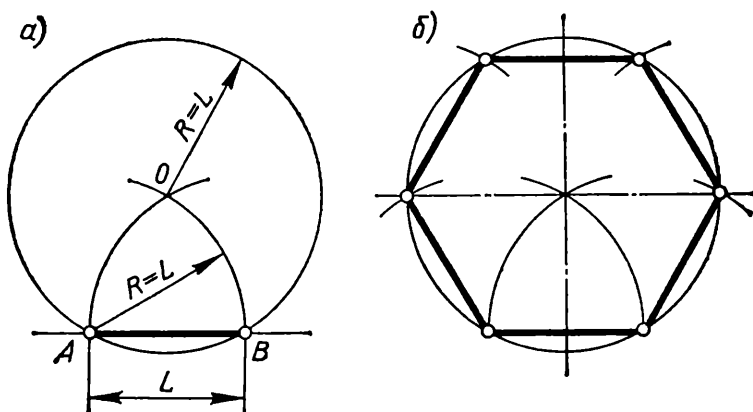


Рис. 92

Построение правильных многоугольников, описанных около окружности. Правильный описанный треугольник строят следующим образом (рис. 94). Из центра заданной окружности радиуса R_1 проводят окружность радиуса $R_2=2R_1$ и делят ее на три равные части. Точки деления A, B, C являются вершинами правильного треугольника, описанного около окружности радиуса R_1 .

Правильный описанный четырехугольник (квадрат) можно построить с помощью циркуля и линейки (рис. 95). В заданной ок-

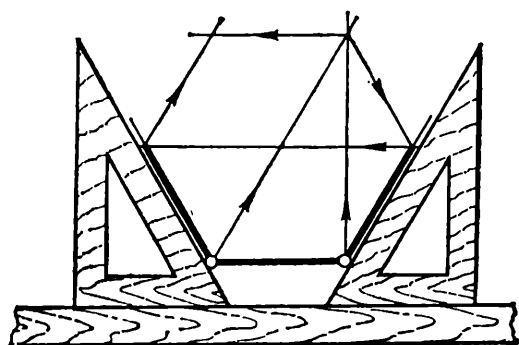


Рис. 93

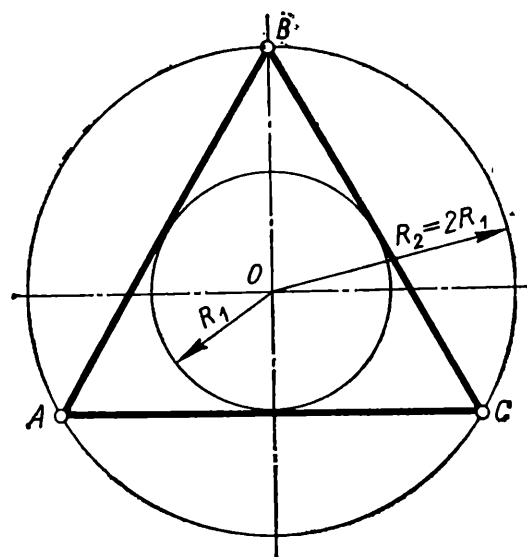


Рис. 94

ружности проводят два взаимно перпендикулярных диаметра. Приняв точки пересечения диаметров с окружностью за центры, описывают дуги окружности радиуса R до взаимного их пересечения в точках A, B, C, D . Точки A, B, C, D и являются вершинами квадрата, описанного около данной окружности.

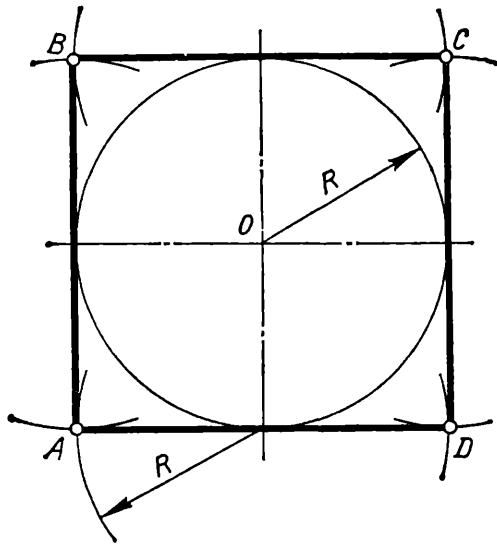


Рис. 95

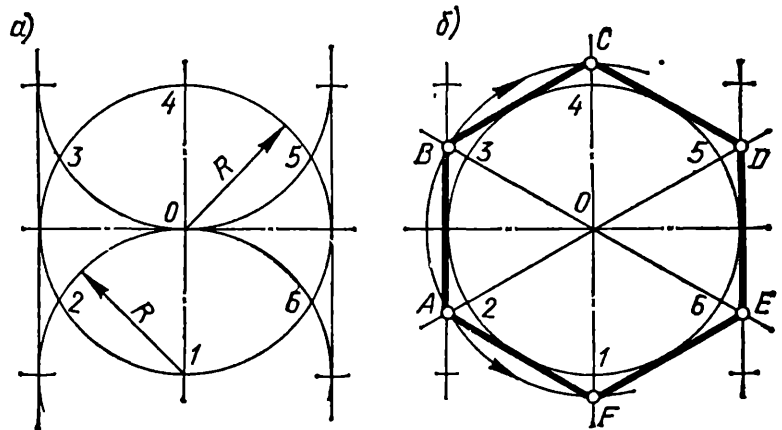


Рис. 96

Для построения правильного описанного шестиугольника вначале строят вершины описанного квадрата указанным выше способом (рис. 96, а). Одновременно с определением вершин квадрата заданную окружность радиуса R делят на шесть равных частей в точках 1, 2, 3, 4, 5, 6 и проводят вертикальные стороны квадрата. Проведя через точки деления окружности 2—5 и 3—6 прямые до пересечения их с вертикальными сторонами квадрата (рис. 96, б), получают вершины A, B, D, E описанного правильного шестиугольника. Остальные вершины C и F определяют с помощью дуги окружности радиуса OA , которую проводят до пересечения с продолжением вертикального диаметра заданной окружности.

Правильные треугольники, четырех- и шестиугольники, описанные около окружности, можно также построить с помощью линейки и угольника с углами 60 и 30° .

Такие построения предлагается проделать самим учащимся.

§ 15. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ОКРУЖНОСТИ ИЛИ ДУГИ ОКРУЖНОСТИ И ИХ СПРЯМЛЕНИЕ

Определение центра окружности или дуги окружности (рис. 97). Дугу окружности пересекают двумя хордами AB и CD и через их середины проводят перпендикуляры к ним. Точка O пересечения перпендикуляров является искомым центром. Чем длиннее хорды, тем точнее определяется центр дуги окружности, поэтому для небольших дуг хорды должны пересекаться друг с другом.

Спрявление окружности и дуги. На рис. 98 показано спрявление окружности радиуса R . В окружности строят горизонтальный

и вертикальный диаметры и через нижнюю точку вертикального диаметра проводят касательную к окружности. Через центр окружности O под углом 30° к вертикальному диаметру проводят прямую до пересечения ее в точке M с касательной к окружности.

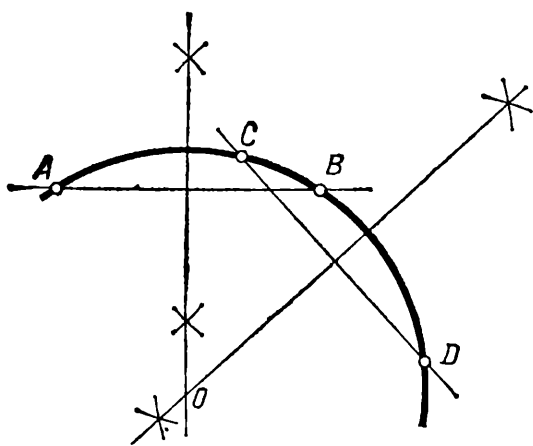


Рис. 97

По касательной вправо от точки M откладывают три отрезка, равных радиусу R окружности, и получают точку N . Из точки N как из центра описывают дугу окружности радиуса, равного отрезку NK (K — верхняя точка вертикального диаметра), до пересечения ее с касательной в точках A и B . Отрезок AB с достаточно высокой точностью равен длине окружности.

При спрямлении дуги AB окружности радиуса R (рис. 99) через середину хорды AB проводят перпендикуляр

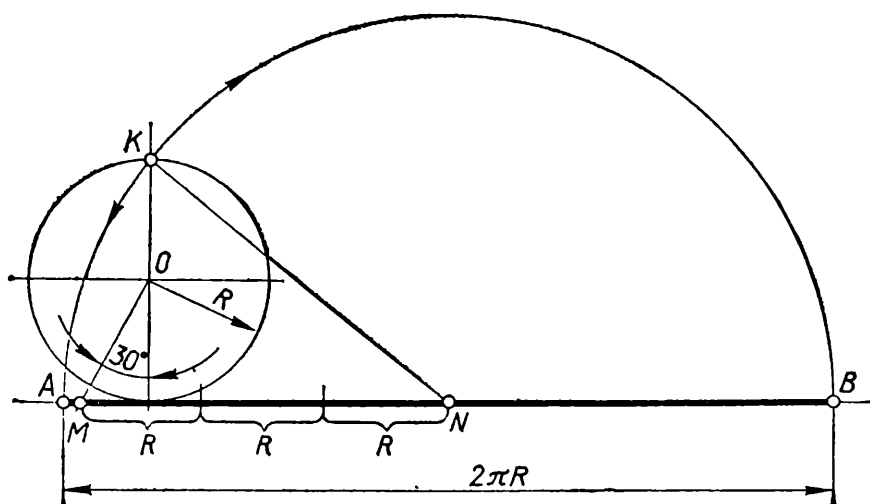


Рис. 98

до пересечения его с дугой в точке M . Вправо от центра дуги окружности — точки O — по перпендикуляру откладывают два отрезка, равных радиусу R дуги, и получают точку N . Проводя через точку N прямые AN и BN до пересечения их с касательной к дуге в точке M , получают отрезок KL . Этот отрезок с достаточным приближением равен длине дуги AB .

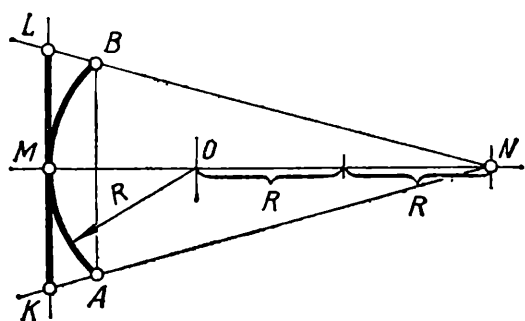


Рис. 99

Контрольные вопросы и упражнения. 1. Постройте треугольник ABC по координатам его вершин: $A (x=30; y=20)$; $B (x=20; y=20)$; $C (x=0, y=10)$. **2.** В окружность диаметра 80 мм впишите правильную шестиконечную звезду. **3.** Как разделить окружность на произвольное число равных частей? **4.** Спрямите окружность диаметра 30 мм.

Глава 5 СОПРЯЖЕНИЯ

§ 16. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Очертания многих предметов представляют собой сочетание ряда линий, в большинстве своем плавно переходящих одна в другую. Примером плавных переходов могут служить контуры различных видов художественных изделий (рис. 100), посуды, рисунки орнаментов и т. п.

Плавный переход одной линии в другую называют касанием линий, а точку, в которой происходит касание, — точкой касания или перехода (рис. 101). Например, две дуги окружности радиусов R_1 и R_2 , касающиеся между собой (рис. 101, а), имеют общую точку касания A , лежащую на линии, соединяющей центры этих дуг — точки O_1 и O_2 . На рис. 101, б изображена прямая, касающаяся дуги окружности радиуса R и имеющая с ней



Рис. 100

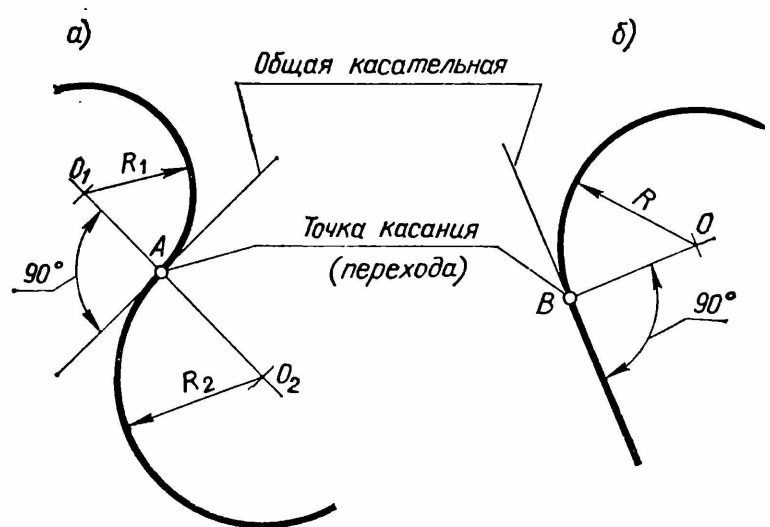


Рис. 101

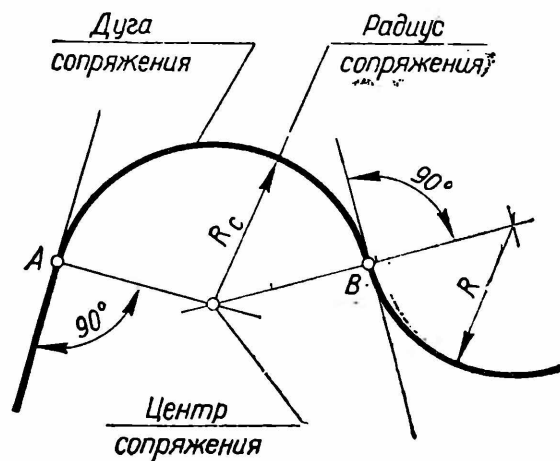


Рис. 102

общую точку касания B , расположенную на перпендикуляре, опущенном из центра дуги — точки O на прямую. Через любую точку касания можно провести общую касательную, которая перпендикулярна радиусам дуг окружностей, проведенных через точку касания.

Плавный переход одной линии в другую с помощью промежуточной линии называют сопряжением. На рис. 102 такой промежуточной линией является дуга AB окружности радиуса R_c , с помощью которой осуществлен плавный переход (сопряжение) от прямой к дуге окружности радиуса R .

Чаще всего промежуточной линией является дуга окружности, называемая дугой сопряжения или сопрягающей дугой. Радиус сопрягающей дуги носит название радиуса сопряжения, а центр дуги — центра сопряжения. Дуга сопряжения касается одновременно двух сопрягаемых линий. При сопряжении всегда имеются две точки перехода (на рис. 102 точки A и B), через каждую из них можно провести по одной общей касательной. Таким образом, построение сопряжений основано на свойствах касательной к дуге окружности и касания двух дуг окружностей.

§ 17. ПОСТРОЕНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ И КАСАНИЕ ОКРУЖНОСТЕЙ

Построение касательной к окружности. *Построение касательной к окружности в заданной на ней точке A* (рис. 103). Построение основано на том, что касательная к окружности перпендикулярна радиусу окружности, проведенному через точку касания. Через точку A и центр окружности O проводят прямую, и в точке A восставляют перпендикуляр к радиусу OA . Проведенный перпендикуляр MN является искомой касательной.

Построение касательной к окружности, проходящей через точку A , заданную вне окружности (рис. 104). Центр окружности O

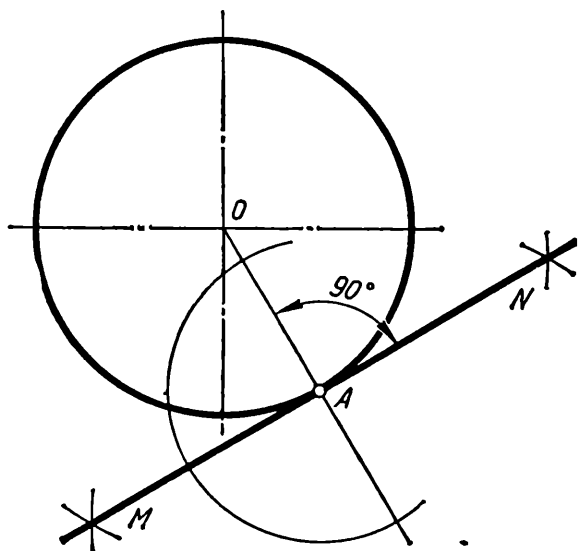


Рис. 103

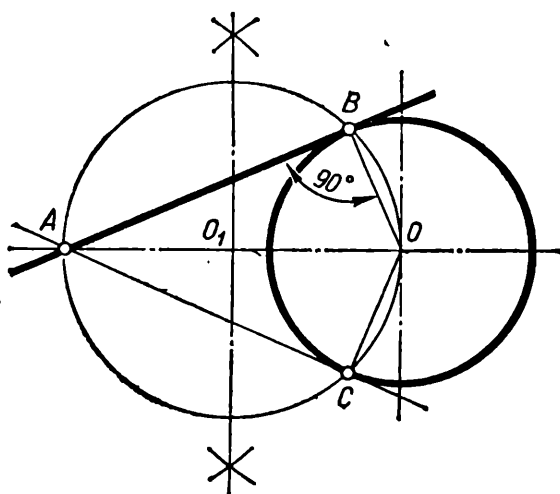


Рис. 104

и точку A соединяют прямой. Отрезок OA принимают за диаметр вспомогательной окружности и, разделив его пополам, получают точку O_1 . Из нее как из центра описывают вспомогательную окружность радиуса O_1A . Вспомогательная окружность пересекает заданную в точках B и C . Прямая, проведенная через точки A и B , является касательной к окружности, так как угол ABO прямой как вписанный в окружность и опирающийся на диаметр. Прямая AC является второй касательной к заданной окружности.

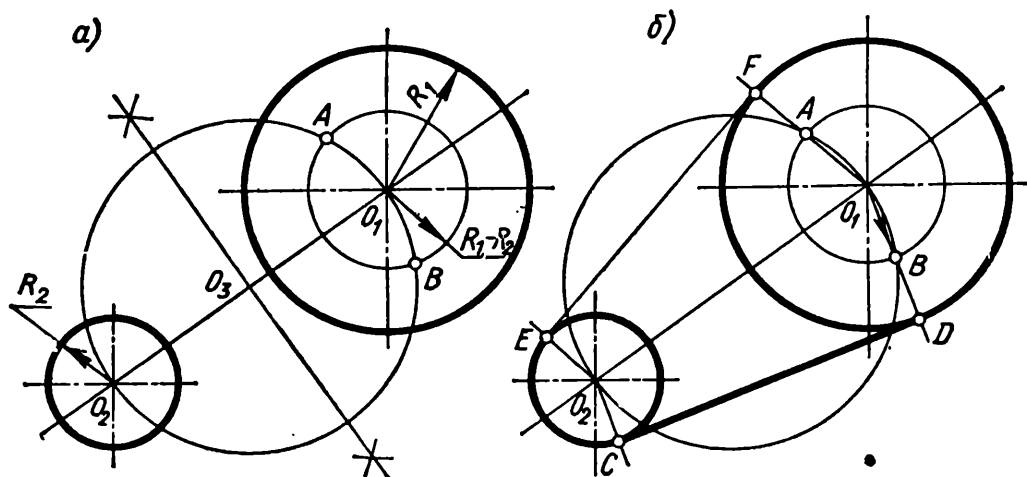


Рис. 105

Построение касательных к двум окружностям. Касательная к двум окружностям может быть внешней, если обе окружности расположены с одной стороны от нее, и внутренней, если окружности расположены с разных сторон касательной.

Построение внешней касательной к двум окружностям-радиусов R_1 и R_2 (рис. 105). Из центра окружности большего радиуса — точки O_1 — описывают окружность радиуса $R_1 - R_2$ (рис. 105, а). Находят середину отрезка O_2O_1 — точку O_3 и из нее проводят вспомогательную окружность радиуса O_3O_2 или O_3O_1 . Обе проведенные окружности пересекаются в точках A и B . Точки O_1 и B соединяют прямой и в пересечении ее с окружностью радиуса R_1 определяют точку касания D (рис. 105, б). Из точки O_2 параллельно прямой O_1D проводят линию до пересечения с окружностью радиуса R_2 и получают вторую точку касания C . Прямая CD является искомой касательной. Так же строится вторая внешняя касательная к этим окружностям (прямая EF).

Построение внутренней касательной к двум окружностям радиусов R_1 и R_2 (рис. 106). Из центра любой окружности, например точки O_1 , описывают окружность радиуса $R_1 + R_2$ (рис. 106, а). Разделив отрезок O_2O_1 пополам, получают точку O_3 . Из точки O_3 как из центра описывают вторую вспомогательную окружность радиуса $O_3O_2 = O_3O_1$ и отмечают точки A и B пересечения вспомогательных окружностей. Соединив прямой точки A и O_1 (рис. 106, б), в пересечении ее с окружностью радиуса R_1 получают точку касания D . Через центр окружности радиуса R_2 проводят

прямую, параллельную прямой O_1D , и в пересечении ее с заданной окружностью определяют вторую точку касания C . Прямая CD внутренняя касательная к заданным окружностям. Аналогично строится и вторая касательная EF .

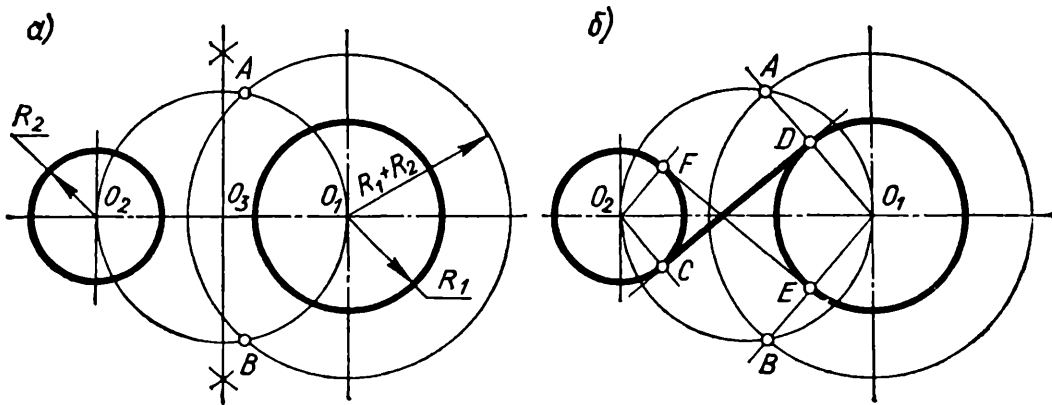


Рис. 106

Касание окружностей. Различают два вида касания окружностей — внешнее и внутреннее. При внешнем касании окружностей радиусов R_1 и R_2 (рис. 107, а) центры окружностей O_1 и O_2 располагаются по разные стороны от общей касательной MN , проведенной через точку касания A , а расстояние между ними равно сумме радиусов R_1+R_2 . Точка касания A лежит на прямой, соединяющей центры касающихся окружностей. Внутреннее касание окружностей (рис. 107, б) характеризуется тем, что центры касающихся окружностей O_1 и O_2 располагаются по одну сторону от общей касательной MN , проведенной через точку касания A , а расстояние между центрами касающихся окружностей равно разности радиусов R_1-R_2 . Точка касания A окружностей в этом случае расположена на продолжении прямой, соединяющей их центры.

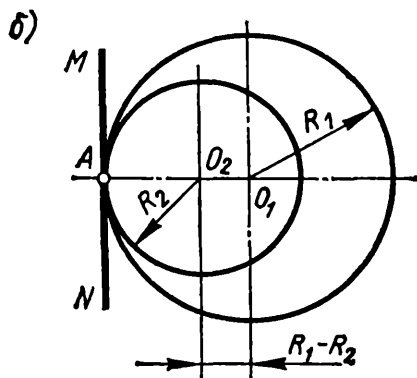
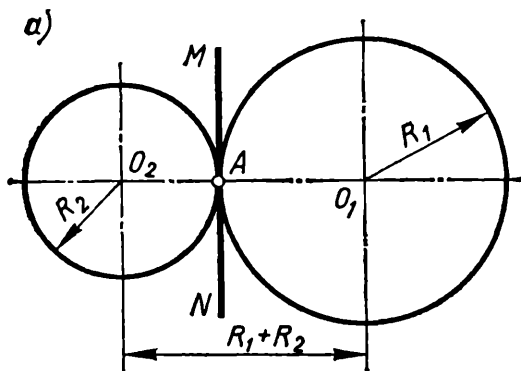


Рис. 107

Точка касания A окружностей в этом случае расположена на продолжении прямой, соединяющей их центры.

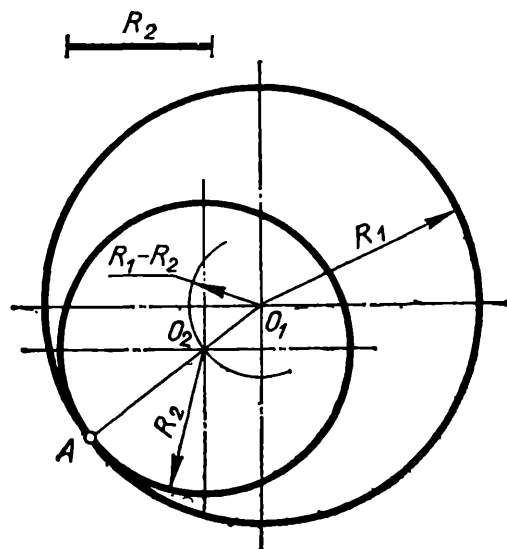


Рис. 108

Построение окружности радиуса R_2 , касающейся окружности радиуса R_1 в расположенной на ней точке A . На рис. 108 показано построение внутреннего касания окружностей. Точку A и центр O_1 заданной окружности соединяют прямой. Из центра O_1 проводят дугу окружности радиуса $R_1 - R_2$ до пересечения ее с прямой O_1A в точке O_2 . Точка O_2 является искомым центром окружности радиуса R_2 .

Учащимся предлагается самостоятельно построить внешнее касание окружностей при тех же исходных данных.

§ 18. СОПРЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДУГИ ОКРУЖНОСТИ

Сопряжение двух прямых дугой окружности. Все задачи на сопряжение могут быть сведены к двум видам: сопряжение двух прямых дугой окружности заданного радиуса и сопряжение двух прямых дугой окружности с условием, что на одной из них задана точка касания. В том и другом случае необходимо построить центр сопрягающей дуги.

Сопряжение двух пересекающихся прямых дугой окружности заданного радиуса R_c (рис. 109). Сопрягающая дуга должна касаться заданных прямых, поэтому ее центр должен быть удален от каждой прямой на величину, равную радиусу R_c . Проводят две прямые, параллельные заданным и удаленные от них на величину радиуса R_c , и в пересечении этих прямых отмечают точку O — центр сопрягающей дуги. Из точки O опускают перпендикуляры на каждую из заданных прямых. Основания перпендикуляров — точки A и B — являются точками касания сопрягающей дуги. Такое построение сопряжения справедливо для двух пересекающихся прямых, составляющих любой угол. Для сопряжения сторон прямого угла можно воспользоваться также способом, указанным на рис. 110.

Сопряжение двух пересекающихся прямых дугой окружности, проходящей через заданную точку касания A (рис. 111). Известно, что центры дуг, сопрягающих две пересекающиеся прямые, принадлежат биссектрисе угла, образованного этими прямыми. Поэтому, построив биссектрису угла, из точки касания A восстав-

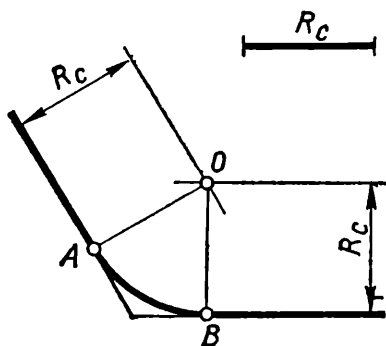


Рис. 109

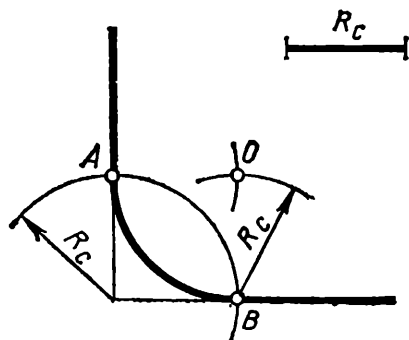


Рис. 110

ляют перпендикуляр к данной прямой и на пересечении его с биссектрисой отмечают точку O — центр сопрягающей дуги. Опустив из точки O перпендикуляр на другую прямую, получают вторую точку касания B и дугой окружности радиуса $R_c = OA = OB$ осуществляют сопряжение двух прямых, на одной из которых была задана точка касания.

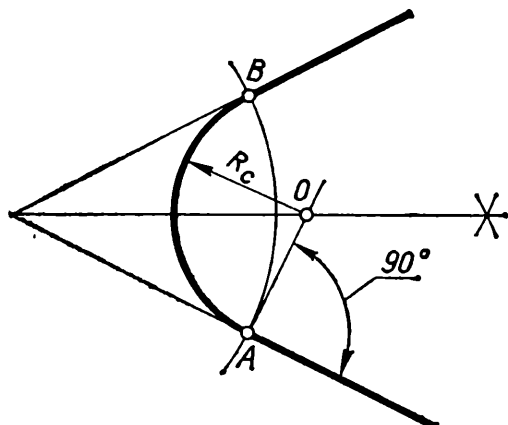


Рис. 111

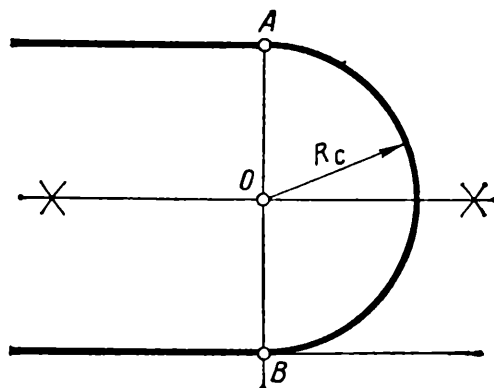


Рис. 112

Сопряжение двух параллельных прямых дугой окружности, проходящей через заданную точку касания A (рис. 112). Из точки A восставляют перпендикуляр к заданным прямым и на пересечении его со второй прямой отмечают точку B . Отрезок AB делят пополам и получают точку O — центр сопрягающей дуги окружности радиуса $R_c = AB/2$.

Сопряжение дуги и прямой дугой окружности заданного радиуса. Могут встретиться два случая такого сопряжения: внешнее касание сопрягающей дуги с заданной и внутреннее касание. В обоих случаях задача сводится к определению центра сопрягающей дуги и точек касания.

При внешнем касании (рис. 113) из центра заданной дуги — точки O_1 — проводят вспомогательную дугу окружности радиуса $R + R_c$. На расстоянии, равном радиусу R_c сопрягающей ду-

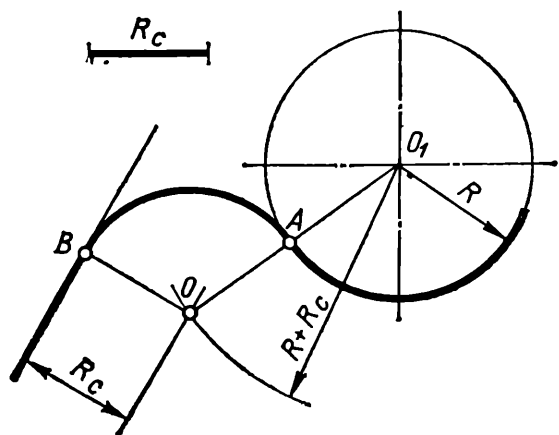


Рис. 113

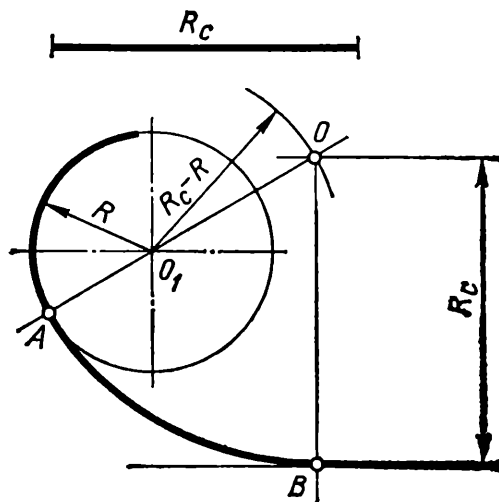


Рис. 114

ги, параллельно заданной прямой проводят прямую. Точка O пересечения вспомогательных дуги и прямой есть центр сопрягающей дуги. На пересечении прямой, соединяющей точки O и O_1 с заданной дугой, отмечают точку касания A . Вторую точку касания B определяют как точку пересечения заданной прямой с перпендикуляром, опущенным на нее из точки O .

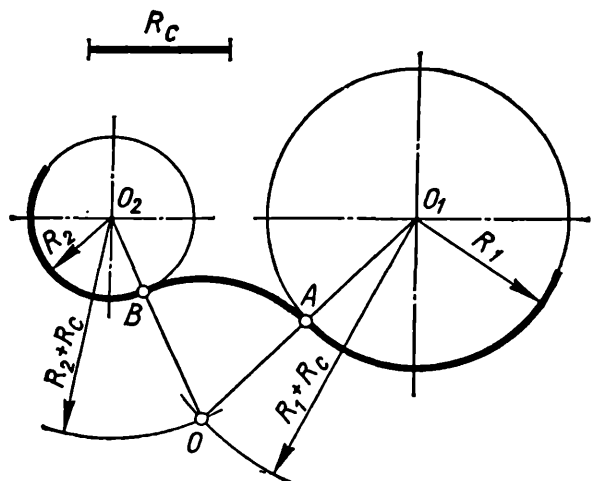


Рис. 115

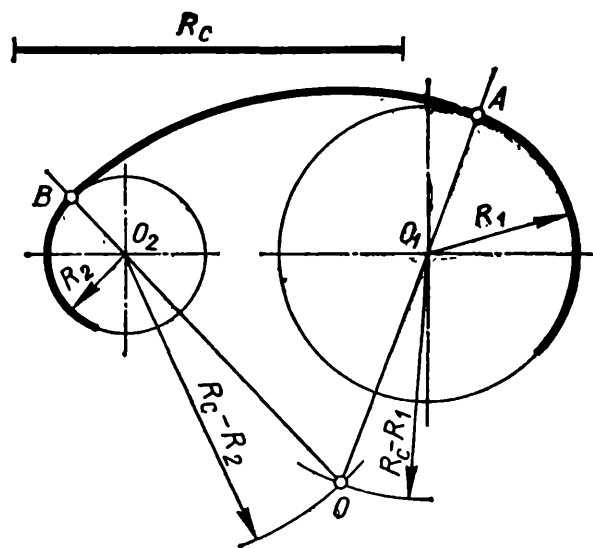


Рис. 116

При внутреннем касании (рис. 114) определение центра сопрягающей дуги и точек касания аналогичны предыдущему случаю с той лишь разницей, что радиус вспомогательной дуги окружности равен $R_c - R$.

Сопряжение двух дуг дугой окружности заданного радиуса. В зависимости от вида касания сопрягающей дуги с двумя заданными сопряжение может быть внешним, внутренним и смешанным.

При внешнем сопряжении (рис. 115) центр сопрягающей дуги — точка O — располагается в точке пересечения вспомогательных дуг окружностей радиусов $R_2 + R_c$ и $R_1 + R_c$, проведенных соответственно из центров сопрягаемых дуг — точек O_2 и O_1 . Точки касания A и B определяются как точки пересечения заданных дуг с прямыми OO_1 и OO_2 .

Внутреннее сопряжение дуг окружностей радиусов R_2 и R_1 дугой окружности радиуса R_c показано на рис. 116. Для определения центра сопрягающей дуги — точки O — проводят вспомогательные дуги окружностей радиусов $R_c - R_2$

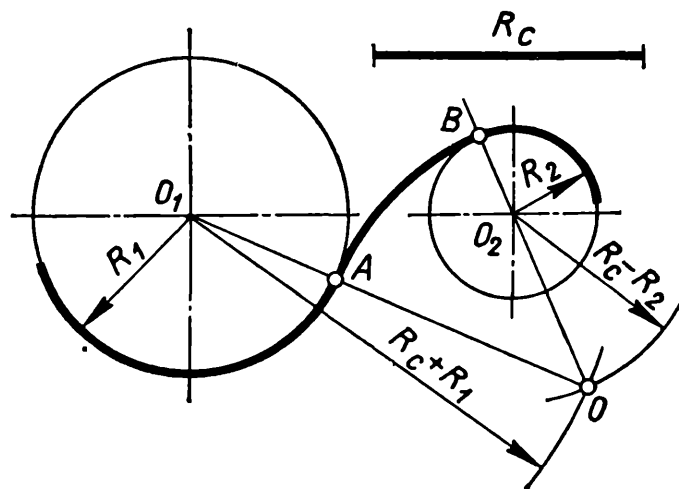


Рис. 117

и $R_c - R_1$ соответственно из центров заданных дуг — точек O_2 и O_1 . Точка O пересечения этих дуг и явится центром сопрягающей дуги. Из точки O через точки O_1 и O_2 проводят прямые до пересечения с заданными дугами и получают соответственно две точки касания — A и B .

При смешанном сопряжении центр сопрягающей дуги — точка O — определяется как точка пересечения двух вспомогательных дуг окружностей радиусов $R_c + R_1$ и $R_c - R_2$ (рис. 117) или $R_c - R_1$ и $R_c + R_2$, проведенных соответственно из центров заданных дуг окружностей — точек O_1 и O_2 . Для определения точек касания сопрягающей дуги с заданными проводят две прямые: одну — через точки O и O_1 , другую — через точки O и O_2 . Точки пересечения каждой из них с заданными дугами дают искомые точки касания A и B .

§ 19. ВЫЧЕРЧИВАНИЕ КОНТУРОВ ДЕТАЛЕЙ

Последовательность вычерчивания контуров деталей в основном зависит от их формы. Поэтому можно дать только некоторые общие рекомендации по вычерчиванию контуров деталей.

Перед вычерчиванием любого контура следует внимательно проанализировать его форму, т. е. разобрать из каких линий и их сочетаний он состоит. Далее необходимо решить, какие геометрические построения и в какой последовательности следует их выполнить при вычерчивании контура.

Вычерчивание контуров деталей рекомендуется начинать с проведения осей симметрий, линий, ограничивающих контур, и центровых линий. Затем следует строить прямолинейные очертания, не связанные с сопряжением, и проводить дуги, у которых заданы их размеры и положение центров. В последнюю очередь находят положение центров сопрягающих дуг и проводят эти дуги. Заканчивают чертеж проведением выносных и размерных линий, нанесением размеров и обводкой линий чертежа.

Рассмотрим вычерчивание контура детали на примере скобы (рис. 118, а). Очертания скобы составляют один наружный и два внутренних замкнутых контура. Дуги внешнего и внутреннего овалов имеют общие центры, поэтому их следует вычерчивать одновременно. Боковые наклонные линии контура можно вычертить только после проведения дуг овалов. Контур нижнего паза вычерчивается независимо от остальных линий, поэтому его можно чертить как вначале, так и в конце. Проведенный анализ позволяет рекомендовать последовательность вычерчивания контура скобы, которая показана на рис. 118, б, в, г, д, е.

Контрольные вопросы и упражнения. 1. Что понимают под сопряжением? 2. Как может быть расположена по отношению к двум окружностям их общая касательная? 3. На каком расстоянии находятся центры двух окружностей при внешнем и внутреннем касании?

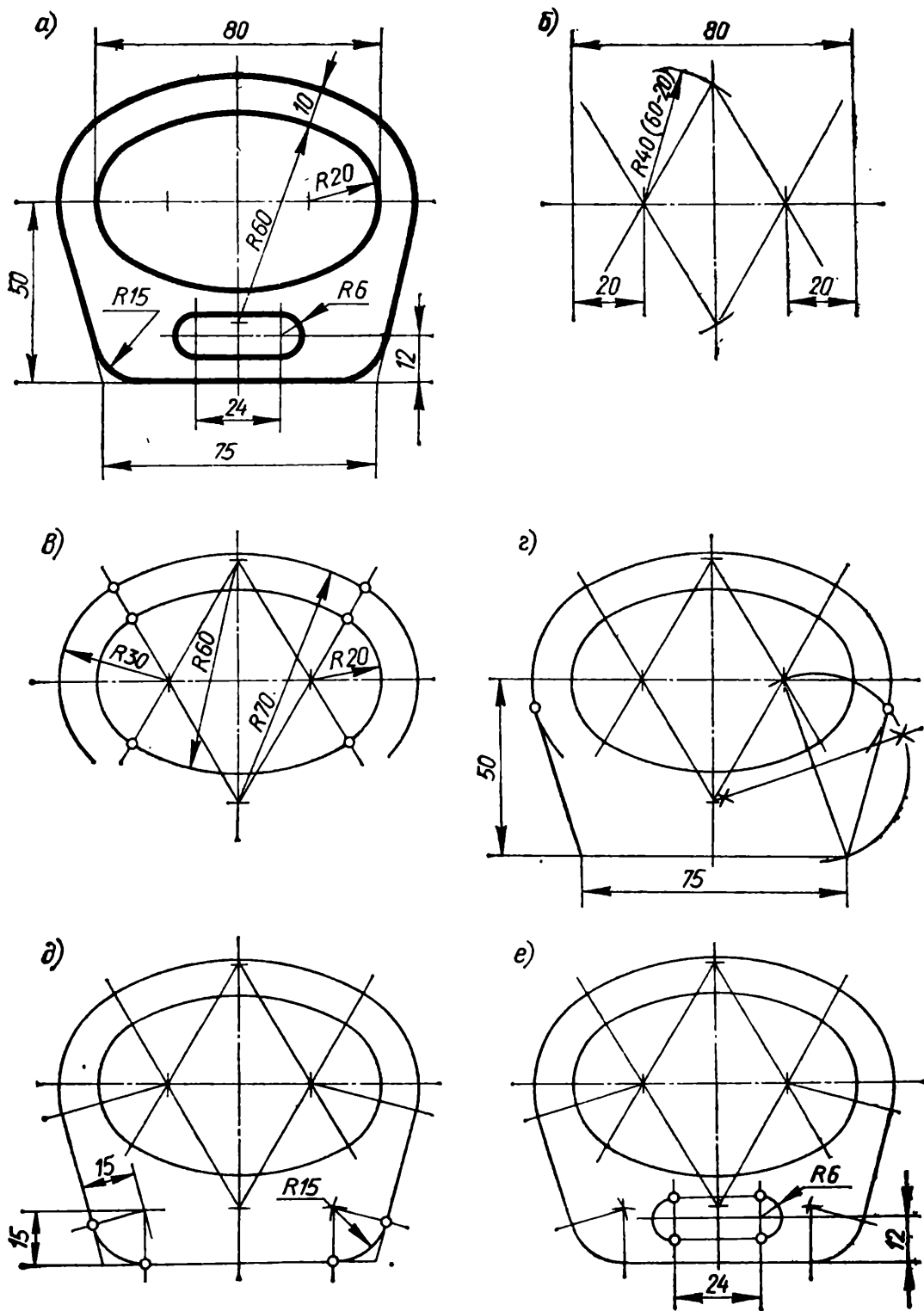


Рис. 118

§ 20. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ОРНАМЕНТ

Орнаментом называют узор, украшающий здания, одежду, предметы быта и т. п. В нашей жизни орнаменты встречаются повсюду. На улице орнамент можно увидеть на зданиях, оградах, клумбах и т. д. Дома орнамент встретится на страницах книги, посуде, скатерти и других предметах. Рисунок орнамента бесконечно разнообразен и зависит не только от вкуса художника, но и от назначения и формы украшаемого предмета, а также материала, на котором он выполнен. Орнамент не только украшает пред-

мет, но и помогает создавать определенные зрительные впечатления о нем. С помощью орнамента можно выделить какую-либо часть предмета или, наоборот, сгладить ее. В зависимости от выбора красок орнамент может быть радостным или мрачным. Сочетание линий орнамента может производить впечатление легкости или тяжести, спокойствия или динамичности.

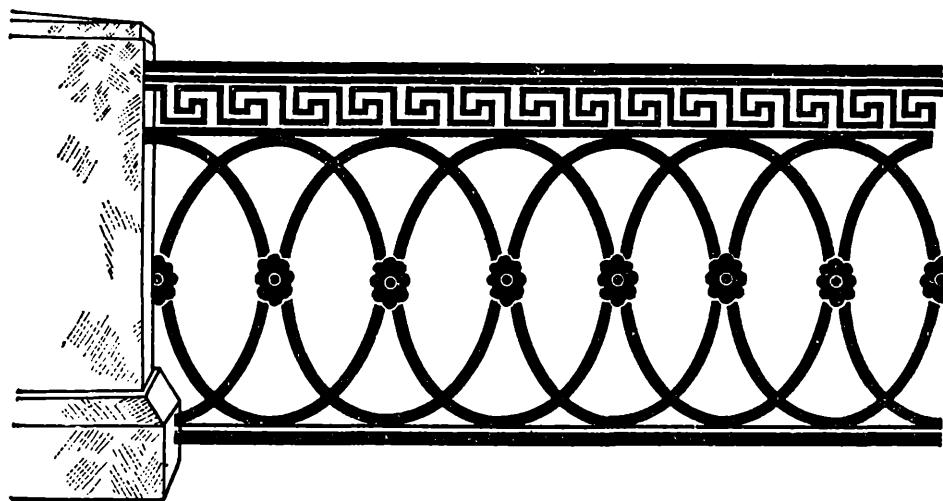


Рис. 119

В данном параграфе рассматривается вопрос только о разметке геометрического орнамента как одного из наиболее простых. Его элементами служат отрезки прямых и дуги окружностей. В качестве элементов геометрического орнамента применяют также простые геометрические фигуры: окружности, квадраты, ромбы, многоугольники и т. п. Построение геометрического орнамента целиком основано на геометрических построениях. При наличии в рисунках орнамента дуг, плавно переходящих одна в другую, необходимо также знание правил сопряжения.

Виды орнамента. Геометрический орнамент, как и любой другой, подразделяют на следующие виды: ленточный, сетчатый и розеты.

Ленточный орнамент в большинстве случаев применяют для украшения края предмета. Например, узор по краю тарелки, кайма на скатерти, заставка в книге. Рисунки оград (рис. 119), решеток (рис. 120), ограждений балконов, лестничных перил также представляют собой ленточный орнамент. Ленточный орнамент состоит из одинаковых элементов, повторяющихся в определенном порядке вдоль прямой (рис. 121) или кривой (рис. 122).

Ленточный орнамент может быть выполнен в виде меандра (рис. 123). Меандр представляет собой правильное сочетание прямолинейных полосок одинаковой ширины, изгибающихся под прямыми или острыми углами. Ширина полосок равна ширине промежутков между ними, поэтому подобный орнамент чертят по сетке из квадратов.

Сетчатый орнамент обычно занимает всю поверхность предмета, на которую он нанесен. Подобные орнаменты широко применя-

ются в рисунках тканей, обоев, клеенок, паркетов, ковров. Сетчатый орнамент состоит из повторяющихся элементов. Основой сетчатого орнамента является сетка из одинаковых фигур, например квадратов (рис. 124), прямоугольников, ромбов и т. п.

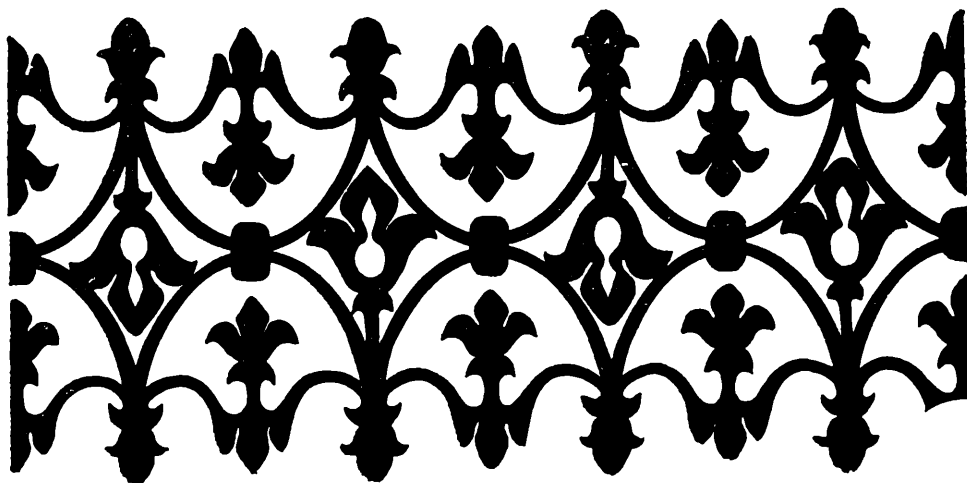


Рис. 120

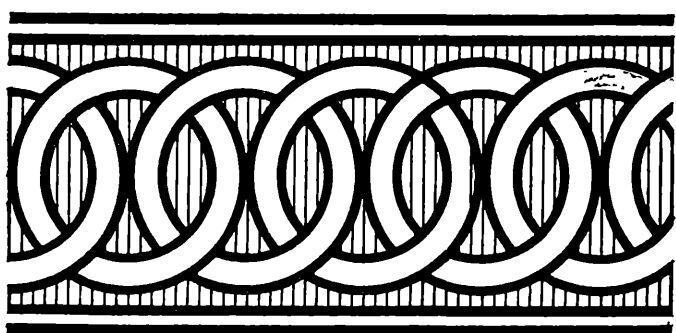


Рис. 121

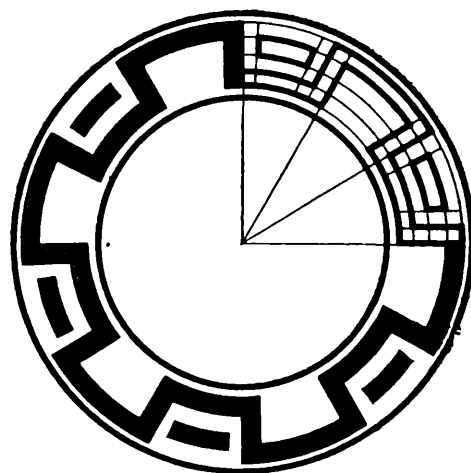


Рис. 122

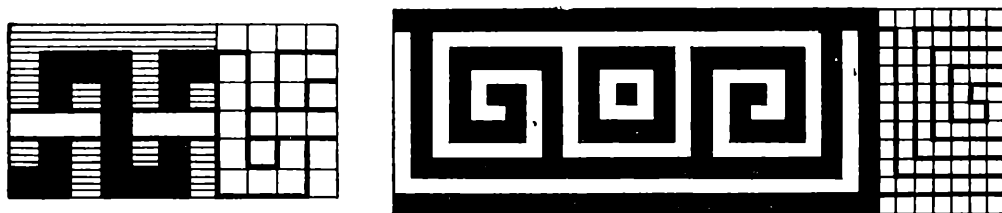


Рис. 123

Розеты — орнаменты, вписанные в окружность или в правильный многоугольник (рис. 125). Их построение основано на делении окружности на равные части. Примером розета могут служить плафоны, декоративные тарелки, решетки для ограждения лунок деревьев (рис. 126) и т. п.

Оптические иллюзии. При выполнении орнаментов художнику полезно знать о так называемых оптических иллюзиях. Некоторые

сочетания линий приводят к зрительному искажению размеров. Определенным сочетанием линий можно создать видимость изгибов у прямых линий, выполнить фигуры так, что они будут казаться более длинными или короткими, чем в действительности, и т. п. Благодаря этим возможностям оптические иллюзии имеют большое значение в области изобразительных искусств. Умелое использование их значительно расширяет возможности художника.

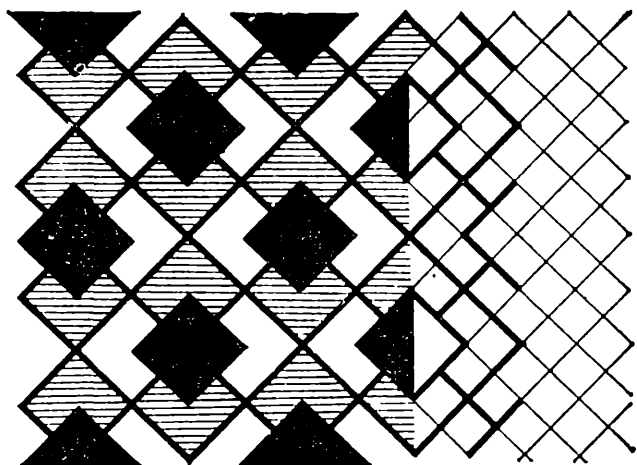


Рис. 124

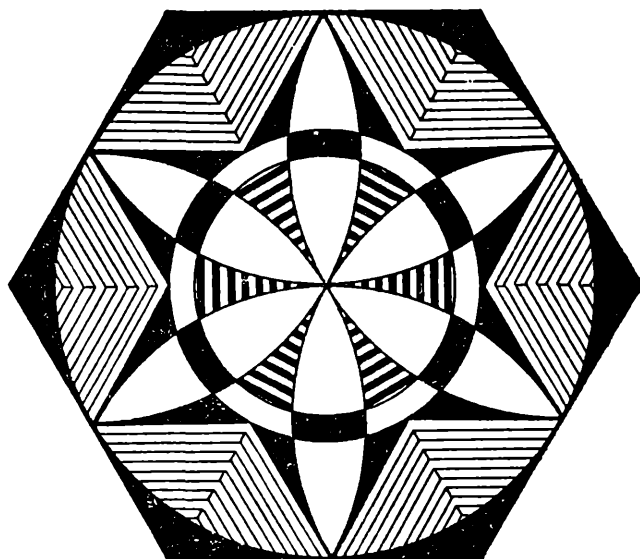


Рис. 125

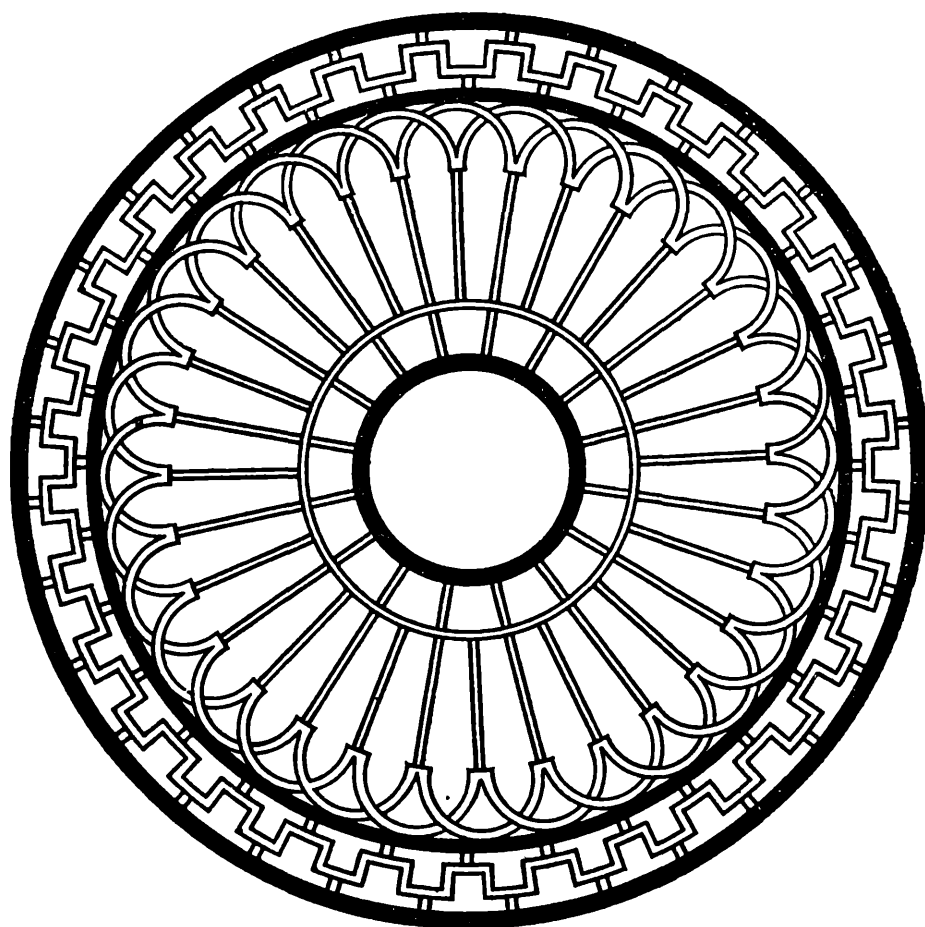


Рис. 126

На рис. 127 показаны некоторые случаи «обмана зрения», встречающиеся в черчении: два вертикальных отрезка (а) имеют одинаковую длину, однако левый кажется более длинным; окружности, изображенные сплошными линиями (б), имеют одинаковые диаметры, хотя на чертеже они кажутся разными; ширина букв М и Н (в) одинакова, а создается впечатление, что она разная; две дуги совершенно одинаковы (г), но благодаря штриховке верхняя кажется более длинной; взятый орнамент вписан в квадрат, хотя кажется, что высота и ширина у него разные (д); три полосы (е) имеют по всей длине одинаковую ширину и параллельны друг другу, а впечатление изгиба возникает от различного направления штриховки.

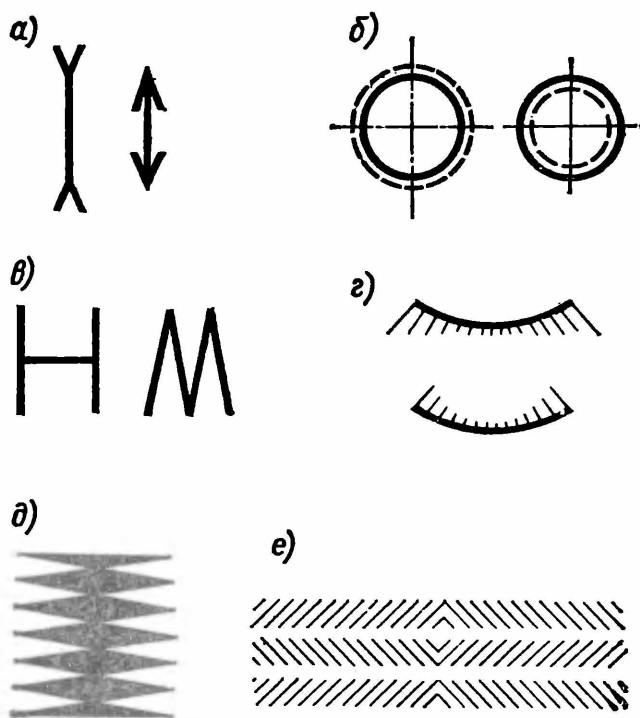


Рис. 127

Контрольные вопросы и упражнения. 1. Перечислите виды геометрического орнамента. 2. Выполните ленточный орнамент, предназначенный для украшения края головного платка. Полоса орнамента должна быть шириной 50 мм. 3. Постройте рисунок паркета по сетке из квадратов размером 50×50 мм.

§ 21. АРХИТЕКТУРНЫЕ ОБЛОМЫ

Многие здания снаружи и внутри имеют различные архитектурные украшения (рис. 128). Их можно также увидеть в контурах постаментов, декоративных ваз (рис. 129), мебели и т. п.

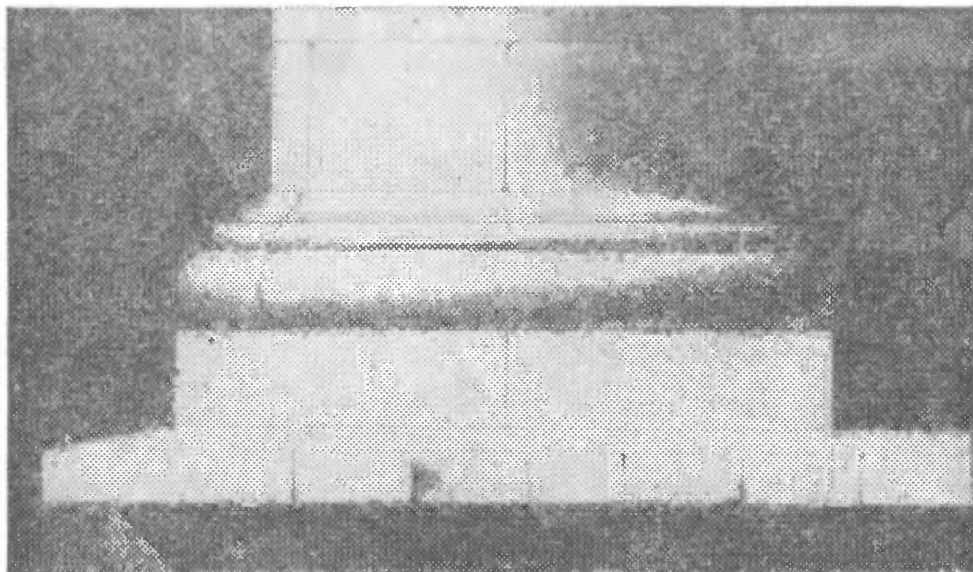


Рис. 128

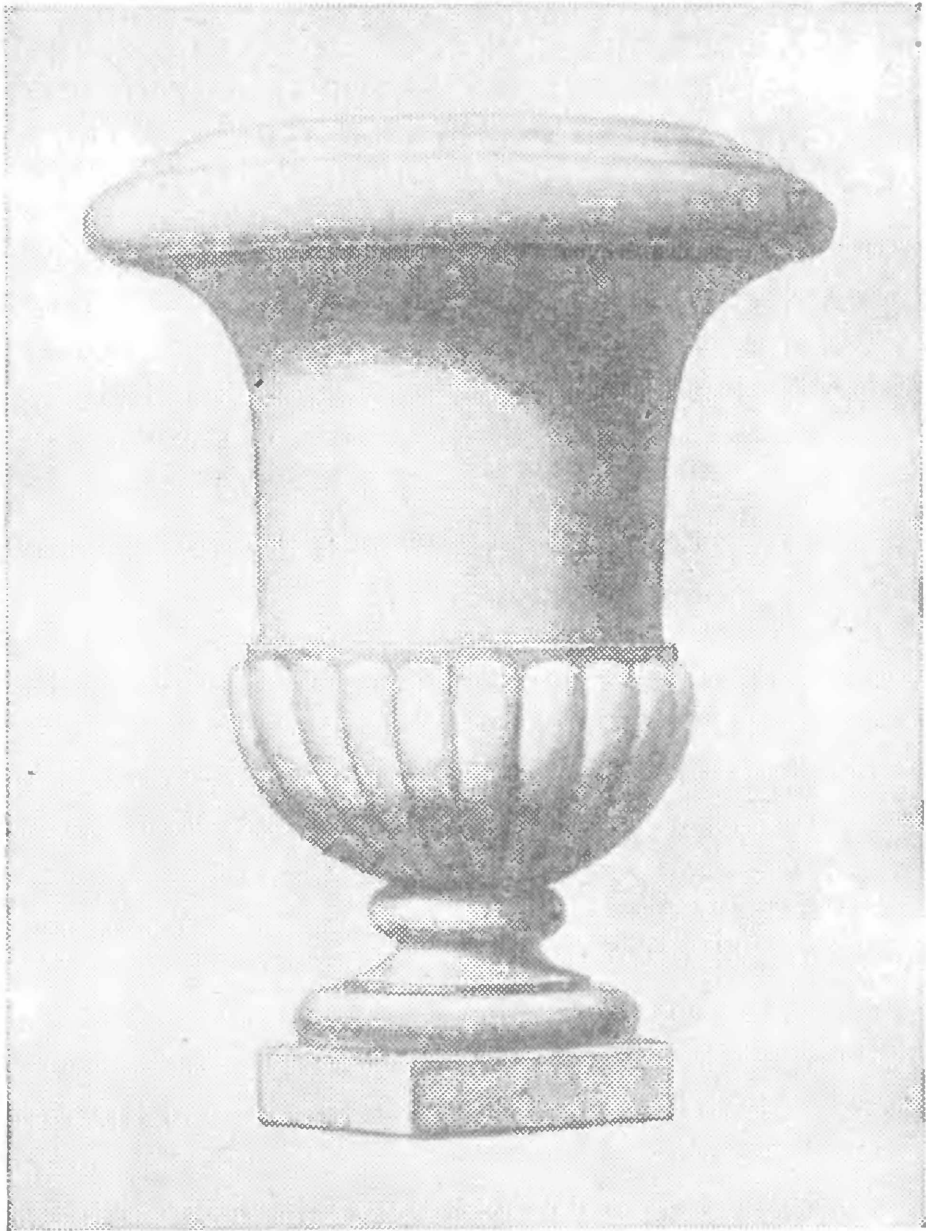


Рис. 129

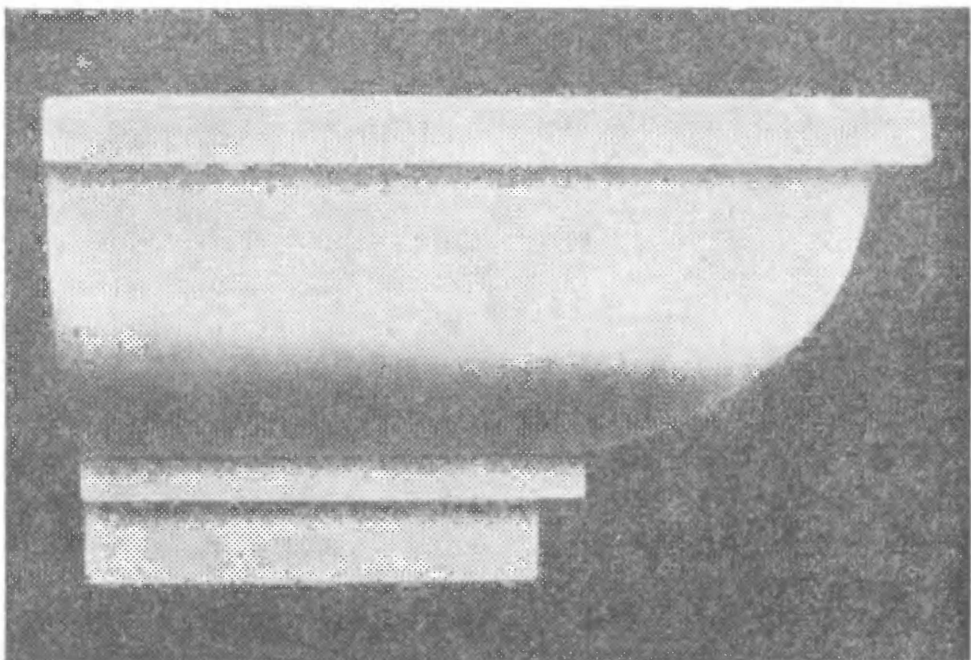


Рис. 130

Профиль архитектурных украшений складывается из элементов, называемых архитектурными обломами (рис. 130). Архитектурные обломы имеют установленные формы. Отдельные их элементы связаны между собой определенными соотношениями. Эти соотношения выражаются через величину радиуса или через условную величину, которую обозначим буквой h .

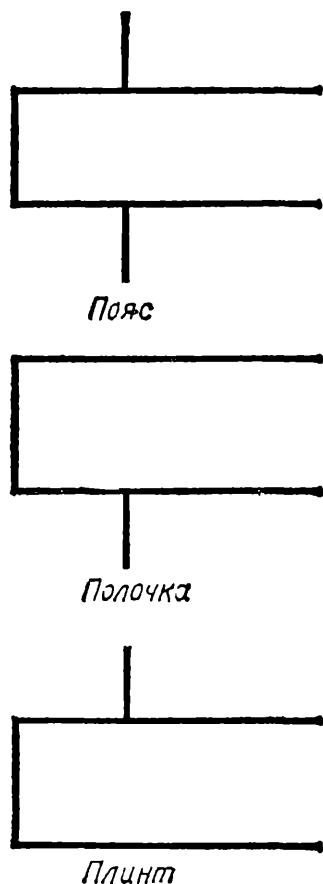


Рис. 131

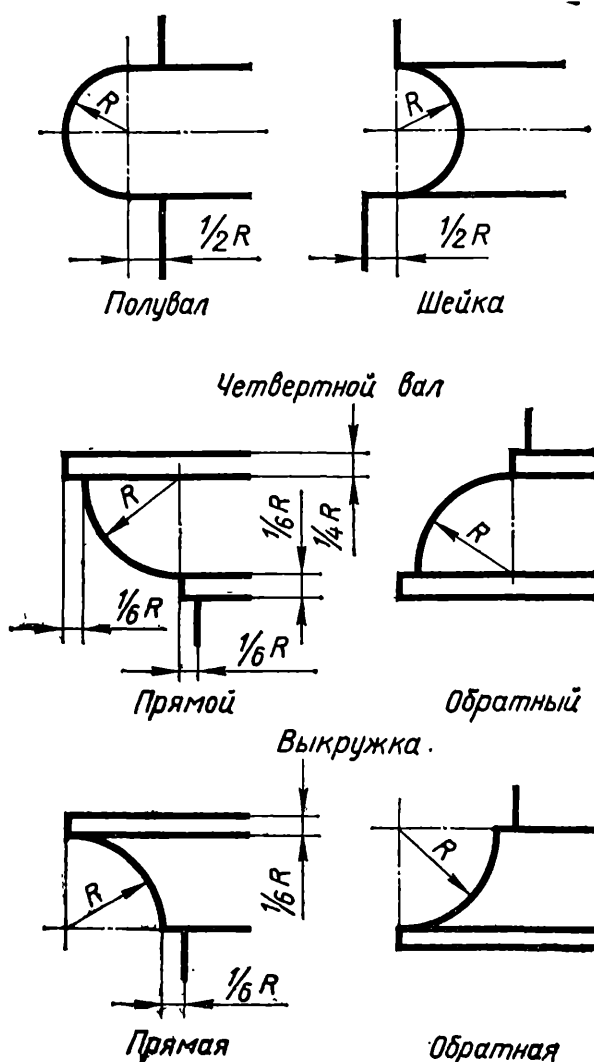


Рис. 132

По форме архитектурные обломы могут быть прямолинейные (рис. 131) и криволинейные (рис. 132, 133). Криволинейные обломы, такие, как полувал, шейка, прямой и обратный четвертной вал, прямая и обратная выкружка (рис. 132) в своем очертании имеют одну дугу и прямолинейные участки. Способ их построения понятен из чертежа.

Криволинейные контуры таких обломов, как прямые и обратные гусек и каблучок, а также скоция и сложный торус (рис. 133), состоят из двух дуг окружностей. Для построения криволинейного контура, например прямого гуська (см. рис. 133), заданные точки A и B соединяют прямой линией. Отрезок AB делят пополам в точке C . Из точек A , C и B проводят дуги окружности радиуса $R = AC = CB$ до взаимного пересечения в точках O_1 и O_2 . Из точек O_1 и O_2 описывают две дуги окружности того же радиуса R и по-

лучают криволинейный контур прямого гуська. Прямолинейные очертания гуська строят по заданным пропорциям. Вычерчивание обратного гуська или одного из видов каблучка аналогично вычерчиванию прямого гуська, при этом меняется только положение центров O_1 и O_2 .

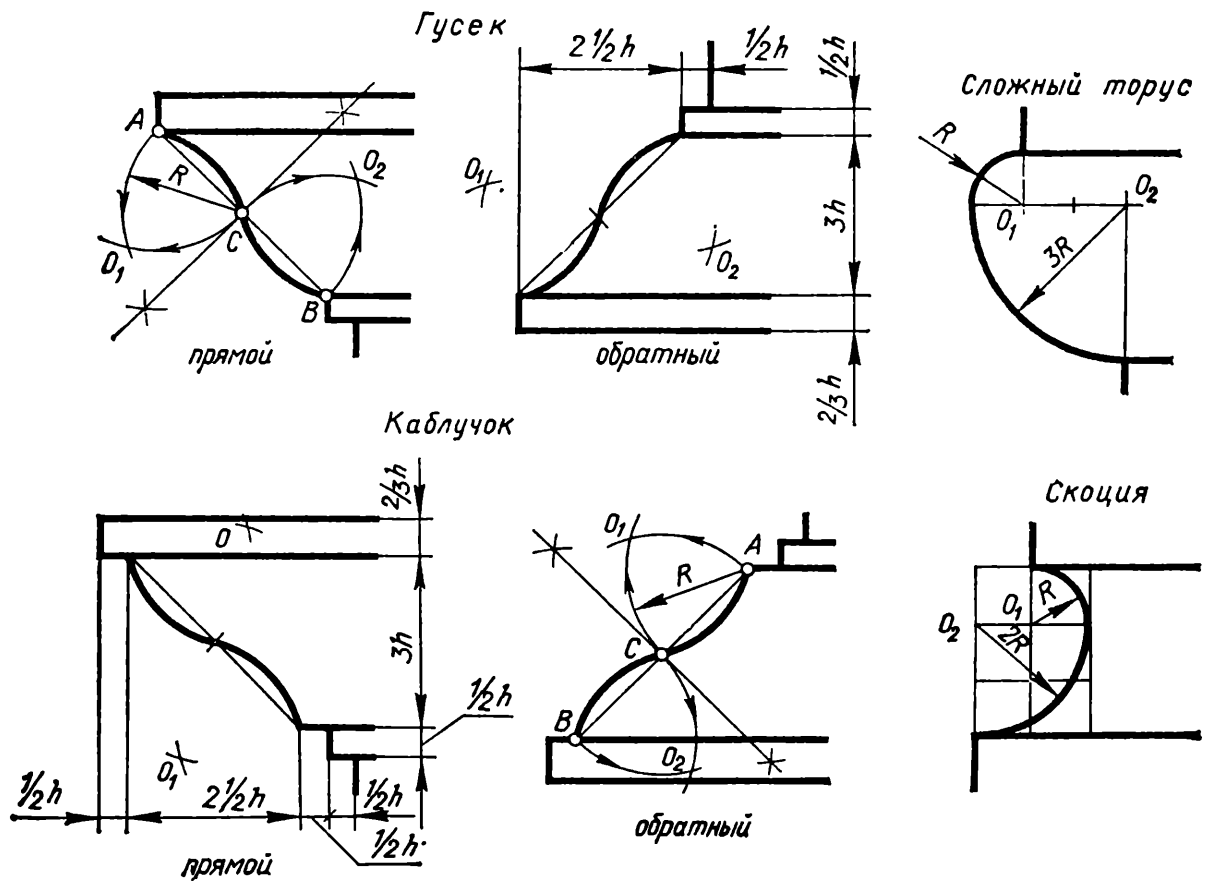


Рис. 133

Сложный торус строят по заданному радиусу R (рис. 133). Проводят прямую и на ней отмечают два центра O_1 и O_2 на расстоянии $2R$. Из центра O_1 описывают четверть окружности радиуса R , а из центра O_2 — окружность радиуса $3R$. Для построения скоции также задают радиус R (см. рис. 133) и строят шесть

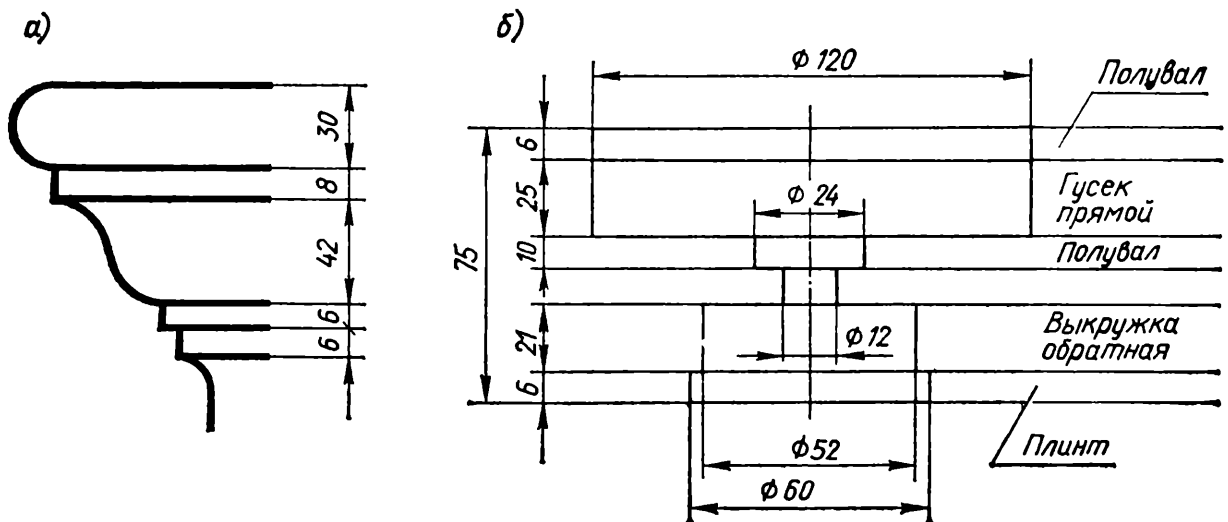


Рис. 134

квадратов со сторонами, размер которых равен заданному радиусу. Наметив точки O_1 и O_2 описывают две дуги окружностей соответственно радиусов R и $2R$.

Контрольные вопросы и упражнения. 1. Перечислите прямолинейные архитектурные обломы. 2. Вычертите контур карниза (рис. 134, а). 3. Вычертите контур вазы, составленный из указанных архитектурных обломов (рис. 134, б).

Глава 6 ПЛОСКИЕ КРИВЫЕ

Кривые, у которых все точки расположены в одной плоскости, называют плоскими. Плоские кривые, состоящие из дуг окружностей, образуют группу циркульных кривых. Дуги циркульных кривых касаются друг друга, поэтому построение их основано на правилах сопряжения и выполняется с помощью циркуля. Плоские кривые, которые нельзя построить с помощью циркуля, относятся к группе лекальных кривых. Лекальные кривые строят по точкам, зная закон их образования, а обводят по лекалу.

§ 22. ЦИРКУЛЬНЫЕ КРИВЫЕ

Завитки. Спиральная кривая, вычерченная циркулем путем сопряжения дуг окружностей различных радиусов, называется *завитком*. На рис. 135, а показано построение двухцентрового завитка. Он состоит из ряда полуокружностей, описанных попеременно из заданных центров O_1 и O_2 . Точки касания проводимых дуг окружностей расположены на прямой, соединяющей эти центры.

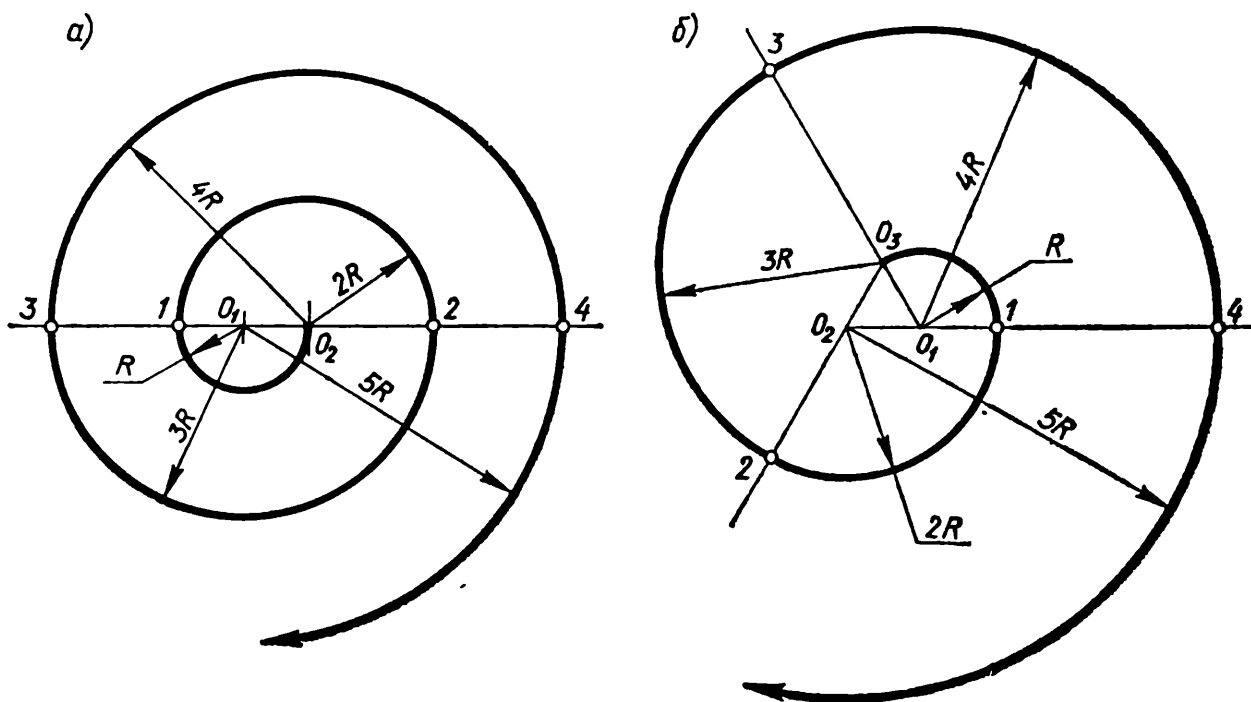


Рис. 135

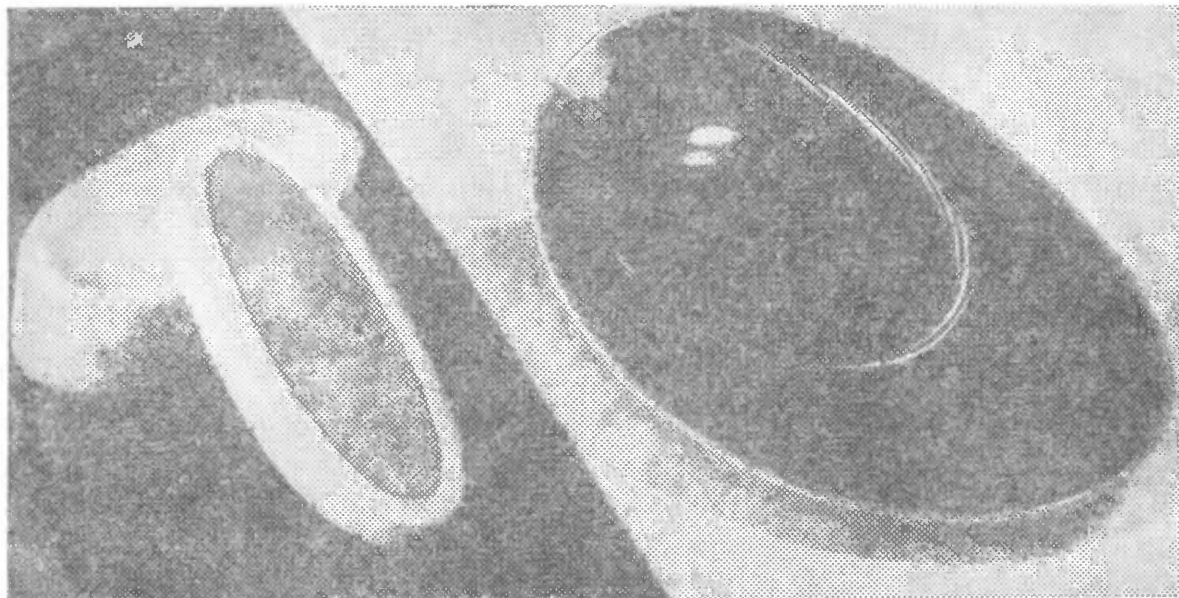


Рис. 136

Первая полуокружность имеет радиус R , равный расстоянию между центрами O_1 и O_2 . Радиус каждой последующей полуокружности увеличивают на размер первоначального радиуса R . Таким образом, вторая полуокружность имеет радиус $2R$, третья — радиус $3R$ и т. д.

Построение трехцентрового завитка по заданным центрам O_1 , O_2 и O_3 , расположенным в вершинах равностороннего треугольника, показано на рис. 135, б. Через каждую пару центров проводят прямую линию. Из центра O_1 описывают дугу окружности радиуса $R = O_1O_3$ в пределах между точками O_3 и 1. Следующую дугу радиуса $2R$ проводят из центра O_2 до точки 2. Затем описывают дугу радиуса $3R$ из центра O_3 . Дуга окружности, проведенная снова из центра O_1 , имеет радиус $4R$ и т. д. Завитки четырехцентровые, пятицентровые и т. д. строят таким же образом.

Для проверки усвоения материала следует самостоятельно построить четырехцентровый завиток по его центрам O_1 , O_2 , O_3 и O_4 , расположенным в вершинах квадрата.

Коробовые кривые. Коробовой кривой называется односторонне выпуклая циркулярная кривая (замкнутая или незамкнутая), образуемая сопряжением дуг окружностей. Существует несколько разновидностей коробовых кривых.

Овал — замкнутая коробовая кривая, имеющая две оси симметрии. Элементами, определяющими размер овала, являются его длина и ширина, измеряемые по осям симметрии. На рис. 136 изображены предметы, в форму очертаний которых входит овал.

Построение овала по его длине AB и ширине CD показано на рис. 137. Вначале проводят две взаимно перпендикулярные прямые, пересекающиеся в точке O (рис. 137, а). На горизонтальной прямой в обе стороны от точки O откладывают отрезок $AB/2$, а на вертикальной — $CD/2$. Точки A и C соединяют прямой линией и из точки O описывают дугу окружности радиуса OA до пересечения

ее с прямой CD в точке E . На прямой AC откладывают отрезок $CF=CE$ и получают точку F . Через середину отрезка AF проводят перпендикуляр и на пересечении его с прямыми AB и CD получают точки O_1 и O_2 . На прямых AB и CD строят точки O_3 и O_4 , симметричные точкам O_1 и O_2 , относительно центра O (рис. 137, б).

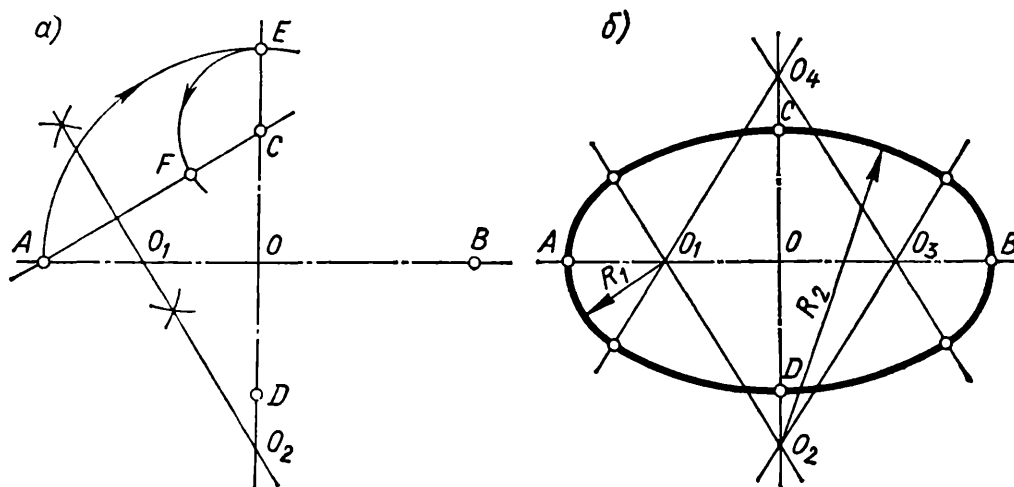


Рис. 137

Точки O_1, O_2, O_3, O_4 являются центрами сопрягаемых дуг, определяющих контур овала, а точки касания дуг располагаются на прямых O_1O_2, O_3O_2, O_1O_4 и O_3O_4 . Из центров O_1 и O_3 описывают дуги окружности радиуса $R_1=O_1A$, а из центров O_2 и O_4 — дуги окружности радиуса $R_2=O_2C$ и получают контур овала.

Овоид — замкнутая коробовая кривая, имеющая одну ось симметрии. Построение овоида по его ширине — отрезка AB — показано на рис. 138, а. Через середину отрезка AB — точку O_1 — проводят перпендикулярную прямую. Из точки O_1 описывают окружность радиуса $R_1=AB/2$ и на пересечении ее с перпендикуляром получают точку O_2 . Далее проводят прямые AO_2 и BO_2 и продол-

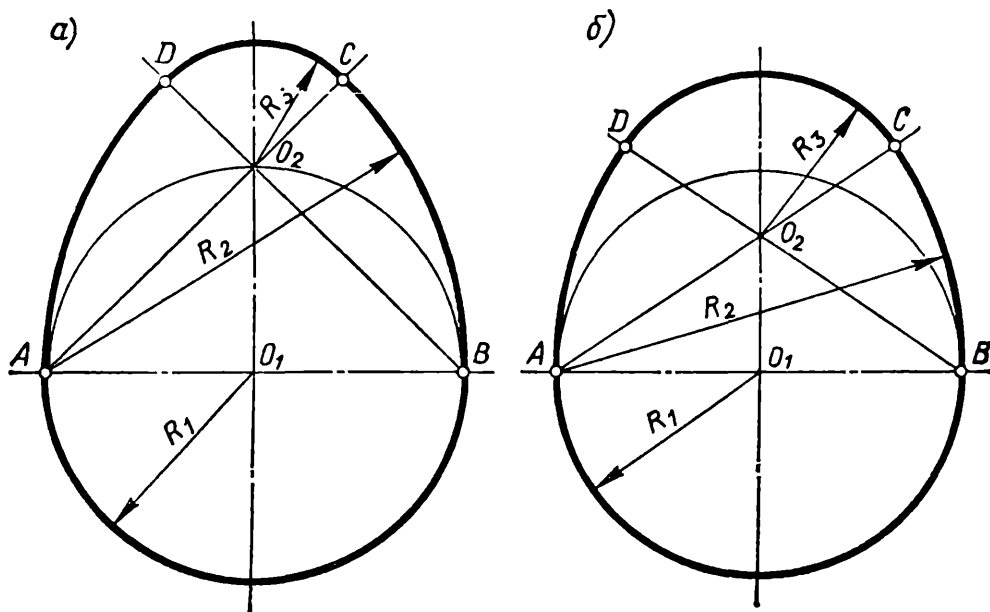


Рис. 138



Рис. 139

жают их за точку O_2 . Из точек A и B описывают две дуги окружности радиуса $R_2 = AB$ до пересечения их в точках C и D с проведенными прямыми. Последнюю дугу окружности радиуса $R_3 = O_2C$ описывают из точки O_2 .

Если точку O_2 расположить ближе к точке O_1 или дальше от нее, то овоид получится соответственно более тупым или более острым. Для построения тупого овоида задают его ширину AB и расстояние между центрами O_1O_2 (рис. 138, б). Порядок построения остается прежним.

Более острый овоид, у которого $AB/2 < O_1O_2$, предлагается построить учащимся самостоятельно.

Коробовые кривые сводов относятся к незамкнутым коробовым кривым. Они находят применение при строительстве сводов и арок мостов, входов в здания, различных перекрытий, например метро (рис. 139) и т. п. Ниже разобрано построение коробовых кривых пологого и крутого сводов. Пологий и крутой своды различают по соотношению их ширины AB и высоты OC . У пологого свода $AB/2 > OC$, а у крутого $AB/2 < OC$.

Построение коробовой кривой пологого свода по его ширине AB и высоте OC (рис. 140). На горизонтальной прямой откладывают ширину свода — отрезок AB и через его середину — точку O — проводят перпендикулярную прямую. На этой прямой от точки O откладывают высоту свода — отрезок OC . Из точки O описывают дугу AE окружности радиуса OA и на ней отмечают точку D с по-

мощью дуги того же радиуса OA , но с центром в точке A . Точку D соединяют прямыми с точками A , E и O . Затем через точку C проводят прямую $CF \parallel DE$ до пересечения ее с прямой AD в точке F . Через точку F проводят прямую $FO_2 \parallel DO$ до пересечения ее с отрезком AB в точке O_1 , а с прямой OC в точке O_2 . Точку O_3 получают с помощью дуги окружности радиуса OO_1 . Полученные точки O_1 , O_2 и O_3 являются центрами дуг, из которых состоит данная кривая. Из центров O_1 и O_3 описывают дугу радиуса $R_1 = O_3B$, а из центра O_2 — дугу радиуса $R_2 = O_2C$.

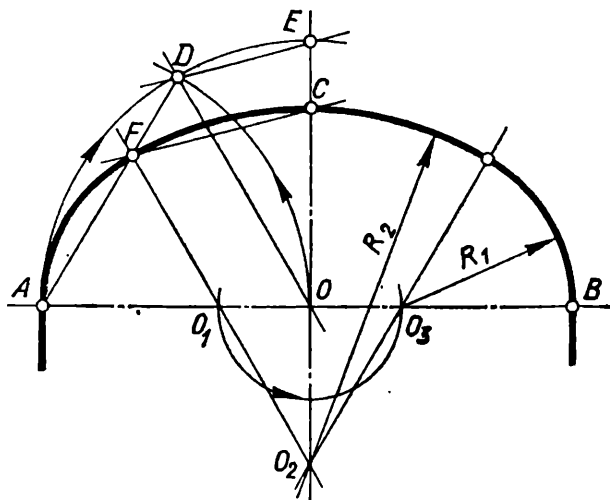


Рис. 140

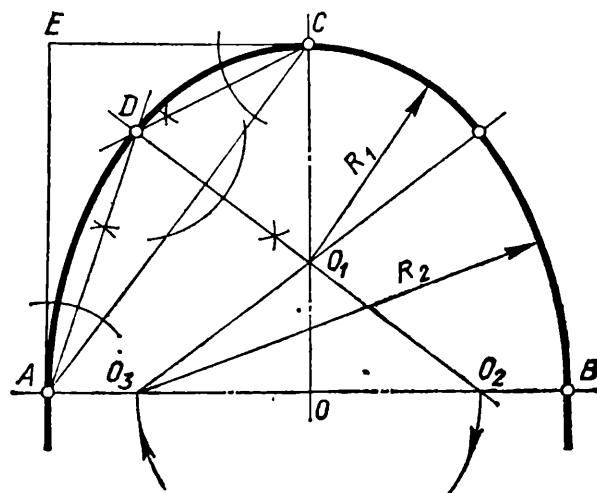


Рис. 141

Построение коробовой кривой крутого свода по ширине AB и высоте OC (рис. 141). Отрезок AB делят пополам, строят прямоугольник $AECO$ и проводят в нем диагональ AC . Углы EAC и ECA делят пополам. На пересечении биссектрис этих углов получают точку D и из нее опускают перпендикуляр на диагональ AC . Перпендикуляр продолжают до пересечения с отрезками: OC в точке O_1 и AB в точке O_2 . Точку O_3 получают с помощью дуги окружности радиуса OO_2 . Точки O_1 , O_2 и O_3 являются центрами дуг радиусов R_1 и R_2 , с помощью которых строят контур кривой.

Контрольные вопросы и упражнения. 1. Какие кривые называют циркульными. 2. Какую кривую называют овалом? Постройте овал длиной 60 мм и шириной 30 мм. 3. Чем отличается овал от овоида? 4. Где применяют коробовые кривые? 5. Какие геометрические построения надо применить при вычерчивании коробовой кривой крутого свода?

§ 23. ЛЕКАЛЬНЫЕ КРИВЫЕ

Лекальные кривые широко применяются в очертаниях различных деталей и предметов. Например, профили зубчатых колес и кулачков, очертания кронштейнов, подвесок, посуды и мебели. Лекальные кривые могут быть также получены в результате сечения цилиндра, конуса и других тел вращения плоскостью.

Порядок вычерчивания лекальных кривых. Пусть на рис. 142, а заданы точки 1, 2, ..., 11, принадлежащие некоторой кривой. Пред-

варительно эти точки от руки с помощью мягкого карандаша соединяют тонкой, по возможности более плавной кривой линией (рис. 142, б). Желательно, чтобы расстояние между соседними точками лекальной кривой не превышало 15 мм. Если же две соседние точки кривой расположены далеко друг от друга и характер кривой не совсем ясен, то следует построить дополнительно еще одну или две точки.

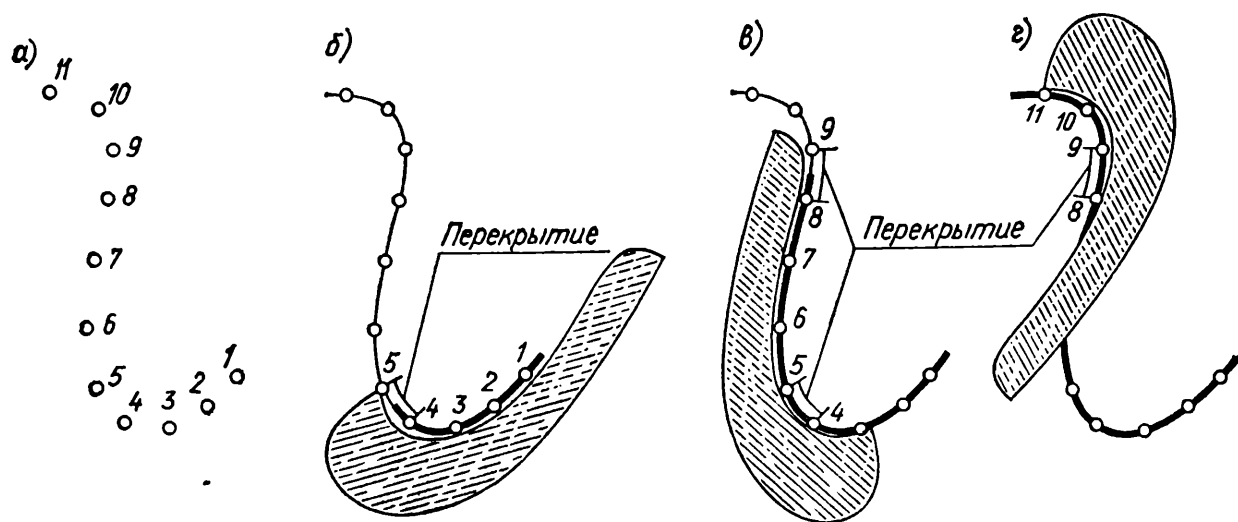


Рис. 142

Затем приступают к предварительной обводке кривой с помощью лекала. Лекало надо подобрать такое, чтобы очертания некоторых его участков были похожи на отдельные участки данной кривой. Предварительный подбор лекала рекомендуется делать на длину всей кривой и черточками на нем помечать выбранные участки. Это особенно важно для обводки симметричных кривых, таких, как эллипс, парабола и др.

Подобранное лекало прикладывают в кривой так, чтобы лежащие подряд как минимум три или четыре точки кривой совпали с определенным участком лекала (например, точки 1...5 на рис. 142, б). Далее подбирают следующий участок лекала таким образом, чтобы он охватывал также три или четыре точки кривой, включая хотя бы одну точку из предыдущего участка (например, точка 4 на рис. 142, в, точка 8 на рис. 142, з). Благодаря такому перекрытию двух соседних участков достигается плавность кривой. После того как подобраны участки лекала на протяжении всей кривой, приступают к окончательной обводке ее карандашом или тушью. Обводку следует начинать с места наиболее крутого изгиба кривой. На каждом участке обводят среднюю часть его, включая половину участков перекрытия. Такая обводка обеспечивает наибольшую плавность кривой.

Построение лекальных кривых. Эллипс (рис. 143) — плоская замкнутая кривая, у которой сумма расстояний от любой ее точки (например, от точки M) до двух определенных точек F_1 и F_2 — фокусов эллипса — величина постоянная, равная длине его большей оси AB (например, $F_1M + F_2M = AB$). Отрезок AB назы-

вается большой осью эллипса, а отрезок CD — его малой осью. Оси эллипса пересекаются в точке O — центре эллипса, а его размер определяет длина большой и малой осей. Точки F_1 и F_2 расположены на большой оси AB симметрично относительно точки O и удалены от концов малой оси (точек C и D) на расстояние, равное половине большой оси эллипса ($AB/2$).

Построение эллипса по двум его осям с помощью вспомогательных окружностей (рис. 144).

В этом случае задают центр эллипса — точку O — и через нее проводят две взаимно перпендикулярные прямые. Из точки O описывают две окружности радиусов, равных половине большой и малой осей. Большую окружность делят на 12 равных частей и точки деления соединяют с точкой O . Проведенные линии разделят меньшую окружность также на 12 равных частей. Затем через точки деления меньшей окружности проводят горизонтальные прямые (или прямые, параллельные большой оси эллипса), а через точки деления большей окружности — вертикальные (или прямые, параллельные малой оси эллипса). Точки их пересечения (например, точка M) принадлежат эллипсу. Соединив полученные точки плавной кривой, получают эллипс.

Парабола (рис. 145) — плоская кривая, каждая точка которой удалена на одинаковое расстояние от заданной прямой DD_1 , называемой директрисой, и точки F — фокуса параболы. Например, для точки M отрезки MN (расстояние до директрисы) и MF (расстояние до фокуса) равны, т. е. $MN = MF$.

Парабола имеет форму разомкнутой кривой с одной осью сим-

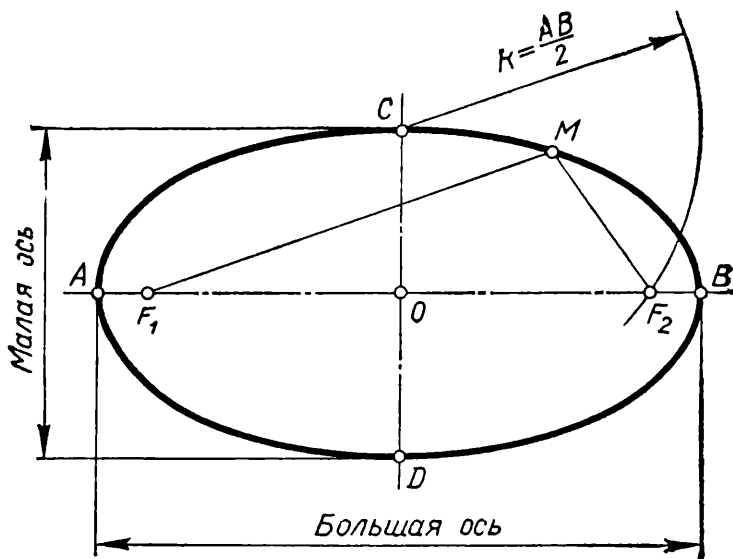


Рис. 143

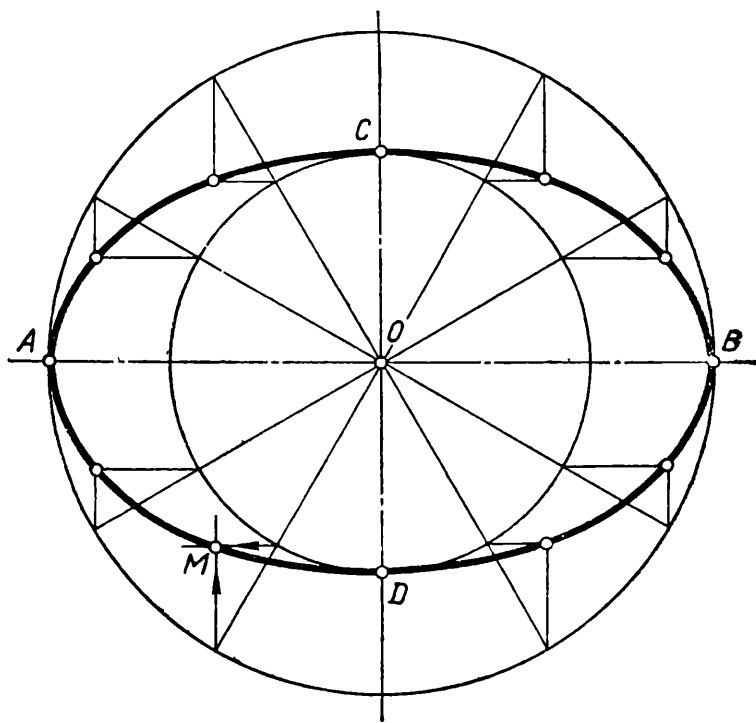


Рис. 144

метрии, которая проходит через фокус параболы — точку F — и расположена перпендикулярно директрисе DD_1 . Точка A , лежащая на середине отрезка OF , называется вершиной параболы. Расстояние от фокуса до директрисы — отрезок $OF = 2 \cdot OA$ — обозначают буквой p и называют параметром параболы. Чем больше параметр p , тем резче ветви параболы отходят от ее оси. Отрезок, заключенный между двумя точками параболы, расположенными симметрично относительно оси параболы, называется хордой (например, хорда MK).

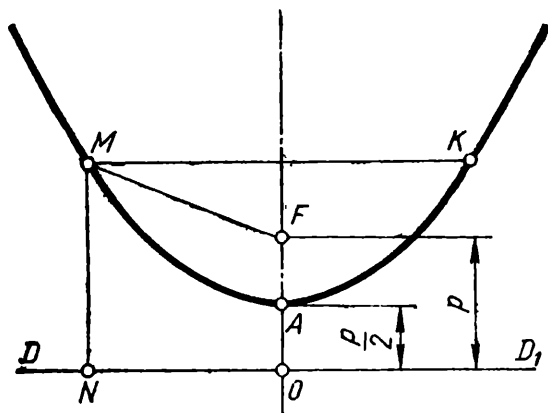


Рис. 145

Построение параболы по ее директрисе DD_1 и фокусу F (рис. 146, а). Через точку F перпендикулярно директрисе проводят ось параболы до пересечения ее с директрисой в точке O . Отрезок $OF = p$ делят пополам и получают точку A — вершину параболы. На оси параболы от точки A откладывают несколько постепенно увеличивающихся отрезков. Через точки деления 1, 2, 3 и т. д. проводят прямые, параллельные директрисе. Приняв фокус параболы за центр, описывают дуги окружности радиуса $R_1 = L_1$ до пересечения с прямой, проведенной через точку 1, радиуса $R_2 = L_2$ до пересечения с прямой, проведенной через точку 2, и т. д. Полученные точки принадлежат параболе. Вначале их соединяют тонкой плавной линией от руки, затем обводят по лекалу.

Построение параболы по ее оси, вершине A и промежуточной точке M (рис. 146, б). Через вершину A проводят прямую, перпендикулярную оси параболы, а через точку M — прямую, параллельную оси. Обе прямые пересекаются в точке B . Отрезки AB и BM

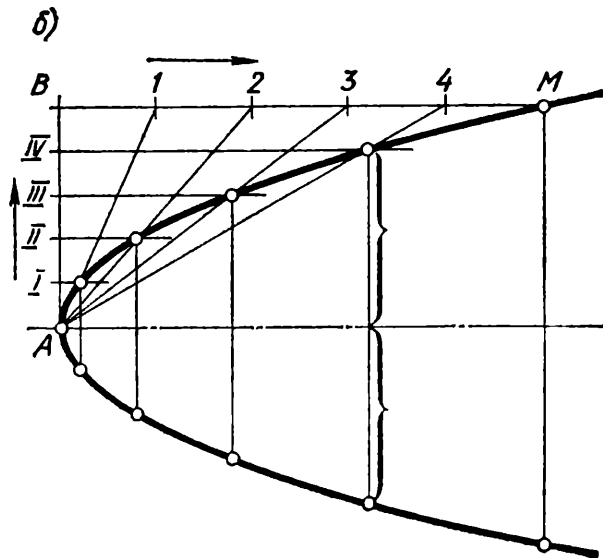
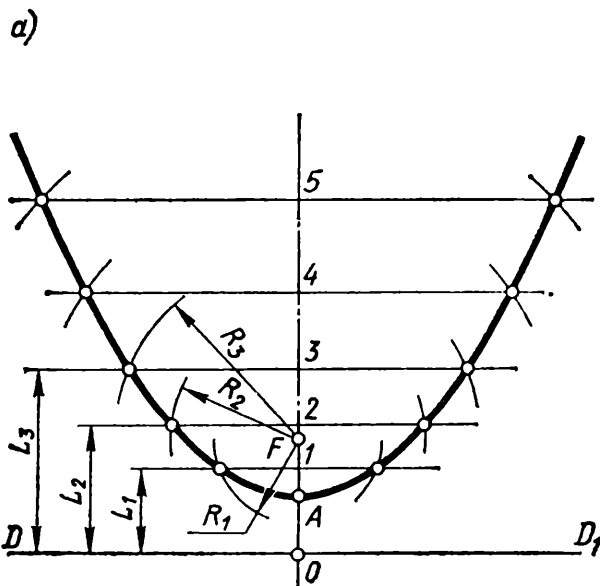


Рис. 146

делят на одинаковое число равных частей, а точки деления нумеруют в направлениях, указанных стрелками. Через вершину A и точки $1, 2, 3, 4$ проводят лучи, а из точек I, II, III, IV — прямые, параллельные оси параболы. На пересечении прямых, обозначенных одинаковым номером, расположены точки, принадлежащие параболе. Обе ветви параболы одинаковы, поэтому другую ветвь строят симметрично первой с помощью хорд.

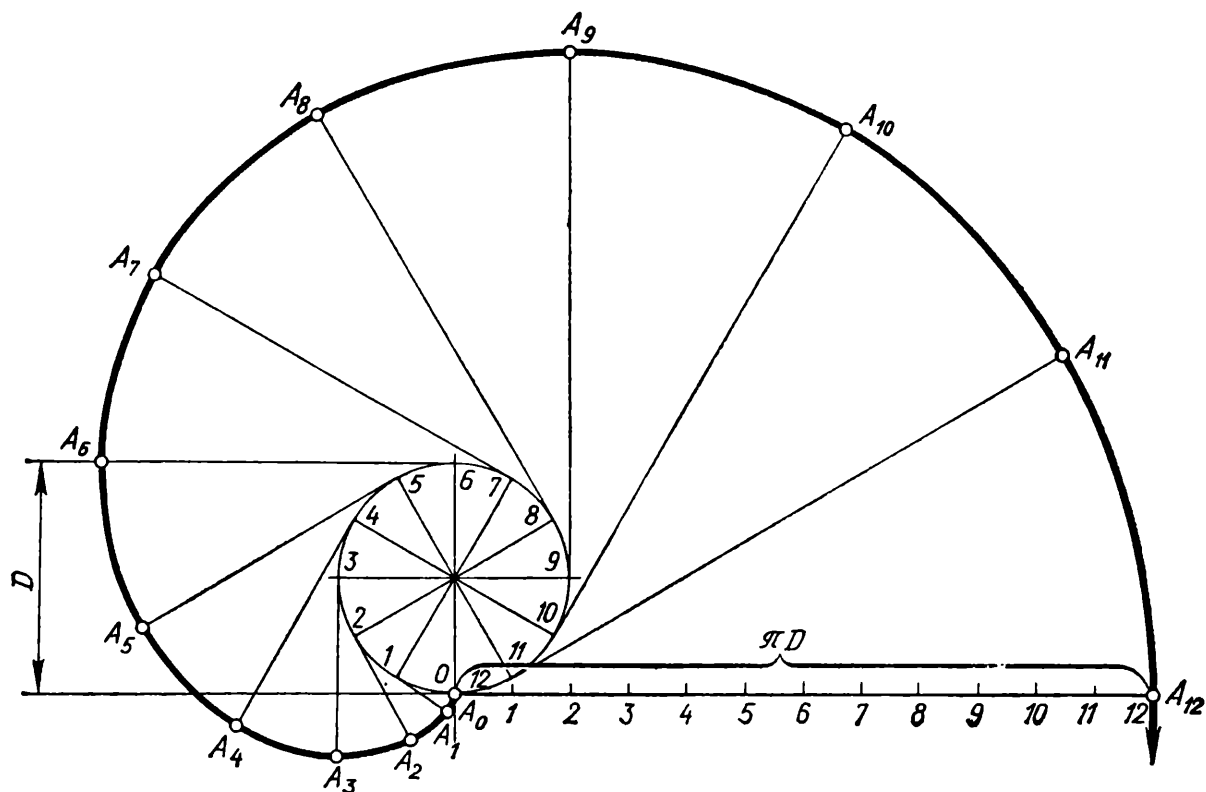


Рис. 147

Эвольвента окружности — плоская кривая, которую описывает каждая точка прямой линии, если эту прямую катить без скольжения по неподвижной окружности (рис. 147).

Построение эвольвенты по заданному диаметру окружности D и начальному положению точки A (точка A_0). Через точку A_0 проводят касательную к окружности и на ней откладывают длину заданной окружности πD . Полученный отрезок и окружность делят на одинаковое число частей и через точки деления окружности

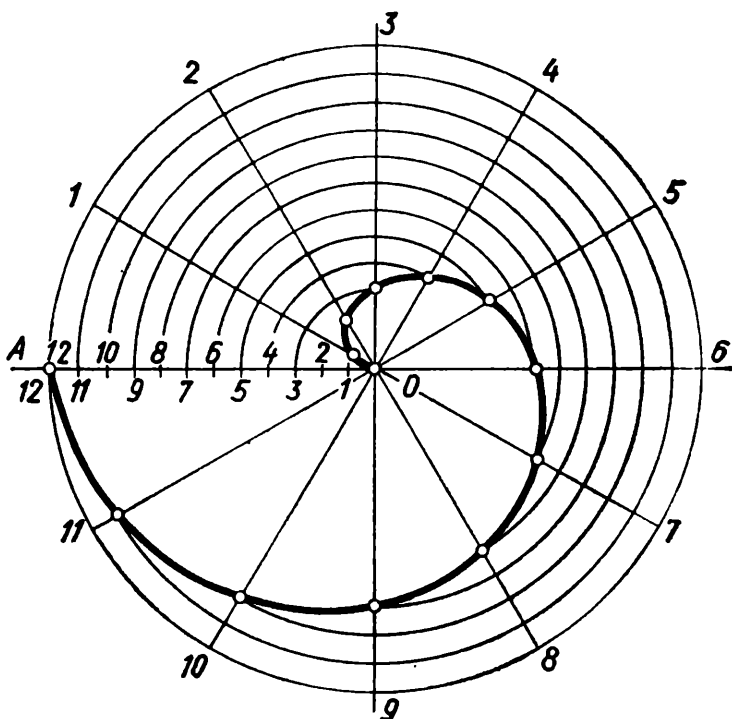


Рис. 148

проводят в одном направлении касательные к ней. На каждой касательной откладывают отрезки, взятые с горизонтальной прямой и соответственно равные $1A_1=A_01$; $2A_2=A_02$; $3A_3=A_03$ и т. д.; полученные точки соединяют по лекалу.

Спираль Архимеда — плоская кривая, которую описывает точка A , равномерно вращающаяся вокруг неподвижной точки — полюса O и одновременно равномерно удаляющаяся от него (рис. 148). Расстояние, пройденное точкой при повороте прямой на 360° , называют шагом спирали. Точки, принадлежащие спирали Архимеда, строят исходя из определения кривой, задаваясь шагом и направлением вращения.

Построение спирали Архимеда по заданному шагу (отрезок OA) и направлению вращения по ходу часовой стрелки (рис. 148). Через точку O проводят прямую, откладывают на ней шаг спирали OA и описывают окружность радиуса, равного шагу спирали. Окружность и отрезок OA делят на 12 равных частей. Через точки деления окружности проводят радиусы $01, 02, 03$ и т. д. и на них от точки O откладывают с помощью дуг соответственно $1/12, 2/12, 3/12, \dots$ радиуса окружности. Полученные точки соединяют по лекалу плавной кривой.

Спираль Архимеда является незамкнутой кривой, и при необходимости можно построить любое число ее витков. Для построения второго витка описывают окружность радиуса $R=2 \cdot OA$ и повторяют все предыдущие построения.

Контрольные вопросы и упражнения. 1. Перечислите основные элементы эллипса. 2. Каким общим свойством обладают все точки эллипса? 3. Какую величину называют параметром параболы? Как влияет изменение параметра параболы на ее вид? 4. При каких условиях точка опишет эвольвенту? 5. Постройте два витка спирали Архимеда с шагом 60 мм и направлением вращения против движения часовой стрелки.

Раздел второй

ПРОЕКЦИОННОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

Глава 7

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕЛА. ПРОЕЦИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР

§ 24. ПОНЯТИЕ О ПРОСТЕЙШИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛАХ

В разделе проекционного черчения изучаются способы изображения на плоскости объемных фигур — геометрических тел. Геометрическим телом называют замкнутую часть пространства, ограниченную поверхностями. Любые предметы можно рассматривать как геометрические тела. Формы предметов чрезвычайно разнообразны. Однако при внимательном анализе можно убедиться в том, что большинство из них образовано сочетанием простейших

геометрических тел, таких, как многогранники (призма и пирамида) и тела вращения (прямые круговые цилиндр и конус, шар). Например, форма светильника (рис. 149) складывается из сочетания цилиндров и призмы.

Многогранники — геометрические тела, ограниченные плоскими многоугольниками — гранями. Стороны граней называют ребрами, а концы ребер —

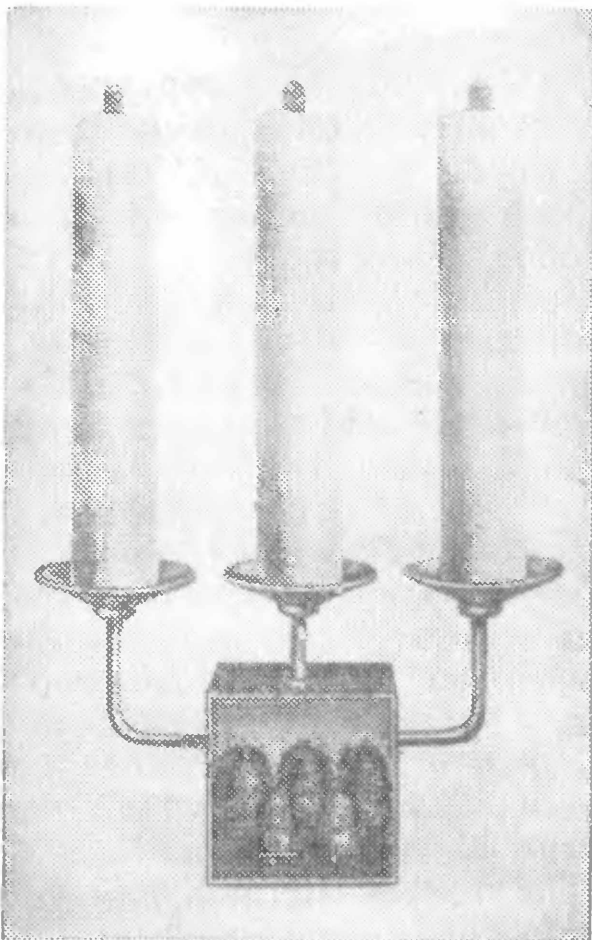


Рис. 149

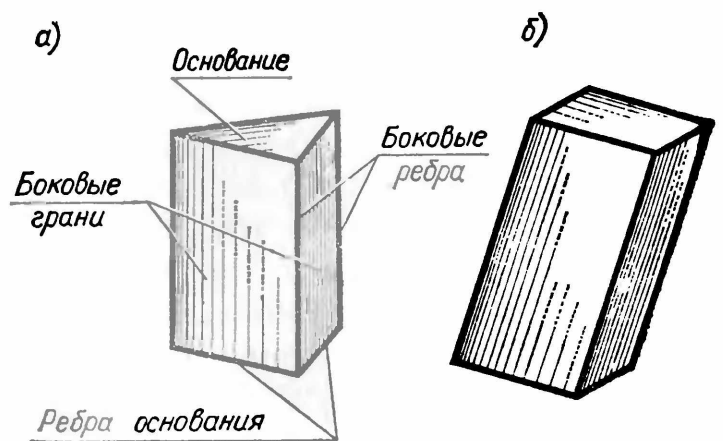


Рис. 150



Рис. 151

вершинами. Чаще всего встречаются многогранники двух видов — призмы и пирамиды.

Призмой называют многогранник (рис. 150), у которого две грани — основания призмы — равные многоугольники, расположенные в параллельных плоскостях, а остальные грани, называемые боковыми, — параллелограммы. Призмы бывают прямые и наклон-

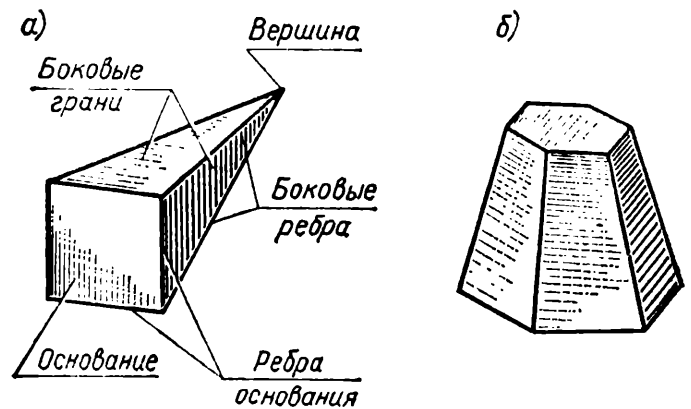


Рис. 152

ные. *Прямой* называют призму (рис. 150, а), у которой боковые грани перпендикулярны ее основанию. У *наклонной* призмы боковые грани составляют с основанием острые углы (рис. 150, б). Если основание прямой призмы правильный многоугольник, то призму называют *правильной*. По числу сторон многоугольника основания призмы делят на треугольные, четырехугольные и т. д. Форму призмы, чаще всего прямой, имеют многие предметы домашнего обихода, окружающие нас, а также предметы прикладного и монументального искусства, например постаменты памятников (рис. 151).

Пирамидой называют многогранник (рис. 152, а), основанием которого является плоский многоугольник, а боковыми гранями — треугольники, имеющие общую вершину. По числу углов многоугольника основания пирамиды делят на треугольные, четырехугольные и т. д. Если пирамида усечена плоскостью, параллельной ее основанию, то такую пирамиду называют *усеченной* (рис. 152, б). Пирамиду называют *правильной*, если в ее основании лежит правильный многоугольник, и высота пирамиды падает в центр основания. Форму пирамиды имеют различные флаконы, вазы, стаканы, осветительные приборы (рис. 153) и другие предметы.

Тела вращения — геометрические тела, ограниченные поверхностью вращения либо поверхностью вращения и плоскостью (рис. 154). Под *поверхностью вращения* понимают поверх-

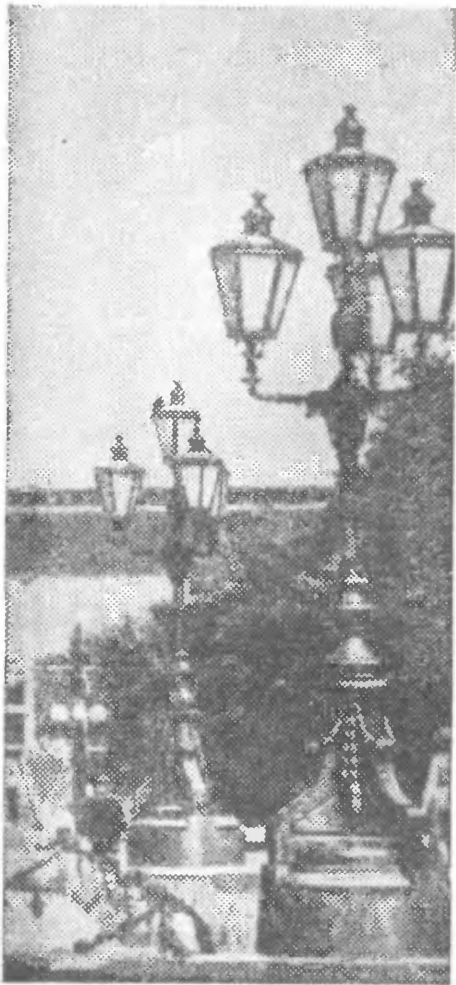


Рис. 153

ность, полученную от вращения какой-либо линии, например ABC , называемой *образующей*, вокруг неподвижной прямой U оси вращения. Любая точка, на-

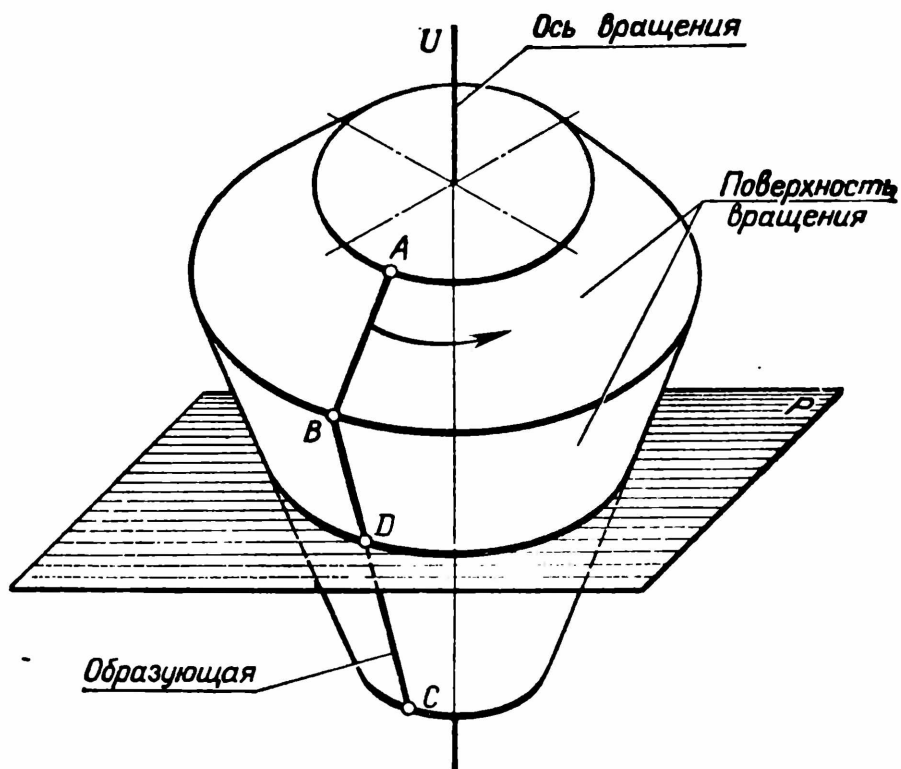


Рис. 154

пример D , образующей поверхности вращения описывает окружность, расположенную в плоскости P , перпендикулярной оси вращения U . Следовательно, плоскость, перпендикулярная оси вращения, всегда пересекает поверхность вращения по окружности.

Прямой круговым цилиндром (рис. 155) называют тело, ограниченное цилиндрической поверхностью вращения — его боковая поверхность — и двумя кругами — основаниями цилиндра, расположенные в плоскостях, перпендикулярных оси цилиндра. *Цилиндрическая поверхность* вращения получается при вращении прямолинейной образующей AB , вокруг неподвижной прямой — оси вращения U — при условии, что образующая и ось U параллель-

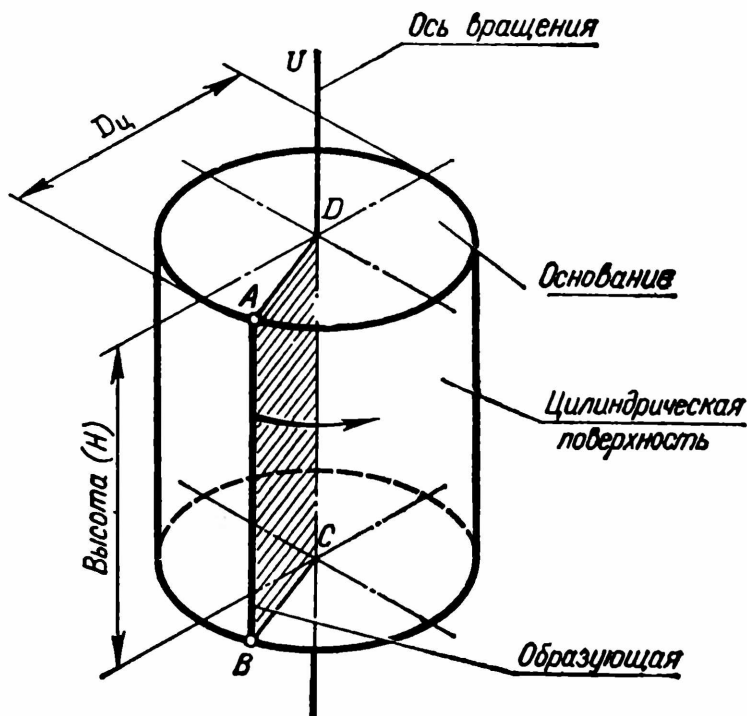


Рис. 155

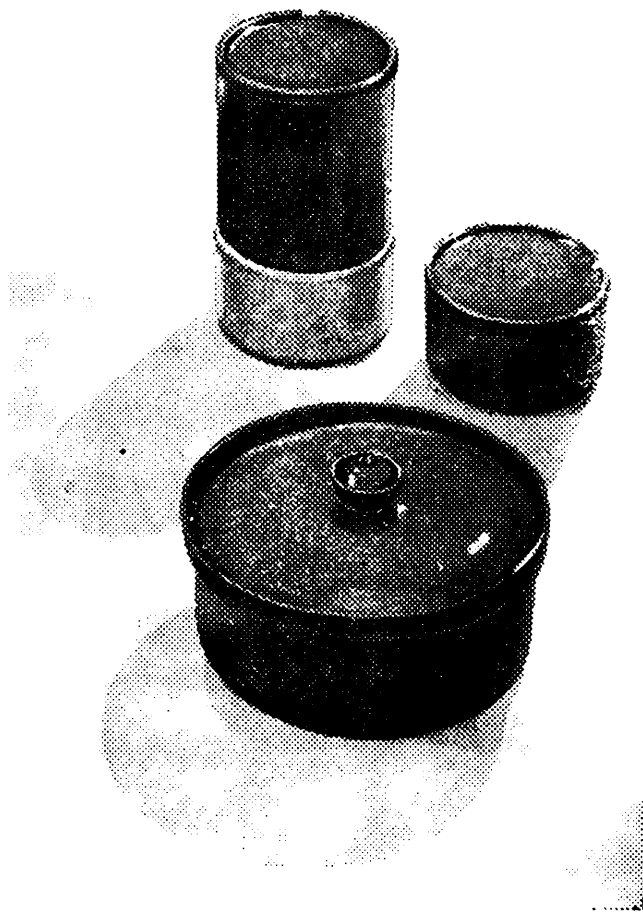


Рис. 156

ны. Размер прямого кругового цилиндра определяется его диаметром $D_{ц}$ и высотой H (расстояние между основаниями цилиндра).

Прямой круговой цилиндр можно также рассматривать

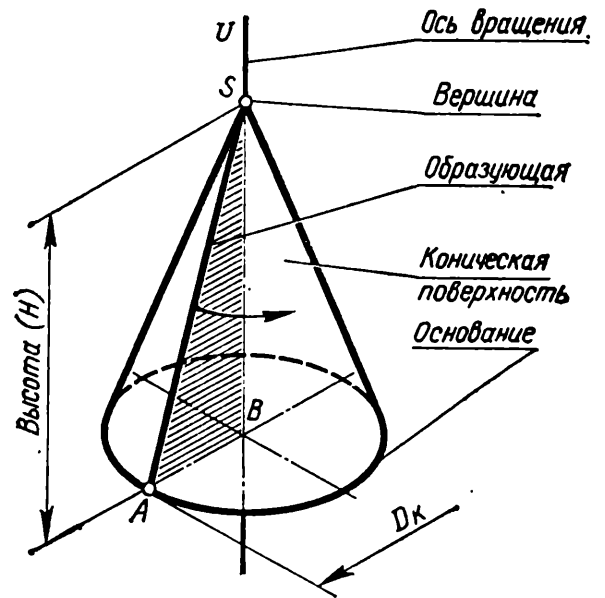


Рис. 157

как тело, полученное при вращении прямоугольника $ABCD$ вокруг одной из его сторон, например CD .

Форму прямого кругового цилиндра имеют некоторые светильники, шкатулки, пеналы, посуда (рис. 156) и другие предметы.

Прямой круговой конусом (рис. 157) называют тело, ограниченное конической поверхностью (боковая поверхность конуса) и кругом, — основание конуса, расположенным в плоскости, перпендикулярной оси конуса. *Коническая поверхность* кругового ко-



Рис. 158

нуса получается при вращении прямолинейной образующей SA , проходящей через неподвижную точку S на оси вращения U и составляющей с этой осью постоянный угол. Точка S называется вершиной конуса. Размер прямого кругового конуса задается диаметром основания D_k и высотой H .

Прямой круговой конус можно также рассматривать как тело, полученное при вращении прямоугольного треугольника SAB вокруг его катета SB . При вращении гипотенуза SA образует коническую поверхность, а катет AB — круг, т. е. основание конуса.

Форму прямого кругового конуса имеют различные вазы, абжуры, цветочные горшки, настенные кашпо, кружки (рис. 158) и т. д.

Шаром (рис. 159) называют тело, полученное при вращении полукруга вокруг его диаметра AC , а поверхность, которую при этом описывает дуга ABC , называется шаровой или сферической. Шар относится к телам, ограниченным только поверхностью вращения. Его размер задается диаметром $D_{ш}$.

Шаровая (сферическая) поверхность представляет собой множество точек пространства, равноудаленных от данной точки O — центра шара. Любая плоскость, проходящая через центр шара, пересекает его поверхность по окружности диаметра шара. Если секущая плоскость горизонтальна, то полученную окружность называют *экватором*. Если же секущая плоскость проходит через ось вращения шара, то полученную окружность называют *меридианом*.

Шаровую поверхность имеют многие бытовые предметы, например посуда (рис. 160).

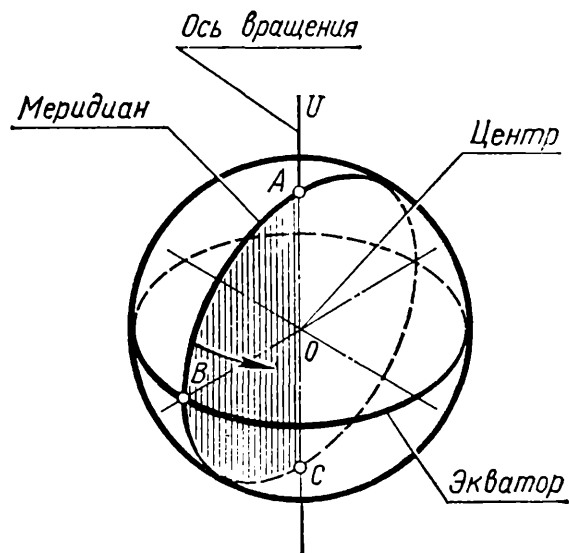


Рис. 159

§ 25. ПОНЯТИЕ О ПРОЕКЦИЯХ. МЕТОД ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОЕКЦИРОВАНИЯ

Все предметы объемны, т. е. имеют длину, ширину и высоту. Для того чтобы изготовить их, например сделать стул, настольную лампу и т. д., необходимо иметь их изображения на плоскости (на листе бумаги). Плоское изображение предмета называют его *проекцией*, а процесс получения проекций — *проецированием*. Совокупность правил, с помощью которых строят на плоскости изображения пространственных фигур, называется *методом проецирования*. Метод проецирования позволяет не только построить изображение (проекцию) пространственного объекта, но и по нему представить форму и положение данного объекта.

Существуют два метода проецирования: центральный и параллельный. *Центральное проецирование* применяют для построения

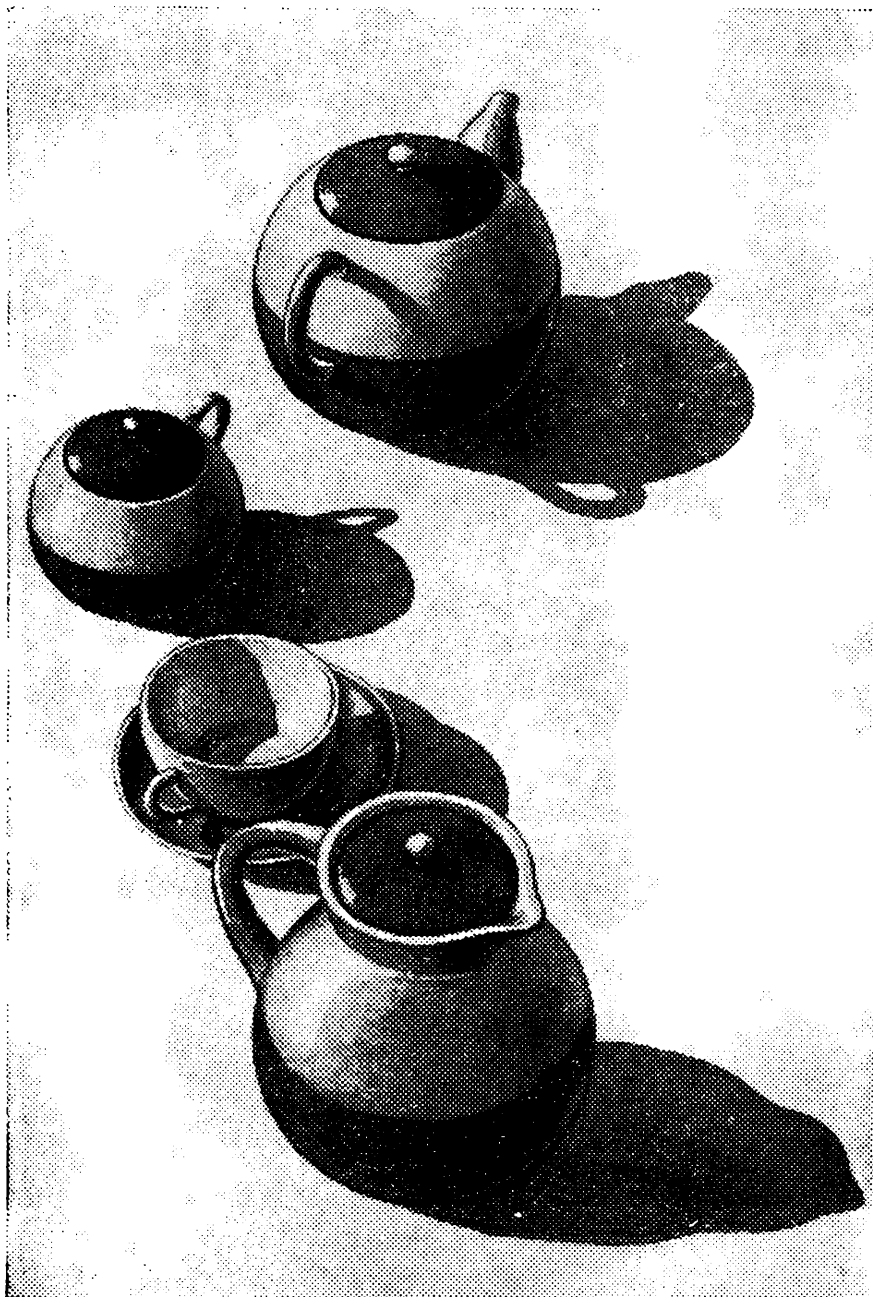


Рис. 160

перспективных изображений. Сущность этого метода изложена в третьем разделе «Линейная перспектива». Во втором разделе «Проекционное черчение» используют только параллельное проецирование.

Сущность метода параллельного проецирования заключается в следующем. В пространстве задают плоскость проекций P и направление проецирования N (рис. 161). Изображение предмета, например параллелепипеда, на плоскости P строят с помощью *проецирующих прямых*, параллельных направлению проецирования N . Совокупность точек пересечения этих прямых с плоскостью P представляет собой параллельную проекцию параллелепипеда. Плоскость P , на которой строят проекцию предмета, называется *плоскостью проекций*. При таком методе проецирования проекции взаимно параллельных и равных между собой отрезков прямых параллельны и равны между собой (например, проекции ab и cd

взаимно параллельных ребер параллелепипеда AB и CD на рис. 161).

В зависимости от угла φ наклона проецирующих прямых к плоскости проекций P параллельные проекции делят на *косоугольные* $\varphi \neq 90^\circ$ (рис. 161) и *прямоугольные* $\varphi = 90^\circ$ (рис. 162).

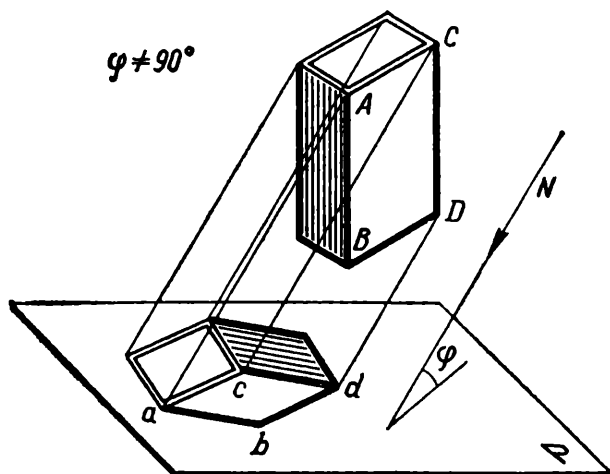


Рис. 161

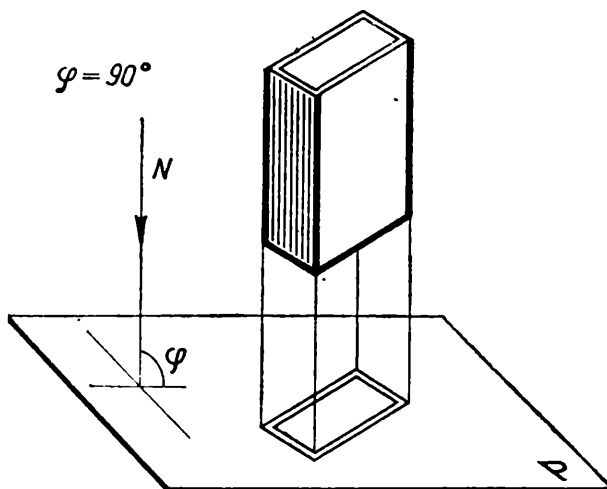


Рис. 162

На основе параллельного проецирования строят изображения, широко применяемые в технике. К ним относятся аксонометрические проекции, получаемые проецированием на одну плоскость, построение которых рассмотрено в гл. 8, и прямоугольные (ортогональные) проекции на две и большее число взаимно перпендикулярных плоскостей (см. рис. 163).

Рассмотрим построение проекций предмета методом прямоугольного проецирования. Зададим три взаимно перпендикулярные плоскости (рис. 163, а). Одну из них принято располагать горизонтально. Ее называют *горизонтальной плоскостью проекций* и обозначают буквой H . Две другие плоскости — вертикальные. Одну

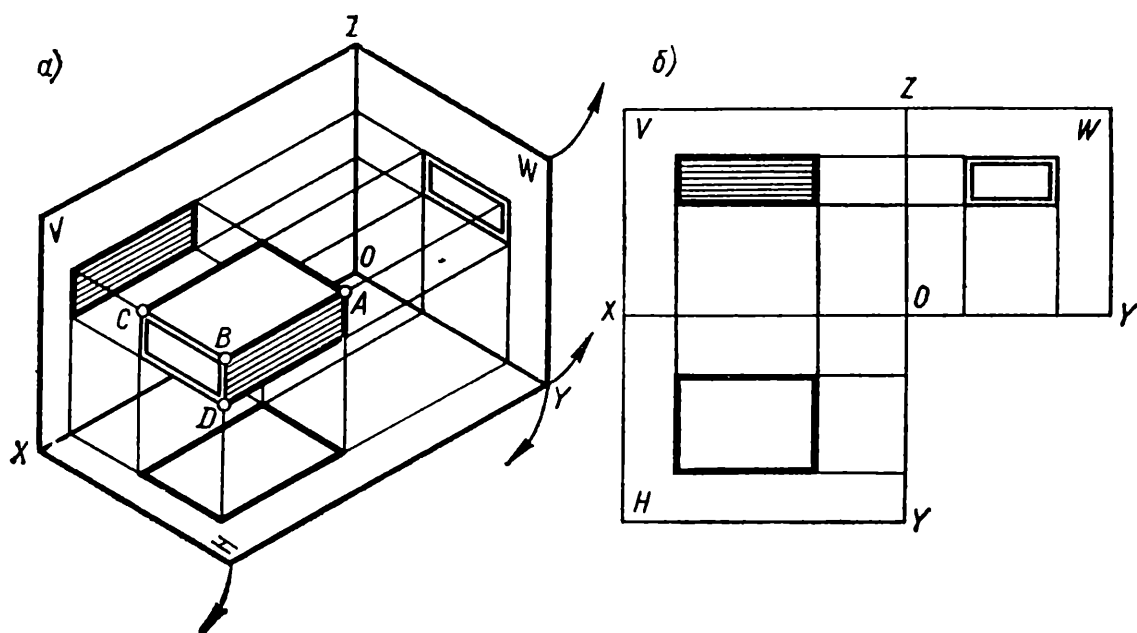


Рис. 163

из них называют *фронтальной плоскостью проекций*, другую — *профильной плоскостью проекций* и обозначают соответственно буквами V и W . Линии пересечения плоскостей называют осями проекций и обозначают буквами X , Y и Z . Точку пересечения осей проекций обозначают буквой O . Три взаимно перпендикулярные плоскости проекций, которые сокращенно называют H , V и W , образуют систему прямоугольных плоскостей проекций.

В трехгранный угол, образованный плоскостями проекций, помещают предмет и располагают его относительно плоскостей проекций так, чтобы получить изображение предмета с минимальным искажением формы и размеров. Для этого основные измерения предмета (длина, ширина и высота) должны быть параллельны плоскостям проекций. Например, у параллелепипеда (рис. 163, *а*) его длина AB параллельна плоскостям H и V , ширина BC — плоскостям H и W и высота BD — плоскостям V и W .

Проекция предмета получают в результате пересечения проецирующих прямых, проведенных перпендикулярно плоскостям H , V и W , с соответствующими плоскостями проекций. Изображение предмета, полученное на плоскости H , называется *горизонтальной проекцией*, на плоскости V — *фронтальной проекцией* и на плоскости W — *профильной проекцией*.

Полученные проекции имеют существенный недостаток — они ненаглядны, так как на любой проекции изображено только два измерения предмета. В то же время эти проекции имеют преимущества: длина проекций ребер предмета, параллельных основным его измерениям равна длине самих ребер; на проекциях не искажена форма и размеры граней предмета, параллельных плоскостям проекций. Благодаря этим преимуществам можно измерять размеры по проекциям изображенного предмета.

Чтобы судить о трех измерениях предмета, необходимо иметь две его проекции. Сочетание проекций может быть разным и определяется формой и положением предмета. Для предметов сложной формы необходимы дополнительные проекции, чтобы показать видимыми линиями все формообразующие элементы предмета.

Переход к плоскому изображению осуществляется путем совмещения плоскостей проекций H и W с плоскостью V . При этом плоскость H поворачивают вокруг оси X , а плоскость W — вокруг оси Z в направлении, указанном на рис. 163, *а* стрелками. Совмещенные плоскости проекций вместе с проекциями параллелепипеда изображены на рис. 163, *б*. Линии, соединяющие между собой проекции, называют *линиями связи проекций*. Линии связи всегда перпендикулярны осям проекций.

Условные границы плоскостей, обозначения плоскостей и линии связей проекций предмета на изображении его обычно не показывают. Оси проекций также можно не наносить, так как при параллельном проецировании расстояние от плоскости проекций до изображаемого предмета не влияет на очертание его проекций (рис. 164). Следовательно, проекции можно располагать на произвольном расстоянии, сохраняя между ними проекционную связь

(рис. 165). При необходимости каких-либо дополнительных построений линии связи восстанавливают, а для перехода от горизонтальной проекции к профильной и обратно проводят так называемую постоянную прямую проекций (чертежа). Построение ее показано на рис. 165.

Изображения предмета, полученные методом параллельного прямоугольного проецирования, позволяют мысленно представить форму и положение предмета в пространстве. При этом как бы происходит процесс, обратный процессу проецирования, называемый *чтением проекций*. Поэтому, для того чтобы уметь читать проекции предмета, необходимо хорошо знать метод проецирования. Кроме того, надо иметь пространственные воображения, так как процесс чтения

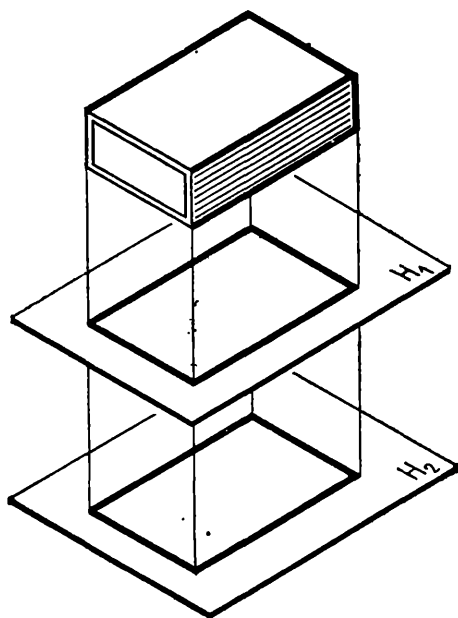


Рис. 164

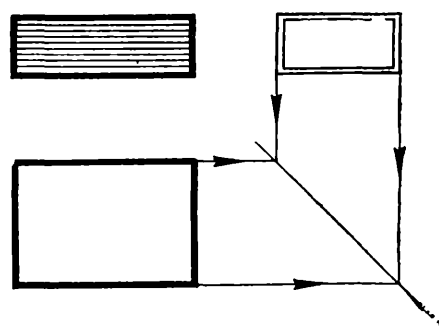


Рис. 165

проекций вызывает усиленную работу пространственного воображения.

Прежде чем приступить к проецированию отдельных геометрических тел, а также к чтению их проекций, следует познакомиться с проецированием и чтением проекций простейших геометрических фигур, из которых они состоят. К ним относятся точки (вершины многогранников и конусов), линии (ребра и образующие), плоские фигуры (грани и основания).

§ 26. ПРОЕЦИРОВАНИЕ ТОЧКИ

В прямоугольную систему плоскостей проекций поместим параллелепипед и выделим одну из его вершин, обозначив ее буквой A (рис. 166, а). Через точку A проведем три проецирующие прямые, перпендикулярные плоскостям проекций H , V и W . Каждая проецирующая прямая, пересекаясь с плоскостью проекций, определит одну проекцию точки A : горизонтальную — a фронтальную — a' и профильную — a'' . Точки пересечения линий связи с осями проекций обозначают a_x , a_y , a_z .

Расположение проекций точки A после совмещения плоскостей проекций показано на рис. 166, б. Ось Y и точка a_y отмечены два раза, так как они одновременно принадлежат плоскостям проекций H и W . После совмещения две любые проекции одной и той же точки принадлежат одной линии связи.

В пространстве расстояния от точки A до плоскостей H , V и W измеряются отрезками проецирующих прямых: Aa , Aa' , и Aa'' . На проекциях имеются равные им отрезки линий связи: $Aa = a'a_x = a''a_y$; $Aa' = aa_x = a''a_z$; $Aa'' = aa_y = a'a_z$. Таким образом, по проекциям точки можно судить о ее расстояниях до плоскостей проекций.

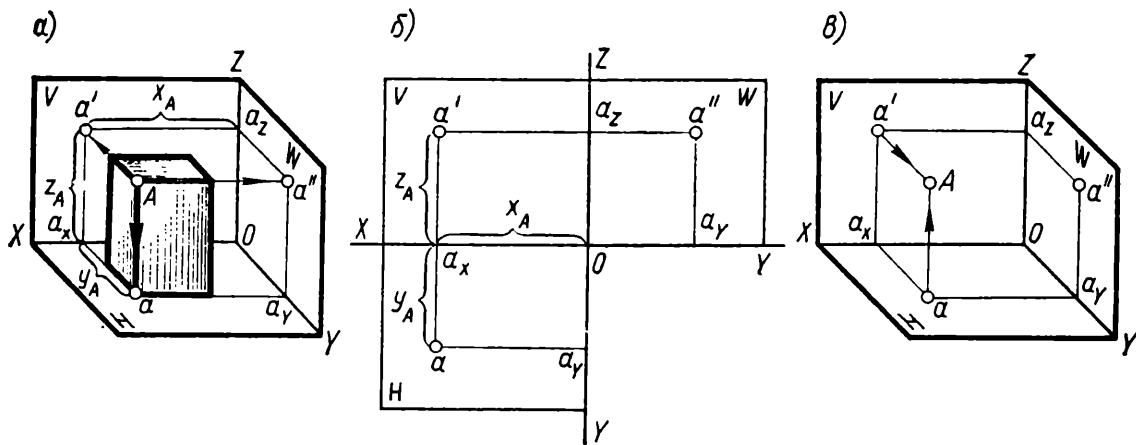


Рис. 166

Расстояния от точки A до плоскостей проекций могут быть также выражены через ее координаты: x_A , y_A , z_A . Для этого точку O пересечения осей проекций принимают за начало координат и оси координат совмещают с осями проекций. Тогда плоскости проекций являются одновременно и плоскостями координат.

Положение точки или любой геометрической фигуры задано, если имеются две проекции фигуры. Действительно, если из двух любых проекций точки A , например, горизонтальной и фронтальной (рис. 166, в) восставить перпендикуляры к соответствующим плоскостям проекций, то они пересекутся в единственной точке, которая и определит положение заданной точки A .

Третья проекция точки (фигуры) в случае необходимости всегда может быть построена по двум заданным. Чаще всего точку (геометрическую фигуру) задают горизонтальной и фронтальной проекциями, а строят профильную. Для построения профильной проекции точки используют один из приемов, приведенных на рис. 167.

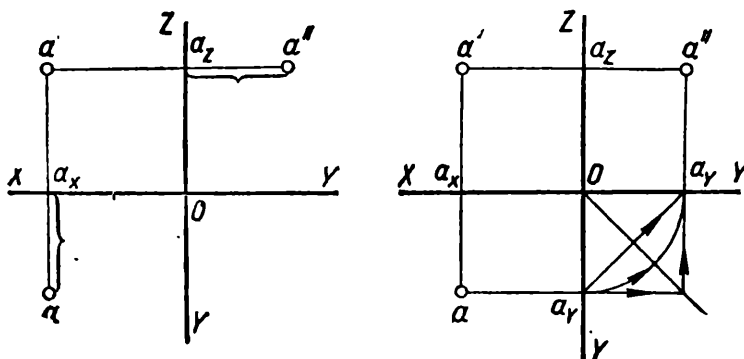


Рис. 167

В частных случаях проецируемая точка может принадлежать плоскости проекций. Тогда одна ее проекция совпадает с самой точкой, а остальные лежат на осях проекций. Например, точка B (рис. 168, а) принадлежит плоскости H и ее горизонтальная проекция b совпадает с самой точкой. Фронтальная проекция b'

расположена на оси X , а профильная b'' — на оси Y . У точки C , принадлежащей плоскости V (рис. 168, б), фронтальная проекция c' совпадает с самой точкой, а на осях проекций расположены ее горизонтальная c и профильная c'' проекции.

Проекции точки D (рис. 168, в), заданной на плоскости W , постройте самостоятельно.

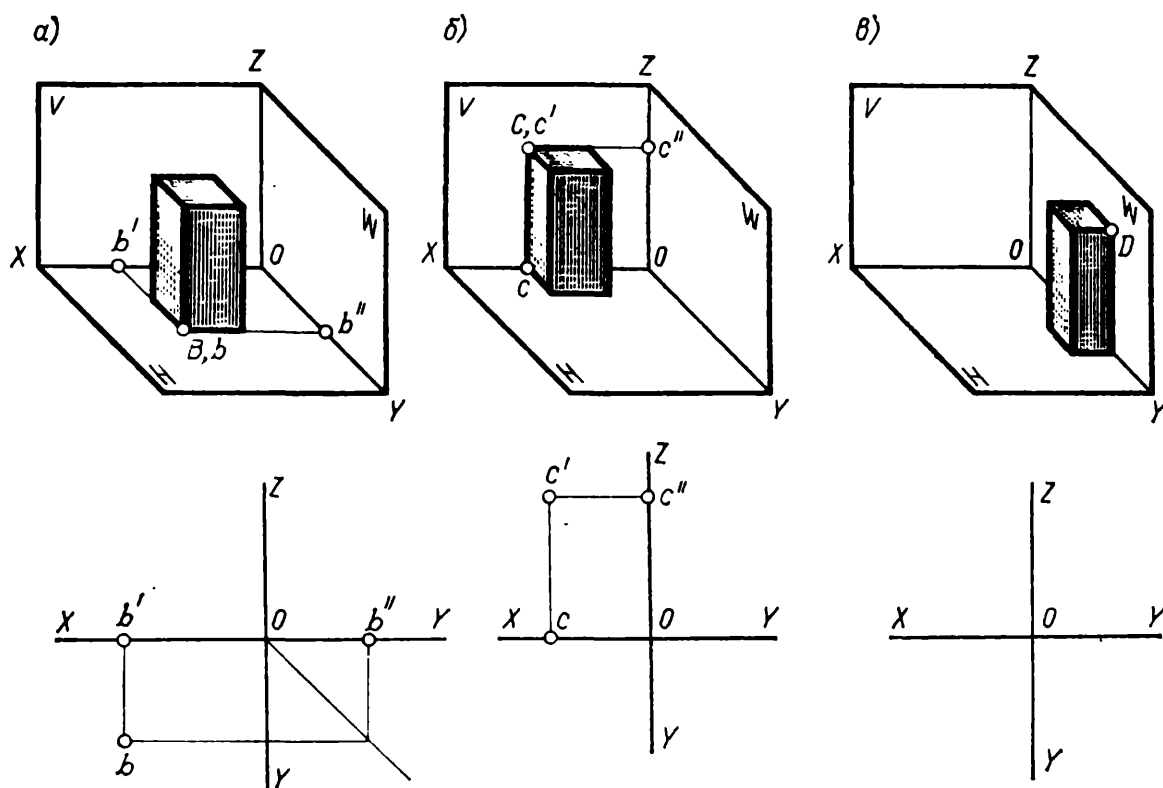


Рис. 168

Построение проекций точки по ее координатам. Пусть точка A задана координатами $x_A=30$, $y_A=20$ и $z_A=45$ (координаты точек обычно задают в мм). Сокращенно координаты точки записывают так: $A(30; 20; 45)$.

Вначале по координатам строят горизонтальную и фронтальную проекции точки A (рис. 169, а): Для этого по оси X откладывают отрезок $Oa_x=x_A=30$ и получают точку a_x . Через нее проводят прямую, перпендикулярную оси X , и, отложив от точки a_x вниз отрезок $aa_x=y_A=20$ и вверх отрезок $a'a_x=z_A=45$, получают две проекции (a, a') точки A . Затем строят профильную проекцию точки A . Последовательность построения координат может быть любой, т. е. можно начать с построения координаты y_A или z_A .

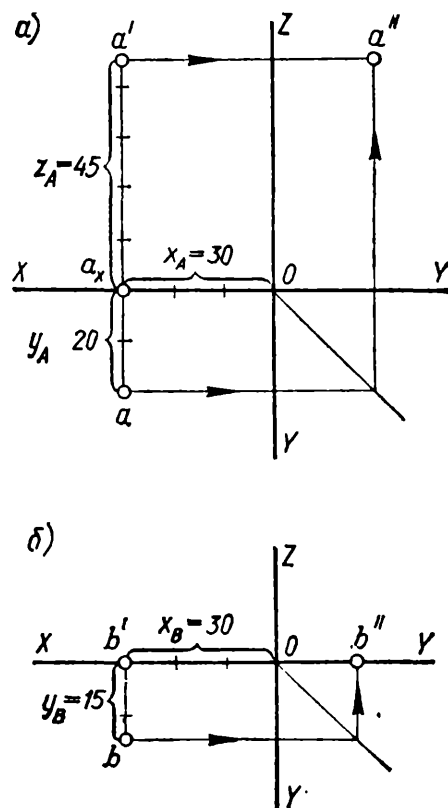


Рис. 169

По проекциям точки надо уметь мысленно восстанавливать ее положение относительно плоскостей проекций. Точка A удалена от плоскостей проекций, так как ни одна из ее проекций не лежит на оси проекций. Точка A расположена ближе всего к плоскости V , так как ее координата y_A , определяющая это расстояние, наименьшая. Над плоскостью H точка приподнята на 45 мм, а от плоскости W она удалена на 30 мм.

Если точка принадлежит плоскости проекций, то одна из ее координат равна 0. Например, точка B (30; 15; 0) имеет координату $z_B=0$ (рис. 169, б). Следовательно, она принадлежит плоскости H . Для построения проекций точки B по оси X откладывают отрезок $Ob' = x_B = 30$ и получают точку b' . Из точки b' проводят прямую, параллельную оси Y , и, отложив на ней отрезок $b'b = y_B = 15$, получают точку b . Затем строят точку b'' .

Контрольные вопросы и упражнения. 1. Как обозначаются проекции точки на плоскостях H , V , W ? 2. Какими отрезками измеряется на проекциях расстояние от точки до плоскостей H , V , W ? 3. Как определить по проекциям точки, удалена ли она от плоскости H или находится на ней? 4. По заданным координатам точек A , B и C постройте их проекции и определите, как расположена каждая из точек относительно плоскостей проекций. Координаты точек: A (30; 30; 15), B (0; 35; 35); C (20; 40; 10).

§ 27. ПРОЕКЦИРОВАНИЕ ОТРЕЗКА ПРЯМОЙ ЛИНИИ

Положение прямой линии в пространстве определяется положением двух ее точек. Поэтому, чтобы спроецировать прямую линию (рис. 170, а), достаточно построить проекции двух любых ее точек (A и B) и соединить прямыми линиями их одноименные проекции ($a'b'$ и $a''b''$). Построение третьей проекции прямой линии по двум данным сводится к построению третьей проекции каждой из двух точек, задающих прямую линию (рис. 170, б). Прямую линию обычно называют просто прямой, а ее отрезок — отрезком прямой или сокращенно отрезком.

Различные положения отрезка прямой линии. Прямые линии могут занимать относительно плоскостей проекций частное положение (проецирующие прямые, прямые уровня) и общее.

Проецирующие прямые линии — прямые, перпендикулярные какой-либо плоскости проекций. Прямая, перпендикулярная плоскости H , называется *горизонтально-проецирующей*, перпендикулярная плоскости V — *фронтально-проецирующей* и перпендикулярная плоскости W — *профильно-проецирующей*.

На рис. 171, а изображен цилиндр, образующие которого являются отрезками горизонтально-

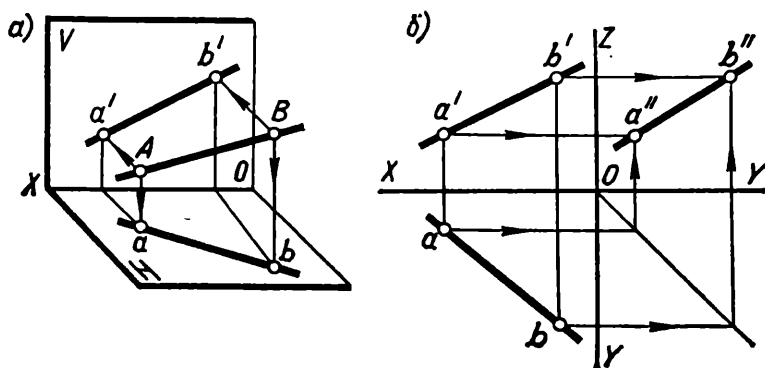


Рис. 170

проецирующих прямых. Проекции одной из них (AB) показаны на рис. 171, б. Образующая AB проецируется на плоскость H в виде точки $a(b)$, а на плоскости V и W без искажения в виде отрезков $a'b'$ и $a''b''$, поскольку образующая AB параллельна этим плоскостям проекций. Горизонтальная проекция точки B взята в скобки, так как при проецировании на плоскость H она находится под точкой A и невидима. Проекция отрезка фронтально-проецирующей прямой (ребро CD параллелепипеда) показаны на рис. 172, а профильно-проецирующей прямой (боковое ребро EF треугольной призмы) — на рис. 173.

Приведенные примеры позволяют сделать выводы, что отрезок прямой, перпендикулярной плоскости проекций, проецируется на нее в виде точки, а на две другие — без искажения.

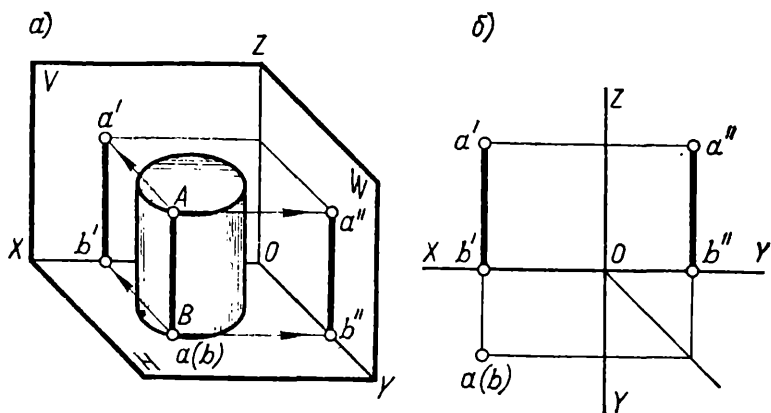


Рис. 171

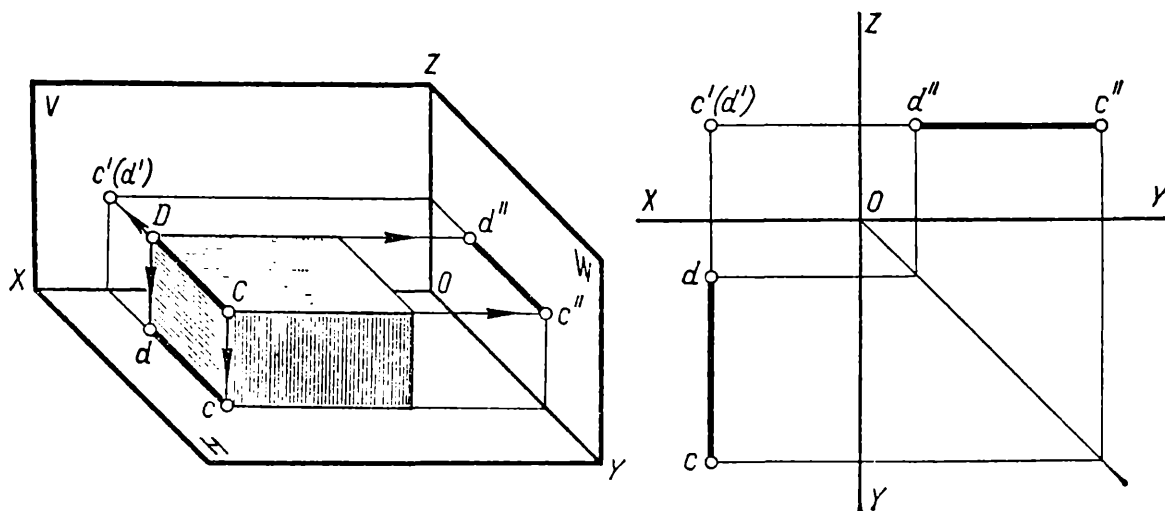


Рис. 172

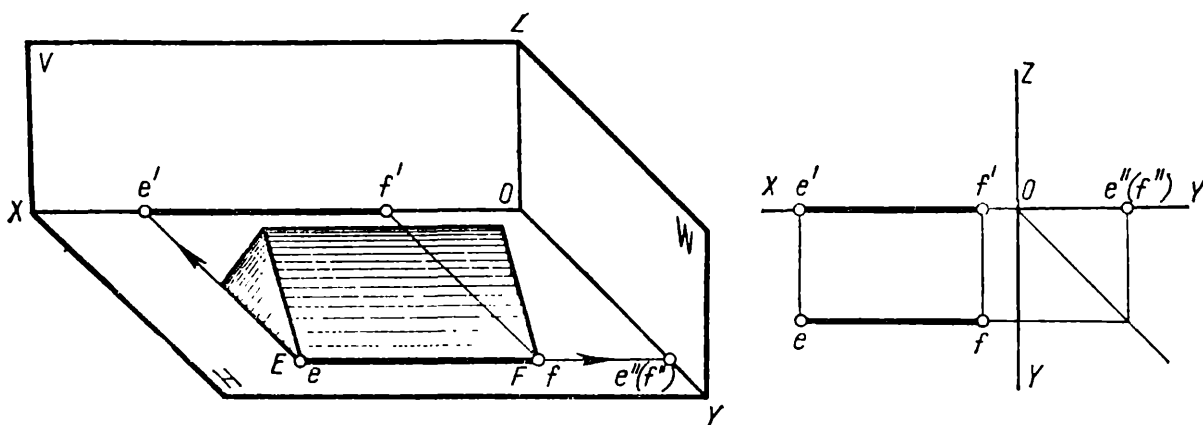


Рис. 173

Прямые линии уровня — прямые, параллельные одной плоскости проекций и наклоненные к двум другим.

Прямая, параллельная плоскости H , называется *горизонтальной* прямой. Например, гипотенуза AB прямоугольного треугольника на рис. 174 — отрезок горизонтальной прямой. Все ее точки удалены от плоскости H на одинаковое расстояние, поэтому ее проекции $a'b' \parallel X$ и $a''b'' \parallel Y$. На плоскость H отрезок AB проецируется без искажения, т. е. $|ab| = |AB|$, а углы между его горизонтальной проекцией ab и осями X и Y равны углам между самим отрезком AB и плоскостями V и W .

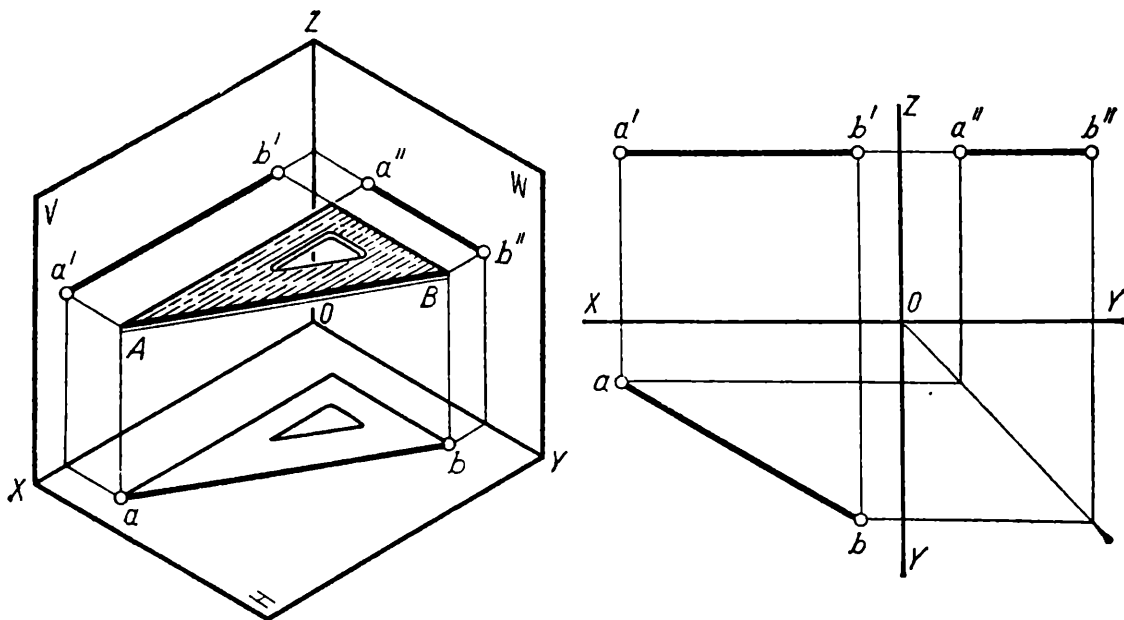


Рис. 174

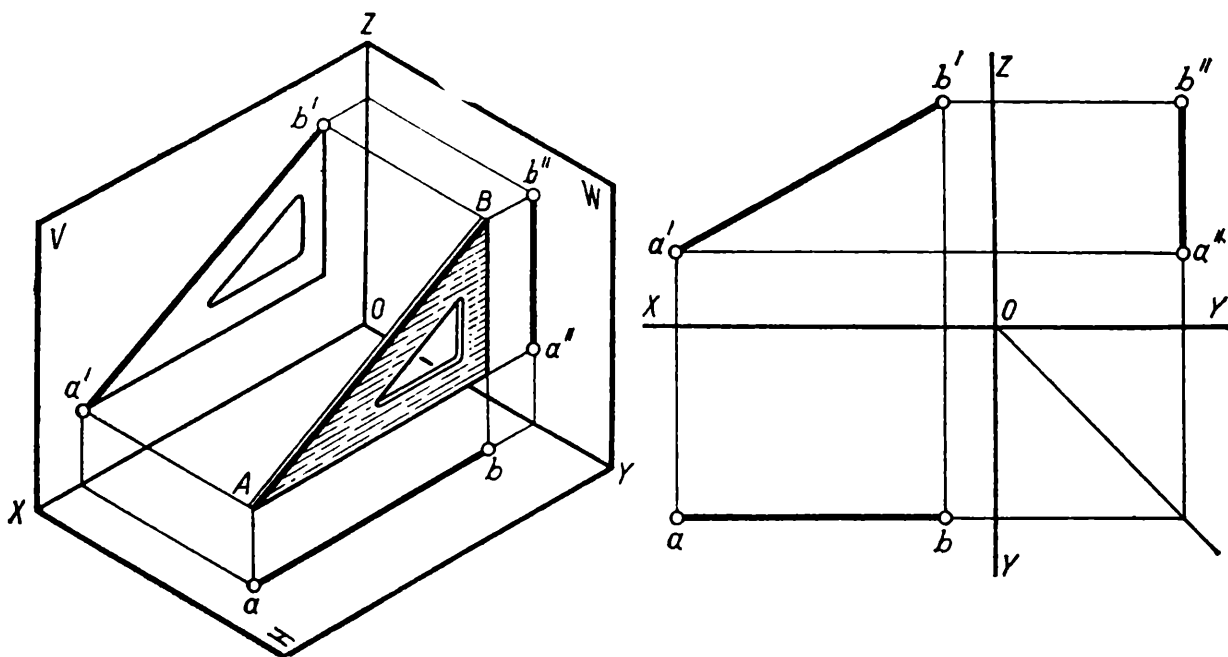


Рис. 175

Прямая, параллельная плоскости V (рис. 175), называется *фронтальной* прямой. Отрезок фронтальной прямой проецируется без искажения на плоскость V ($|a'b'| = |AB|$). Его горизонтальная

проекция $ab \parallel X$, а профильная $a''b'' \parallel Z$. О наклоне фронтального отрезка к плоскостям H и W судят по углам между его фронтальной проекцией $a'b'$ и соответственно осями X и Z .

Прямая, параллельная плоскости W (рис. 176), называется *профильной* прямой. Все точки профильной прямой удалены на одинаковое расстояние от плоскости W , поэтому $ab \parallel Y$ и $a'b'' \parallel Z$.

Дальнейший анализ проекций отрезка профильной прямой проведите самостоятельно по аналогии с другими отрезками уровня.

Разобранные примеры позволяют сделать вывод, что отрезок прямой уровня и углы наклона его к плоскостям проекций проецируются без искажения на ту плоскость, которой отрезок параллелен.

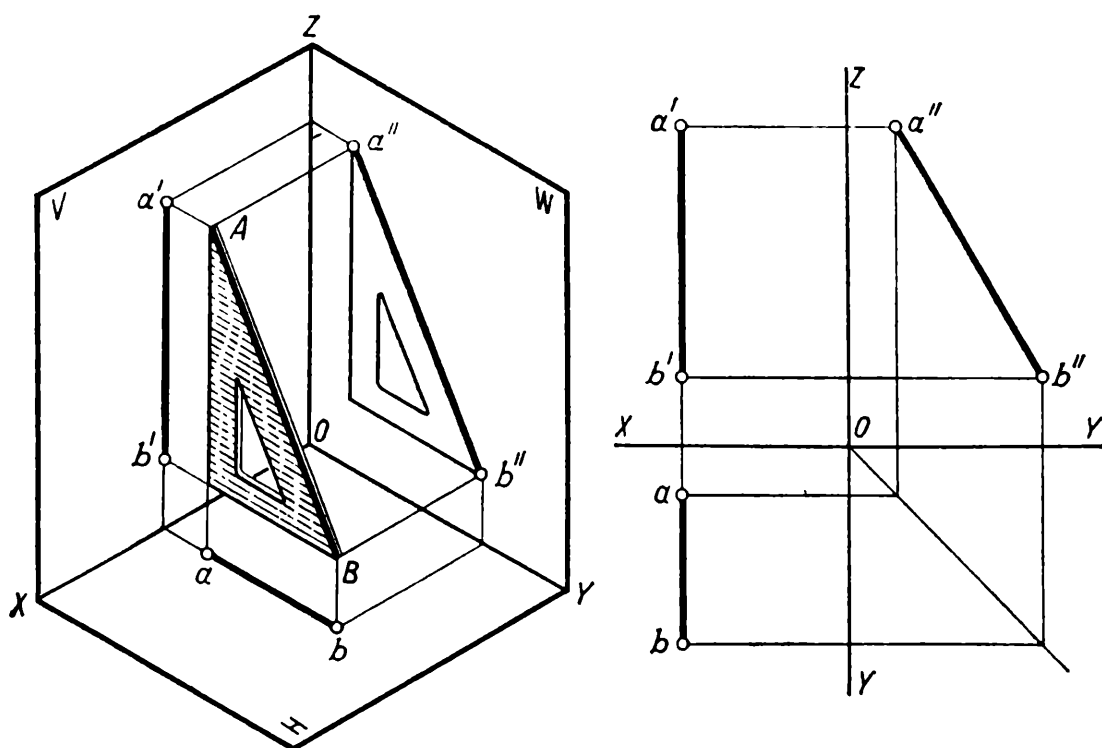


Рис. 176

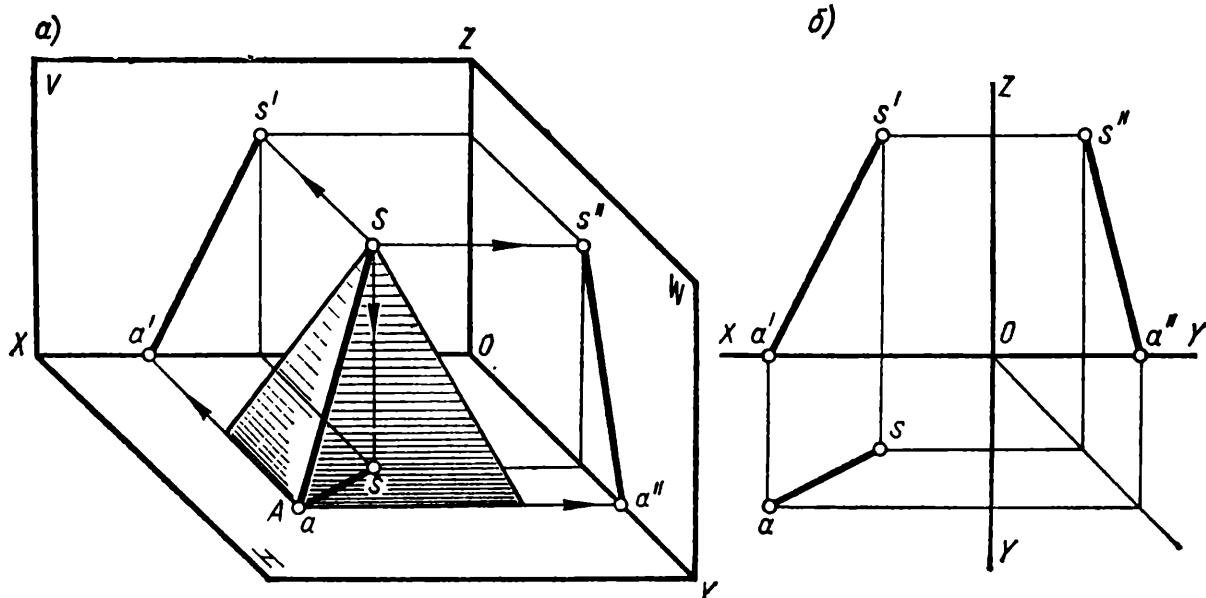


Рис 177

Прямые линии общего положения — прямые, не параллельные ни одной из плоскостей проекций. Например, так расположено боковое ребро SA четырехугольной пирамиды на рис. 177, *а*. Проекция отрезка прямой общего положения короче самого отрезка (рис. 177, *б*), так как он наклонен к плоскостям проекций. На проекциях также искажены его углы наклона к плоскостям проекций. Таким образом, по проекциям отрезка прямой общего положения нельзя измерить его длину или определить

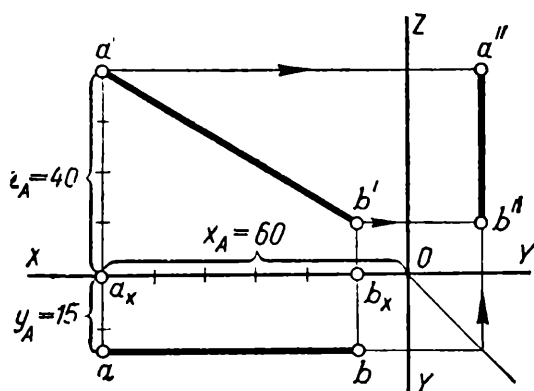


Рис. 178

размер углов наклона его к плоскостям проекций. Для определения значения этих величин нужны дополнительные построения, которые рассмотрены в § 30.

Построение проекций отрезка прямой линии по его координатам. Пусть отрезок AB задан координатами его концов: $A(60; 15; 40)$ и $B(10; 15; 10)$. От точки O по оси X откладывают координаты $x_A = 60$ и $x_B = 10$ и получают точки a_x и b_x (рис. 178). Через эти точки проводят вертикальные линии связи и по

ним вниз от точек a_x и b_x откладывают координаты $y_A = y_B = 15$, а вверх — координаты $z_A = 40$ и $z_B = 10$. Соединив прямыми одноименные проекции точек A и B , получают горизонтальную ab и фронтальную $a'b'$ проекции отрезка AB . Профильную проекцию отрезка строят по его горизонтальной и фронтальной проекциям.

Определим по проекциям отрезка AB его положение относительно плоскостей проекций. Для чего рассмотрим взаимное положение проекций отрезка и осей X, Y, Z . О положении отрезка относительно плоскости V судят по его горизонтальной проекции. У отрезка AB горизонтальная проекция $ab \parallel X$. Следовательно, все точки отрезка удалены от плоскости V на одинаковое расстояние (15 мм), т. е. $AB \parallel V$. Положение отрезка относительно плоскости H определяют по его фронтальной проекции $a'b'$, которая в данном случае наклонена к оси X . Следовательно, отрезок AB наклонен к плоскости H . Отрезок AB наклонен также к плоскости W , так как его фронтальная проекция $a'b'$ составляет с осью Z некоторый угол.

Таким образом, построенный отрезок AB параллелен плоскости V и наклонен к плоскостям H и W , т. е. это отрезок фронтальной прямой.

Взаимное положение отрезка прямой и точки. Точка принадлежит прямой, если проекции точки принадлежат одноименным проекциям прямой. В этом можно убедиться на следующем примере. Возьмем плоскость H и три отрезка прямых (рис. 179, *а*): BC — общего положения, DE — горизонтальный и FK — горизонтально-проецирующий. На каждом отрезке зададим точку A . Построив горизонтальные проекции отрезков и точек A , увидим, что во всех

случаях проекция точки A расположена на проекции соответствующего отрезка. Если вместо плоскости H задать плоскость V или W , то и для них это положение справедливо. Таким образом, по проекциям точки и прямой (отрезка) всегда можно судить об их взаимном положении.

Определим взаимное положение отрезка AB и точек C и D (рис. 179, б). Все проекции точки D расположены на одноименных проекциях отрезка AB , поэтому точка D принадлежит отрезку AB .

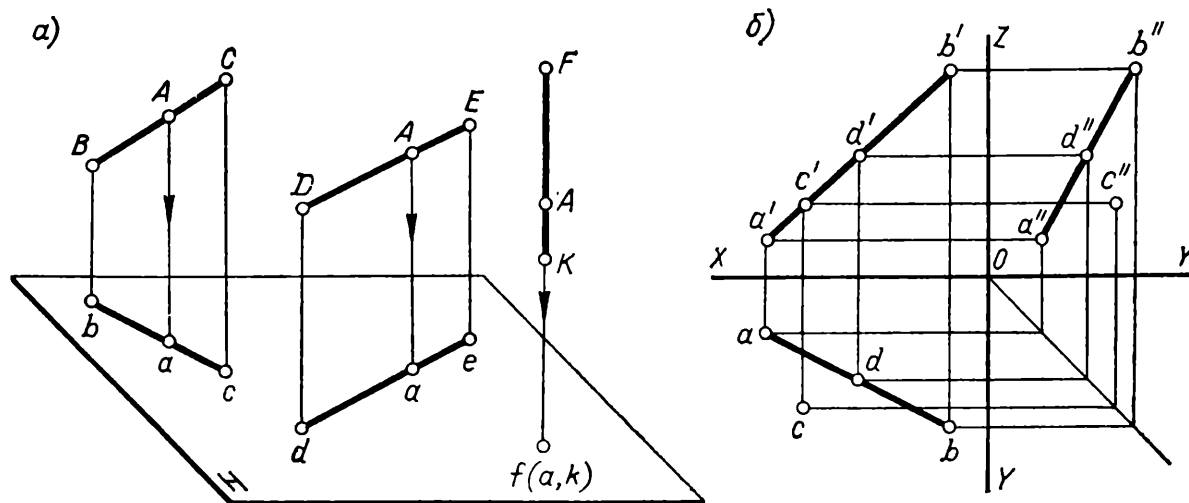


Рис. 179

У точки C только фронтальная проекция принадлежит фронтальной проекции отрезка AB , следовательно, точка C расположена вне отрезка AB .

Контрольные вопросы и упражнения. 1. Какие прямые называются проецирующими и какие прямыми уровня? 2. Определите, от какой плоскости проекций — H или W — отрезок CD удален на большее расстояние (рис. 172). 3. Определите по проекциям (рис. 173) расстояние от точки E до каждой плоскости проекций. 4. Установите по рис. 175 положение катетов угольника относительно плоскостей проекций и постройте их проекции. 5. Объясните, почему у отрезка профильной прямой AB (рис. 176) фронтальная проекция $a'b'$ длиннее горизонтальной ab . 6. Постройте проекции прямой AB по координатам двух ее точек: $A(35; 20; 0)$, $B(5; 40; 25)$. Определите, как расположена прямая AB относительно плоскостей H, V, W .

§ 28. ВЗАИМНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ДВУХ ПРЯМЫХ ЛИНИЙ

Прямые линии или их отрезки могут занимать относительно друг друга следующие положения: быть параллельными, пересекаться или скрещиваться. О взаимном положении двух прямых (отрезков) судят по расположению их проекций.

Параллельные прямые. Если прямые параллельны, то их одноименные проекции параллельны между собой. Например, прямые общего положения AB и CD (рис. 180) параллельны, так как их одноименные проекции параллельны между собой $ab \parallel cd$, $a'b' \parallel c'd'$ и $a''b'' \parallel c''d''$. Примером параллельных отрезков прямых могут служить боковые ребра призм, образующие цилиндров.

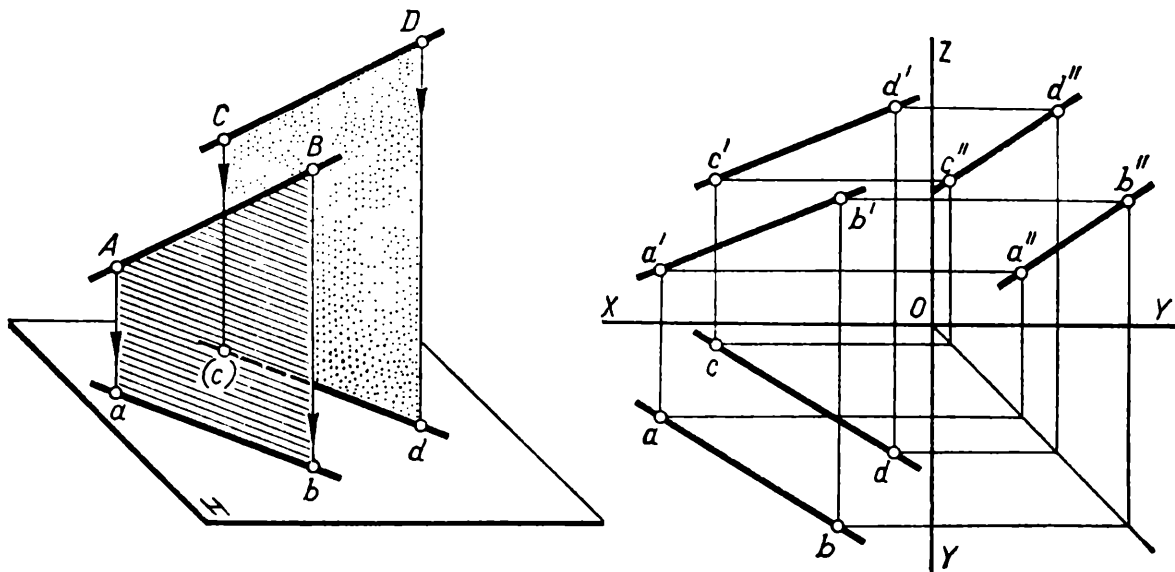


Рис. 180

Пересекающиеся прямые. Если две прямые пересекаются, то их одноименные проекции также пересекаются и точки пересечения любой пары одноименных проекций располагаются на общей для них линии связи. Такие прямые показаны на рис. 181. Прямые общего положения AB и CD пересекаются между собой, поскольку точки пересечения горизонтальных и фронтальных проекций прямых (k, k'), горизонтальных и профильных (k, k''), фронтальных и профильных (k', k'') лежат на общих линиях связи. Примерами пересекающихся отрезков прямых являются две смежные стороны любого многоугольника или ребра многогранника, сходящиеся в одной вершине.

Скрещивающиеся прямые. Если две прямые не параллельны друг другу и не пересекаются, то, следовательно, они скрещиваются (рис. 182). Одноименные проекции скрещивающихся прямых могут пересекаться, но в отличие от пересекающихся прямых пара точек пересечения одноименных проекций не лежит на общей линии связи. Это происходит потому, что точка пересечения одно-

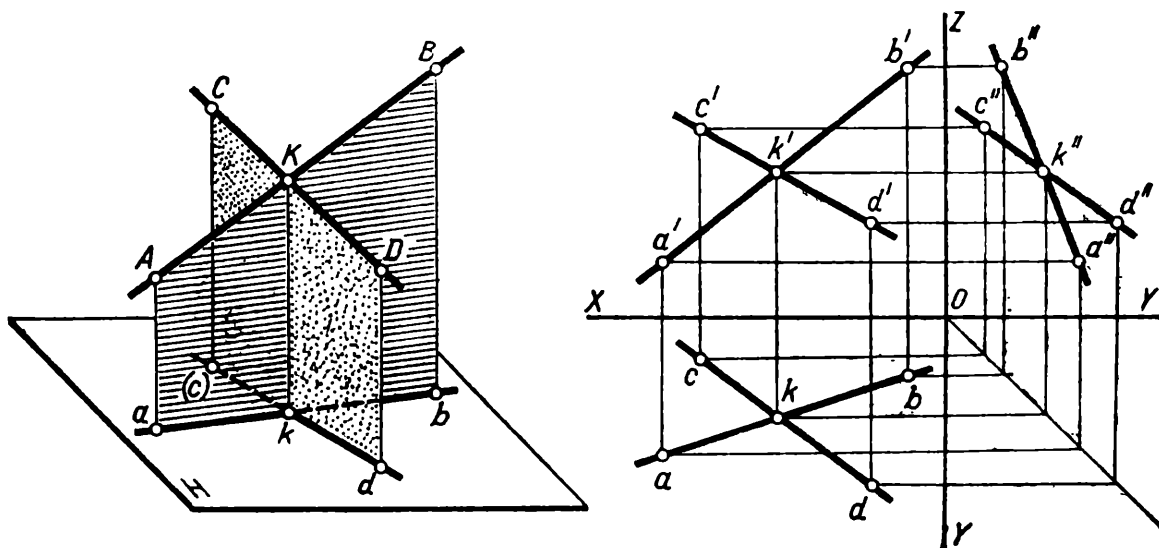


Рис. 181

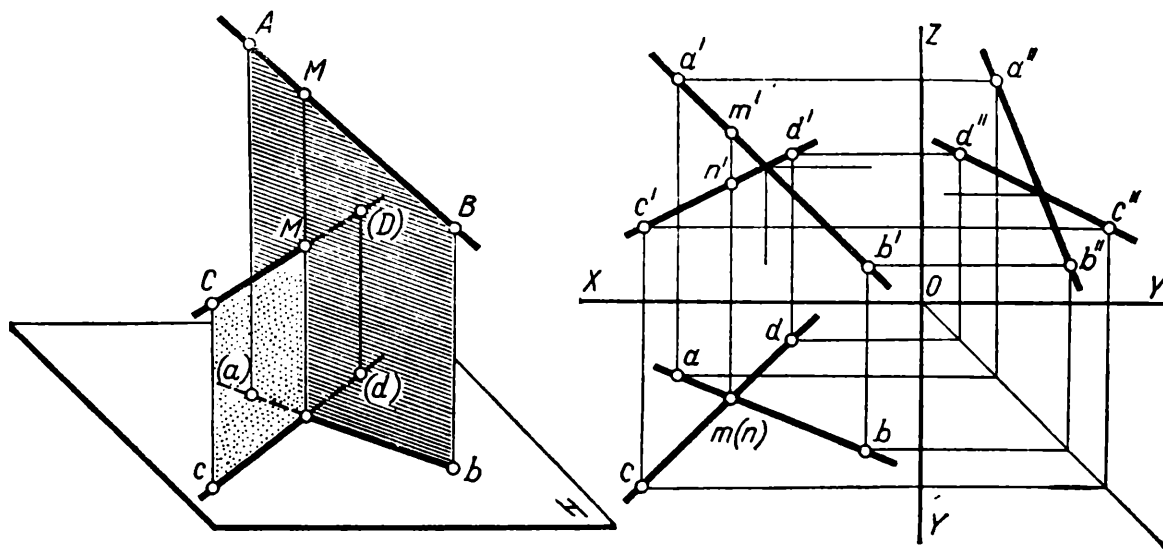


Рис. 182

менных проекций скрещивающихся прямых представляет собой проекцию двух точек. Например, точка пересечения горизонтальных проекций ab и cd является проекцией двух точек — M и N . Точка M расположена на прямой AB , а точка N находится под ней и принадлежит прямой CD .

Контрольные вопросы и упражнения.

1. Как расположены одноименные проекции двух параллельных прямых? 2. Какие прямые называются скрещивающимися? Что представляет собой точка пересечения проекций двух скрещивающихся прямых? 3. Постройте проекции ребер AB и CD треугольной призмы (рис. 183); опишите их взаимное положение и как они расположены относительно плоскостей проекций; укажите для каждого ребра, на какой проекции не искажена его длина.

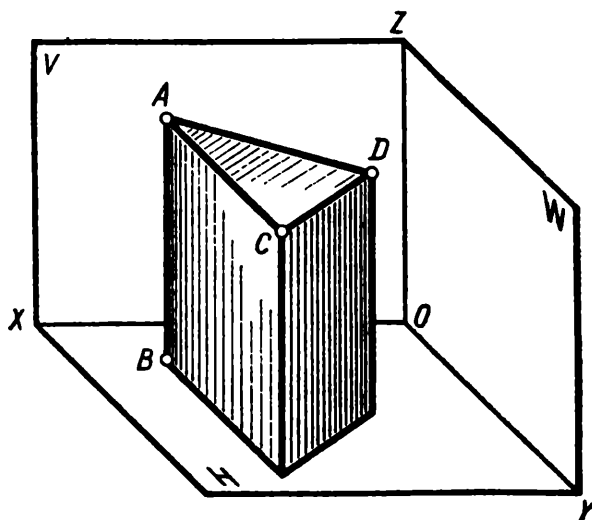


Рис. 183

§ 29. ПРОЕКЦИРОВАНИЕ ПЛОСКОСТИ

Положение плоскости в пространстве определяют три точки плоскости, не лежащие на одной прямой. Следовательно, чтобы задать проекции какой-либо плоскости P , достаточно построить проекции трех произвольных ее точек A , B и C , не лежащих на одной прямой (рис. 184).

Способы задания плоскости. Если через точки A , B и C (см. рис. 184) провести две пересекающиеся (параллельные) прямые или, последовательно соединив их прямыми, построить треугольник, то проекциями этих прямых и треугольника будет задана та же плоскость P . Таким образом, проекции плоскости могут быть заданы несколькими способами. Однако чаще всего плоско-

сти задают такими фигурами, как треугольники, трапеции, круги, эллипсы и др. Эти плоские фигуры можно рассматривать как грани призм и пирамид, основания цилиндров и конусов, а также грани и срезы предметов или деталей. В качестве примера на рис. 185 плоскость задана треугольником SAB , который является гранью пирамиды.

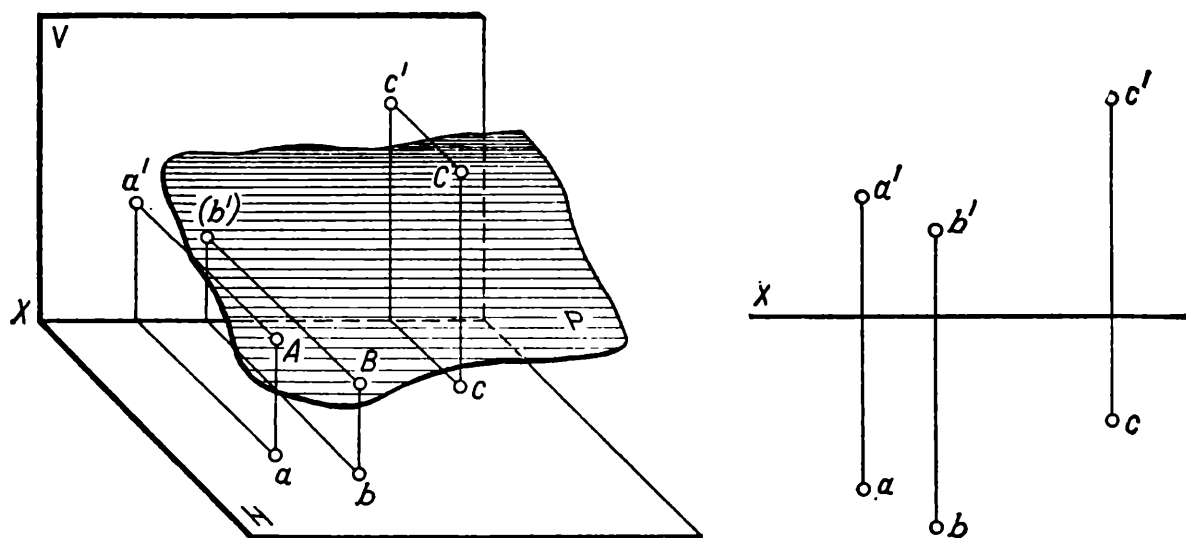


Рис. 184

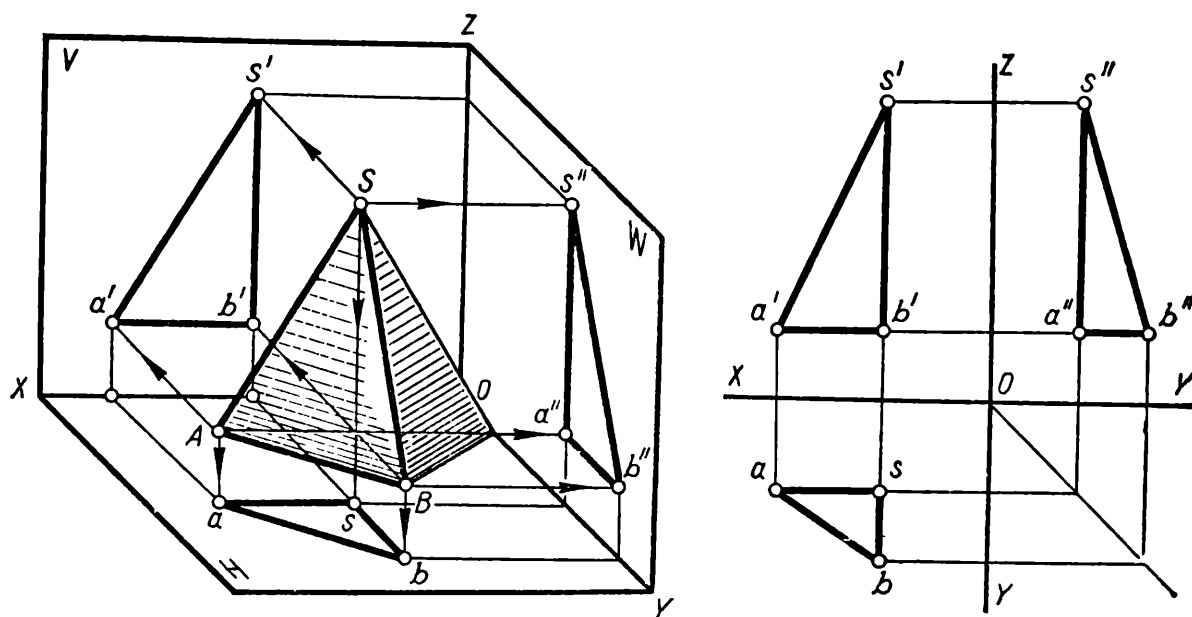


Рис. 185

Различные положения плоскости. В зависимости от положения заданных плоскостей относительно плоскостей проекций их делят на плоскости общего и частного положения (плоскости уровня и проецирующие плоскости).

Плоскости общего положения — плоскости, наклоненные ко всем плоскостям проекций. Плоская фигура, занимающая общее положение (см. рис. 185), проецируется на все плоскости проекций с искажением.

Плоскости уровня — плоскости, параллельные одной плоскости проекций и перпендикулярные двум другим. По числу плоскостей проекций различают три вида плоскостей уровня.

Плоскость, параллельную плоскости H , называют *горизонтальной плоскостью* (рис. 186, а). Горизонтальная плоскость, перпендикулярна плоскостям проекций V и W и проецируется на них в виде прямых, параллельных осям проекций X и Y (рис. 186, б) *.

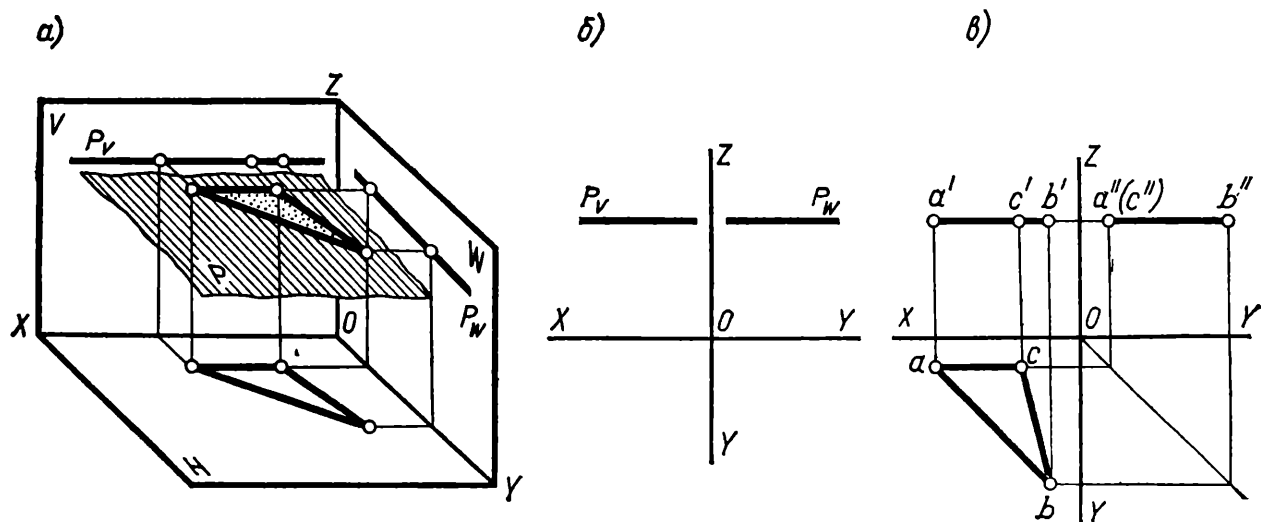


Рис. 186

На рис. 186, в та же плоскость P задана проекциями треугольника ABC . Любая фигура, принадлежащая горизонтальной плоскости, например $\triangle ABC$, проецируется без искажения на плоскость H , т. е. $|\triangle abc| = |\triangle ABC|$.

Плоскость, параллельную плоскости V , называют *фронтальной плоскостью* (рис. 187, а). Фронтальная плоскость перпендикулярна плоскостям проекций H и W . Ее горизонтальная проекция Q_H параллельна оси X , а профильная Q_W — оси Z (рис. 187, б). На рис. 187, в фронтальная плоскость Q задана плоской фигурой. Фигура, принадлежащая фронтальной плоскости, проецируется без искажения на плоскость V , например квадрат $ABCD$.

Плоскость, параллельную плоскости W , называют *профильной плоскостью* (рис. 188, а). Профильная плоскость перпендикулярна плоскостям проекций H и V и проецируется на них в виде прямых, параллельных соответственно осям проекций Y и Z (рис. 188, б). На рис. 188, в профильная плоскость задана прямоугольником $ABCD$. Фигуры, расположенные в профильных плоскостях, проецируются без искажения на плоскость W .

Из описания плоскостей уровня очевидно, что они обладают общими свойствами: 1) плоскости уровня, перпендикулярные двум плоскостям проекций, проецируются на них в виде прямых, па-

* Проекцию плоскости в виде прямой линии обозначают прописной буквой с индексом плоскости проекций, например фронтальная проекция горизонтальной плоскости P обозначается P_V .

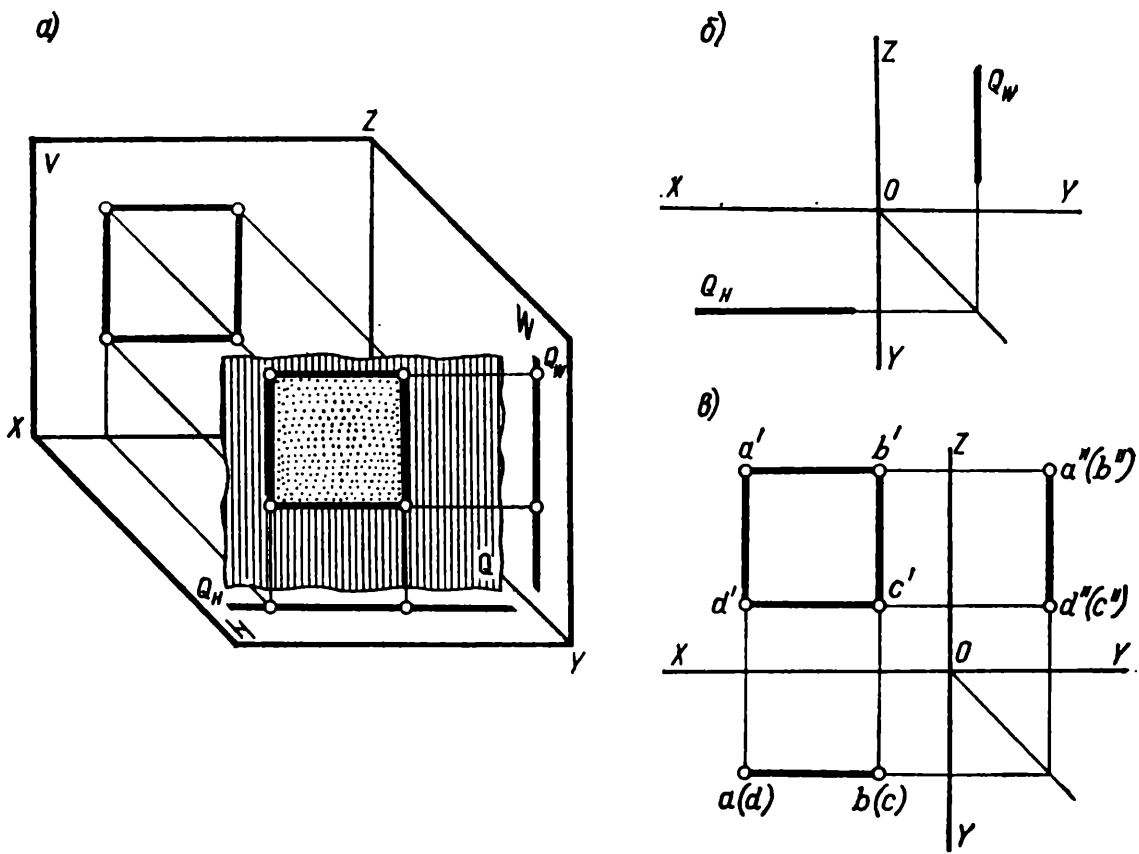


Рис. 187

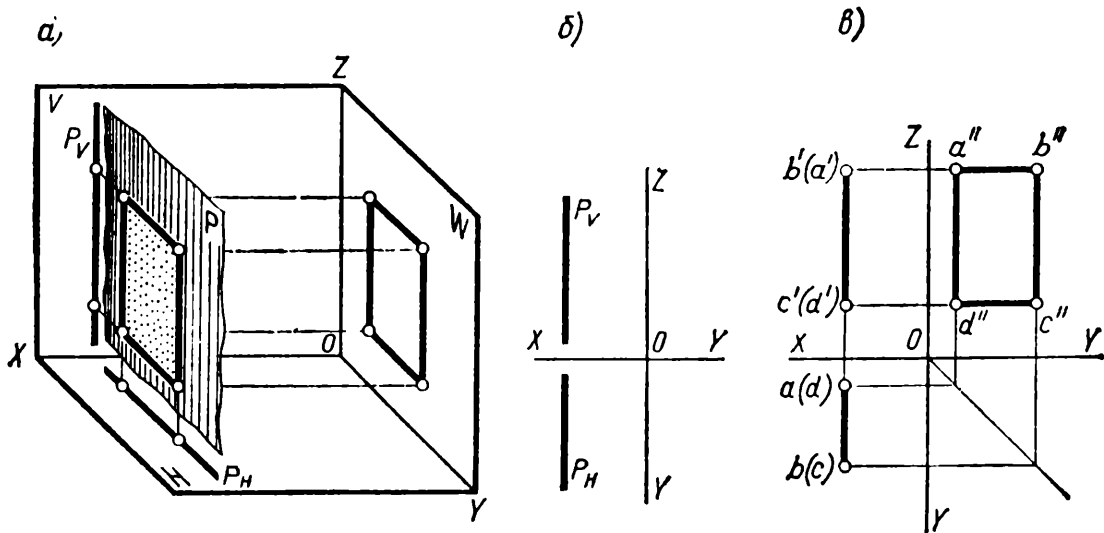


Рис. 188

параллельных осям проекций; 2) одна проекция плоскости уровня, к плоскости которой она перпендикулярна, определяет ее положение относительно плоскостей проекций; 3) фигуры, принадлежащие плоскостям уровня, проецируются без искажения на параллельную им плоскость проекций.

Проецирующие плоскости — плоскости, перпендикулярные одной плоскости проекций и наклоненные к двум другим.

Плоскость, перпендикулярная плоскости H и наклоненная к плоскостям V и W , называется *горизонтально-проецирующей* (рис. 189, а). Горизонтально-проецирующая плоскость P , перпен-

дикулярная плоскости H , проецируется на нее в виде прямой P_H . По горизонтальной проекции горизонтально-проецирующей плоскости можно судить о наклоне ее к плоскостям V и W . Угол между ее горизонтальной проекцией P_H и осью X равен углу между плоскостями P и V , а угол между P_H и осью Y равен углу наклона плоскости P к плоскости W (рис. 189, б).

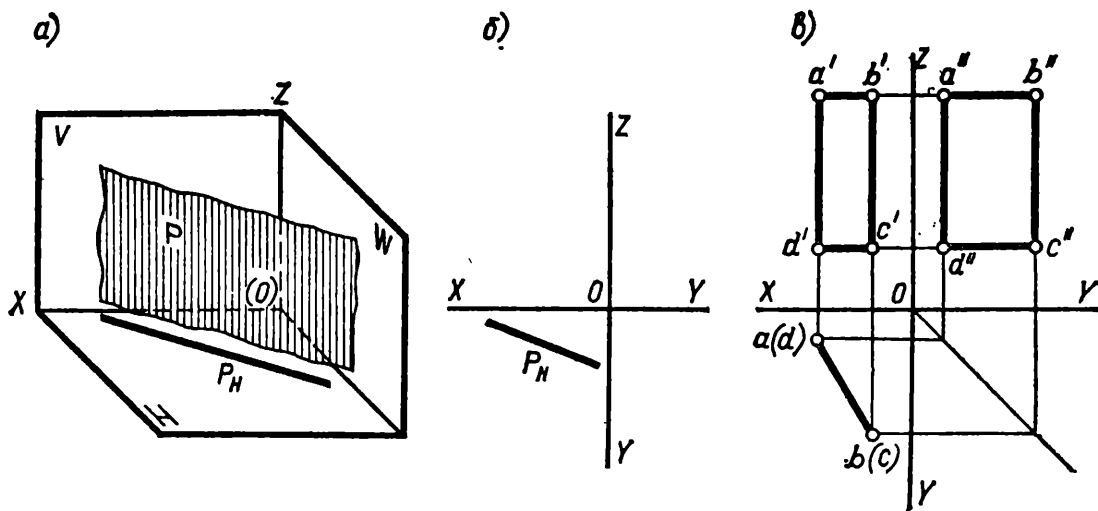


Рис. 189

Плоская фигура, задающая горизонтально-проецирующую плоскость, например прямоугольник $ABCD$ (рис. 189, в), проецируется на плоскости V и W , с искажением, а на плоскость H — в виде отрезка ab прямой. Величина искажения зависит от угла наклона проецирующей плоскости к данной плоскости проекций. В рассматриваемом случае прямоугольник $ABCD$ искажен в меньшей степени на профильной проекции, так как с плоскостью W он составляет меньший угол, чем с плоскостью V .

Плоскость, перпендикулярная плоскости V и наклоненная к плоскостям H и W , называется *фронтально-проецирующей* (рис. 190, а). Для фронтально-проецирующей плоскости характерно, что ее фронтальная проекция представляет собой прямую линию. Независимо от способа задания фронтально-проецирующей

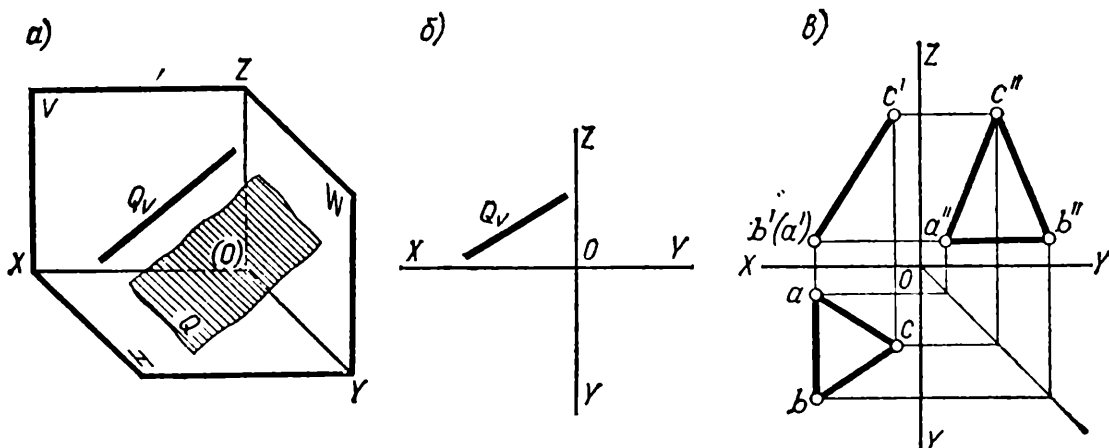


Рис. 190

плоскости Q (ср. рис. 190, б и в) по ее фронтальной проекции всегда можно судить о наклоне плоскости Q к плоскостям проекций H и W . Угол между фронтальной проекцией Q_v (или отрезком $a'b'$) и осью X равен углу между плоскостями Q и H , а угол между Q_v и осью Z равен углу наклона плоскости Q к плоскости W . Плоская фигура, принадлежащая фронтально-проецирующей плоскости, например треугольник ABC (рис. 190, в), проецируется на плоскости H и W с искажением, а на плоскость V — в виде отрезка прямой.

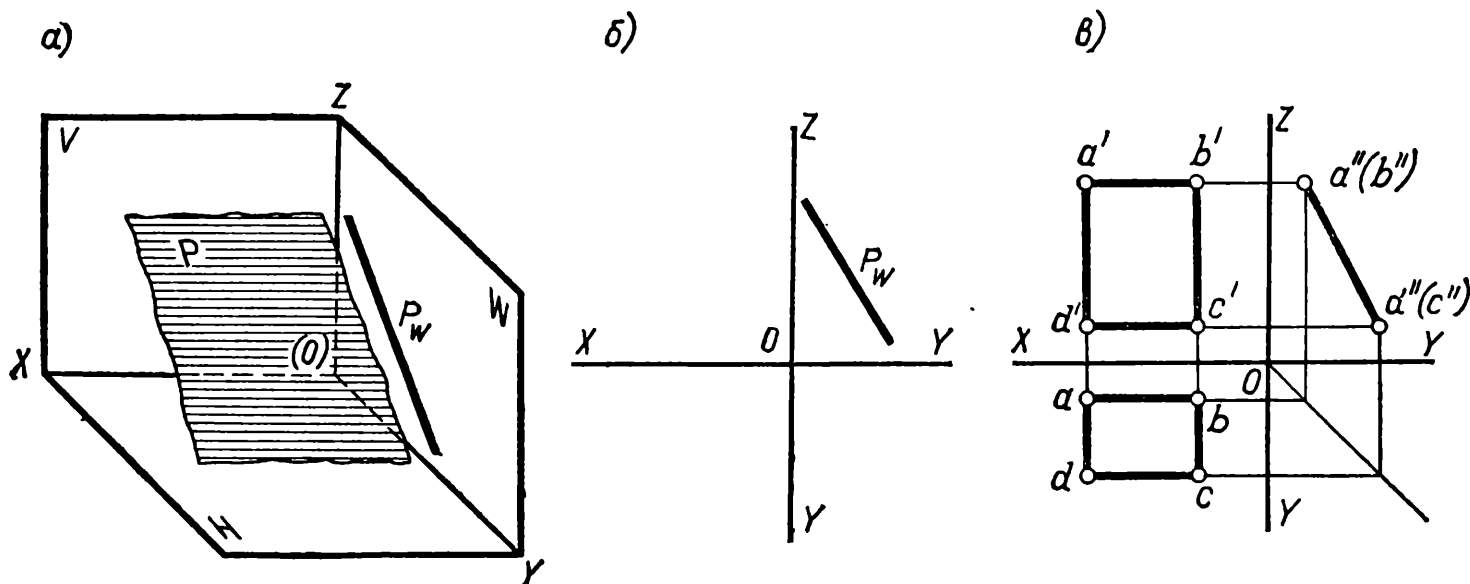


Рис. 191

Плоскость, перпендикулярная плоскости W и наклоненная к плоскостям H и V , называется *профильно-проецирующей* (рис. 191, а). Профильно-проецирующая плоскость проецируется на плоскость W в виде прямой линии P_W , которая составляет некоторые углы с осями Y и Z (рис. 191, б). О величине углов наклона профильно-проецирующей плоскости к плоскостям H и V судят по наклону ее профильной проекции соответственно к осям Y и Z . Если профильно-проецирующая плоскость задана плоской фигурой (рис. 191, в), то эта фигура проецируется с искажением на плоскости H и V , а на плоскость W — в виде отрезка прямой.

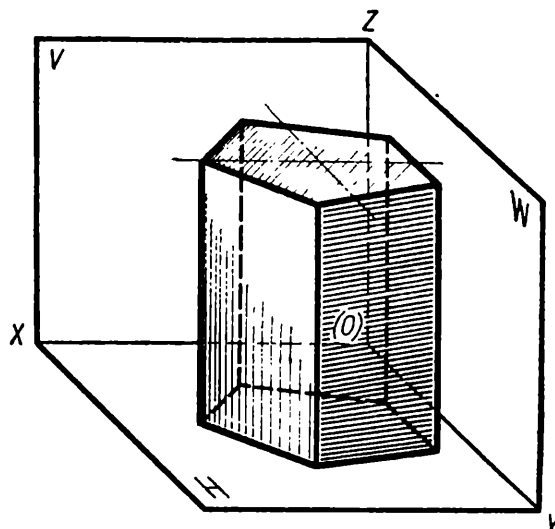
Обобщим свойства проекций проецирующих плоскостей.

1. Проецирующая плоскость проецируется в виде прямой на ту плоскость проекций, которой она перпендикулярна. Углы между прямой, представляющей проекцию плоскости, и двумя осями проекций равны углам наклона данной плоскости к двум плоскостям проекций.

2. Проецирующую плоскость можно задавать одной проекцией на ту плоскость проекций, которой она перпендикулярна.

3. Фигуры, расположенные в проецирующих плоскостях, на две плоскости проекций проецируются с искажением, на одну — в виде отрезка прямой, совпадающего с проекцией плоскости.

Примечание. Построение проекций прямых и точек, принадлежащих различным плоскостям, излагается в § 36 «Построение проекций многогранников».



Контрольные вопросы. 1. Перечислите способы задания плоскости. 2. Как по отношению плоскостей проекций расположены плоскости уровня и плоскости общего положения? 3. Какими общими свойствами обладают проецирующие плоскости? 4. Как расположена каждая грань прямой пятиугольной призмы (рис. 192) относительно плоскостей проекций? Назовите плоскости, которым принадлежат грани призмы.

§ 30. СПОСОБЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРОЕКЦИЙ

При изображении различных геометрических фигур всегда стремятся располагать их по отношению к плоскостям проекций так, чтобы они занимали частные положения. Это позволяет непосредственно по проекциям судить о размерах и форме изображаемых фигур, определять взаимное положение фигур, а также решать другие метрические задачи.

В тех случаях, когда не удастся расположить изображаемую фигуру или отдельные ее части (например, ребра, грани) в частных положениях, для решения метрических задач прибегают к преобразованию проекций. Преобразование проекций осуществляют способом перемены плоскостей проекций и способом вращения.

Способ перемены плоскостей проекций. Способ заключается в том, что изображаемую фигуру (отрезок прямой, многоугольник, тело), не меняя ее положения в пространстве, проецируют на новую дополнительную плоскость проекций, заменившую одну из основных плоскостей H или V . Дополнительная плоскость проекций образует с плоскостями H или V новые системы двух взаимно перпендикулярных плоскостей проекций. Положение дополнительной плоскости проекций выбирают в зависимости от поставленной задачи.

Сущность способа перемены плоскостей проекций рассмотрим на примере определения длины отрезка AB прямой общего положения (рис. 193, а).

Известно, что отрезок прямой проецируется на плоскость проекций без искажения, если он ей параллелен. Поэтому для определения длины отрезка прямой необходимо задать дополнительную плоскость, например V_1 , параллельную отрезку AB . Плоскость V_1 должна быть также перпендикулярна плоскости H . Расстояние от плоскости V_1 до отрезка AB выбирают произвольно.

Плоскости проекций H и V_1 образуют новую систему двух взаимно перпендикулярных плоскостей проекций H/V_1 . Плоскости H и V_1 пересекаются по прямой X_1 — новой оси проекций. В данном примере новая ось $X_1 \parallel ab$.

В новой системе плоскостей проекций H/V_1 горизонтальная проекция ab отрезка AB уже построена. Проекцию же отрезка AB на дополнительную плоскость V_1 строят обычным путем. Через точки A и B проводят прямые, перпендикулярные плоскости V_1 , и в пересечении этих прямых с плоскостью V_1 получают новые проекции точек A и B . Их обозначают a_1' и b_1' . Соединив точки a_1' и b_1' прямой линией, получают новую проекцию отрезка AB , равную его длине, так как отрезок AB параллелен плоскости V_1 .

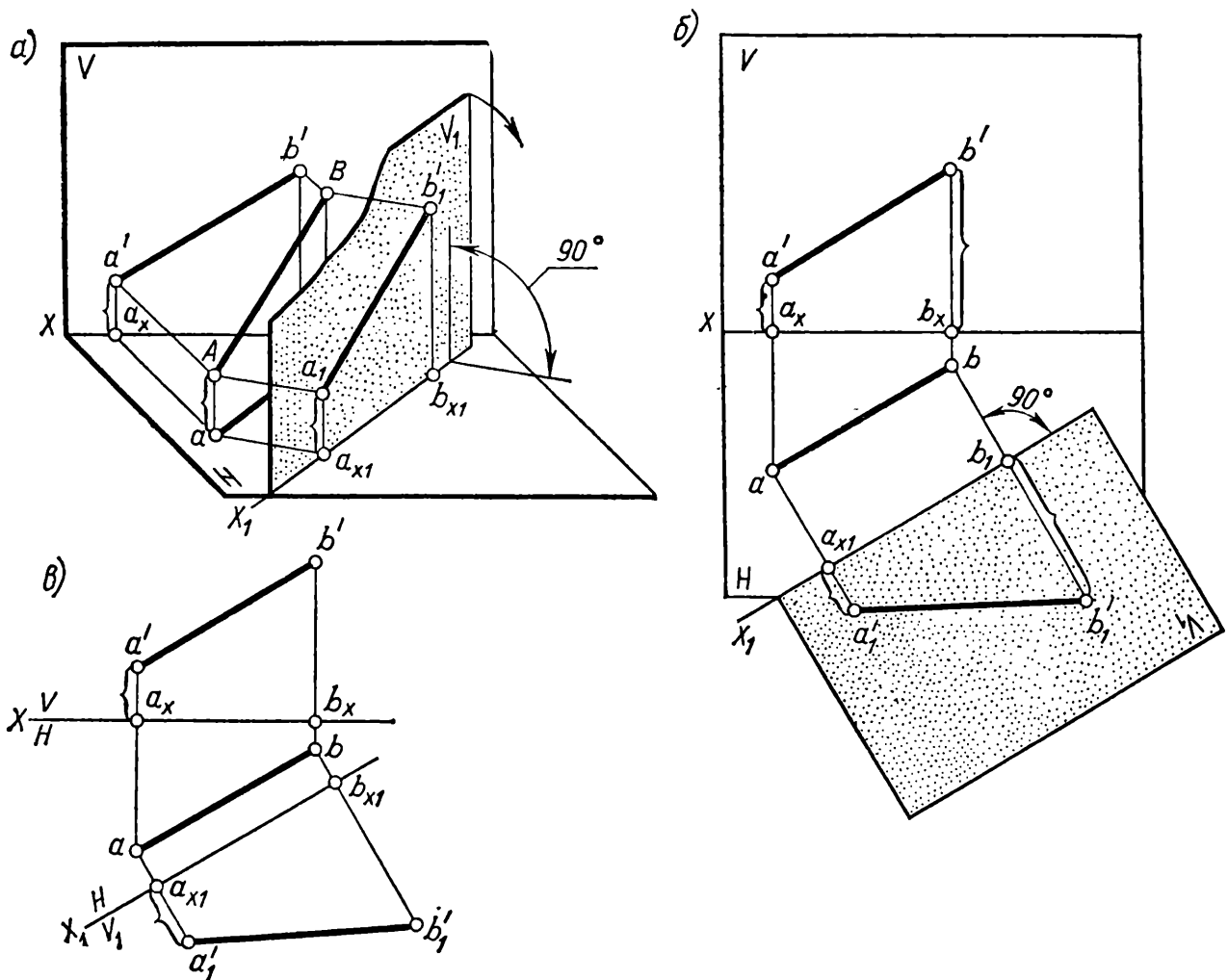


Рис. 193

Чтобы получить все изображения отрезка AB на одной плоскости, плоскость V_1 совмещают с плоскостью H путем поворота ее вокруг оси X_1 . Затем плоскости V_1 и H совмещают с плоскостью V путем поворота их вокруг оси X . После совмещения (рис. 193, б) линии связи, соединяющие точки a и a_1' , а также точки b и b_1' , должны быть перпендикулярны оси X_1 . Точки a_1' и b_1' удалены от новой оси проекций X_1 на то же расстояние, что и точки a' и b' от оси X , т. е. $|a_1'a_{x1}| = |a'a_x|$ и $|b_1'b_{x1}| = |b'b_x|$

Обычно основную и новую системы плоскостей проекций показывают упрощенно одними осями проекций X и X_1 , около которых указывают обозначения плоскостей проекций (рис. 193, в).

Таким образом, определение длины отрезка AB прямой общего положения с помощью дополнительной плоскости V_1 , паралл-

лельной отрезку прямой и перпендикулярной плоскости H , сводится к следующим построениям. Параллельно горизонтальной проекции ab отрезка AB и на произвольном расстоянии от нее проводят новую ось X_1 . Около оси X_1 пишут обозначения плоскостей H и V_1 , определяя тем самым направление совмещения плоскостей проекций. Плоскости надо совмещать так, чтобы новая проекция не накладывалась на заданную. Затем через точки a и b проводят линии связи, перпендикулярные оси X_1 , и на них в направлении совмещения откладывают отрезки: $a_1'a_{x_1}=a'a_x$ и $b_1'b_{x_1}=b'b_x$.

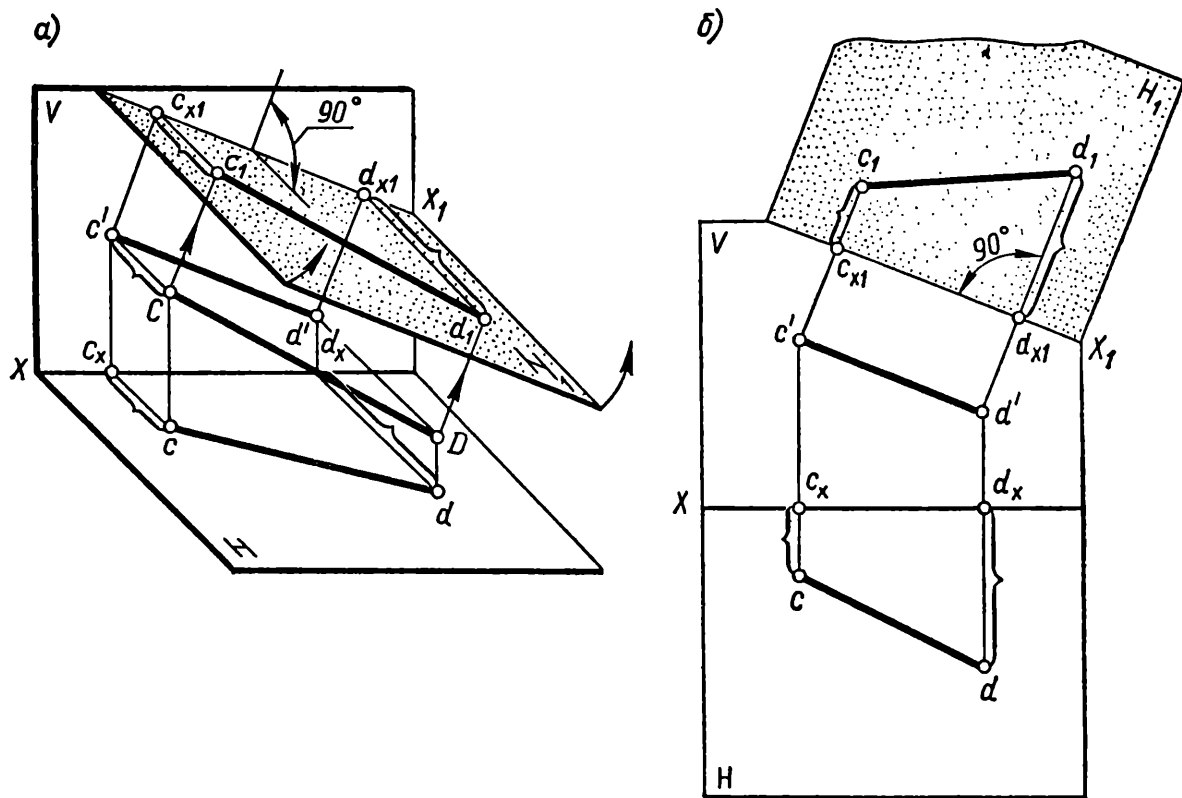


Рис. 194

Соединив прямой точки a_1' и b_1' , получают длину отрезка, т. е. $|a_1'b_1'| = |AB|$.

Задача по определению длины отрезка прямой общего положения может быть решена также с помощью дополнительной плоскости проекций, перпендикулярной плоскости V и параллельной отрезку.

Пусть требуется определить длину отрезка CD прямой общего положения (рис. 194, а). Дополнительную плоскость H_1 располагают параллельно отрезку CD и перпендикулярно плоскости V . Расстояние от плоскости H_1 до отрезка CD по-прежнему берут произвольно. Однако это расстояние желательно задавать небольшим, так как в противном случае проекции займут много места.

Плоскости H_1 и V образуют новую систему плоскостей проекций с осью X_1 — линией пересечения плоскостей H_1 и V . В данном случае ось X_1 расположена параллельно фронтальной проекции отрезка, т. е. $X_1 \parallel c'd'$. В новой системе $H_1 \perp V$ у отрезка CD фронтальная проекция $c'd'$ задана и остается построить только его

проекцию на плоскости H_1 . Для этого через точки C и D проводят проецирующие прямые, перпендикулярные плоскости H_1 , и в пересечении их с плоскостью H_1 получают новые проекции точек C и D , которые обозначают c_1 , d_1 . Соединив точки c_1 и d_1 прямой, получают новую проекцию отрезка CD , равную его длине.

При введении дополнительной плоскости H_1 расстояние от точек C и D до плоскости V остается неизменным как в основной системе $H \perp V$, так и в новой $H_1 \perp V$, поскольку не меняется положение плоскости V . Это расстояние измеряется отрезками $|cc_x| = |c_1c_{x1}|$ и $|dd_x| = |d_1d_{x1}|$.

Чтобы получить совмещенное положение проекций отрезка CD в новой системе $H_1 \perp V$, плоскость H_1 поворачивают вокруг оси проекций X_1 до совмещения ее с плоскостью V . После совмещения (рис. 194, б) линии связи, соединяющие точки c' и c_1 , а также точки d' и d_1 , перпендикулярны оси X_1 . Проекции без условных ограничений для плоскостей проекций, но с обозначениями плоскостей выполняют так же, как показано на рис. 193, в.

Таким образом, графическое решение задачи по определению длины отрезка с помощью плоскости H_1 , параллельной отрезку и перпендикулярной плоскости V , заключается в следующем. Вначале проводят ось X_1 , параллельно фронтальной проекции отрезка $c'd'$ и на небольшом от нее расстоянии. Около оси X_1 пишут обозначения плоскостей H_1 и V . Затем через точки c' и d' проводят линии связи, перпендикулярные оси X_1 . На этих линиях связи от оси X_1 , откладывают два отрезка $c_1c_{x1} = cc_x$ и $d_1d_{x1} = dd_x$. Соединив прямой точки c_1 и d_1 , получают отрезок c_1d_1 , равный длине отрезка CD .

Способ вращения. Способ заключается в том, что геометрическую фигуру поворачивают до нужного положения вокруг не-

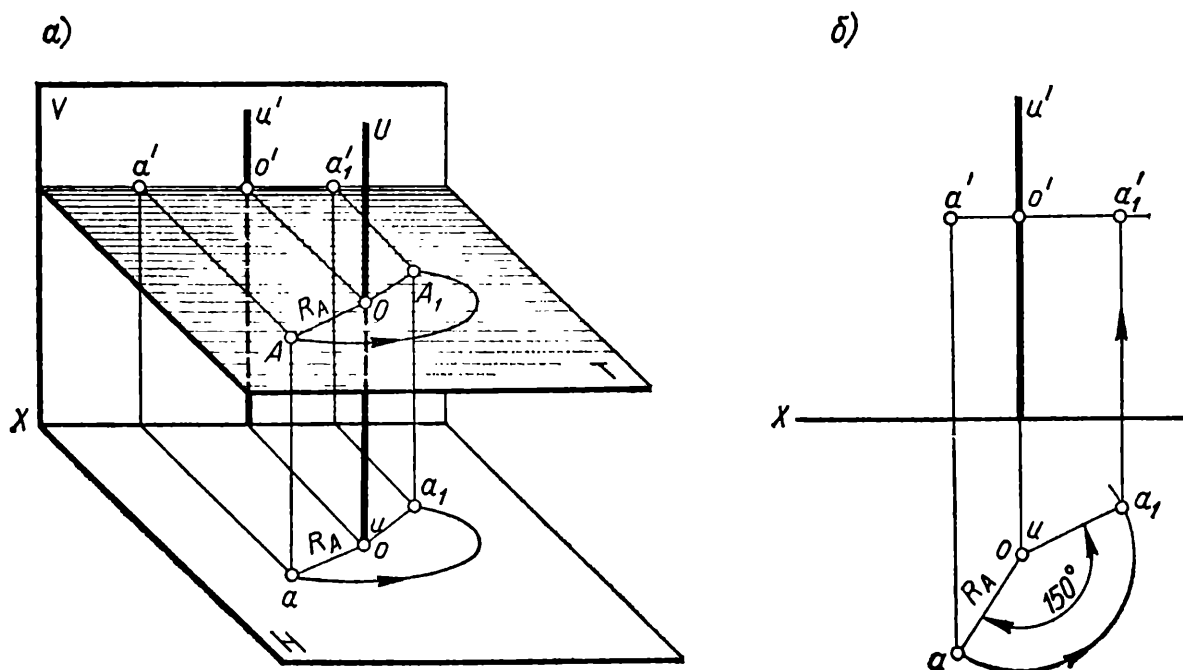


Рис. 195

подвижной прямой — оси вращения U . Осью вращения может быть прямая любого положения. Однако проще всего поворачивать геометрические фигуры вокруг осей, перпендикулярных плоскостям проекций.

Способ вращения рассмотрим на примере поворота точки A на угол 150° вокруг оси U , перпендикулярной плоскости H (рис. 195, *a*). Предположим, что точку A надо вращать в направлении против движения часовой стрелки. Точка A вращается в плоскости T , перпендикулярной оси вращения U и, следовательно, параллельной плоскости H . При вращении точка A описывает дугу окружности радиуса R_A с центром в точке O , расположенной на оси вращения U . Эта дуга и угол поворота точки A , равный 150° , проецируются без искажения на плоскость H . На плоскость V дуга окружности радиуса R_A проецируется в виде отрезка, параллельного оси X . Положение точки A после поворота обозначают A_1 , а ее новые проекции — a_1, a_1' .

На проекциях (рис. 195, *б*) изображение точки A после поворота ее вначале получают на плоскости H . Для этого проводят дугу окружности радиуса $R_A = oa$ с центром в точке o . По дуге в заданном направлении от точки a отмеряют угол 150° и получают точку a_1 . На плоскость V траектория вращения точки A проецируется в виде отрезка прямой, параллельного оси X и проходящего через точку a' . Новую фронтальную проекцию a_1' точки A получают на пересечении линии связи, проведенной через точку a_1 , с прямой, параллельной оси X и проведенной через точку a' .

Поворот точки вокруг оси $U \perp V$ аналогичен повороту точки вокруг оси $U \perp H$. Наглядное представление о вращении точки B вокруг оси U , перпендикулярной плоскости V , можно получить из рис. 196, *a*. Для примера точка B повернута на угол 60° по движению часовой стрелки. Построение проекций точки B после

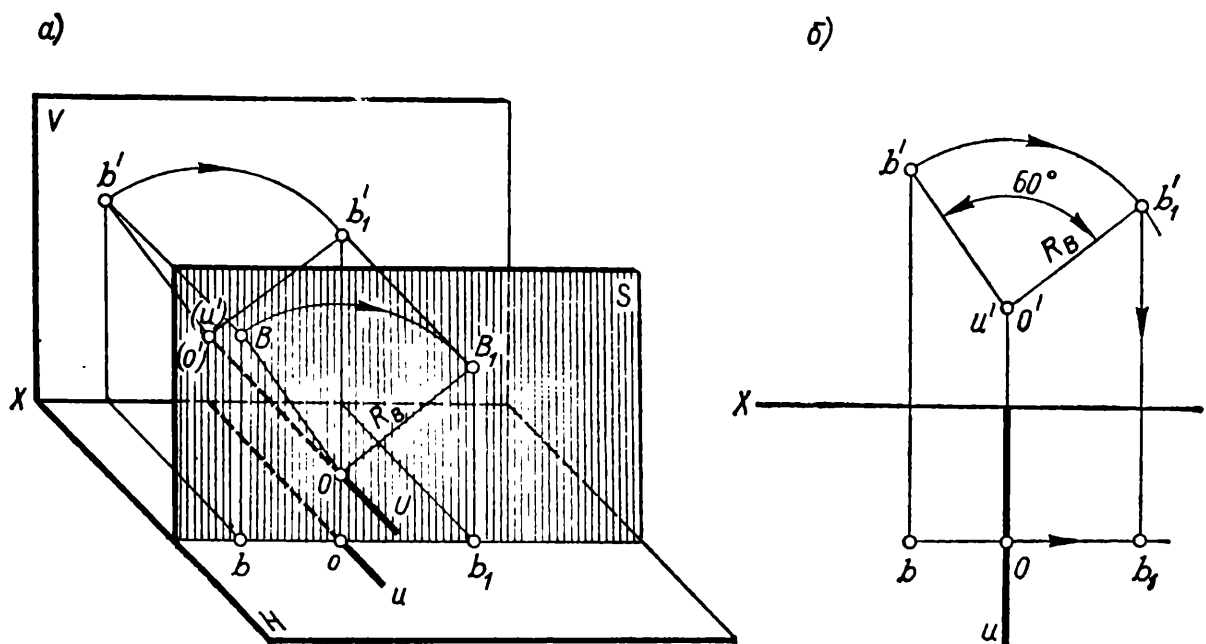


Рис. 196

поворота показано на рис. 196, б. Порядок построения проекций указан стрелками.

Для лучшего понимания основ способа вращения наденьте на любой стержень (круглый карандаш) колесико, вырезанное хотя бы из картона, отметьте на его ободе точку и проследите за ее вращением. Сначала стержень поставьте перпендикулярно плоскости H , затем — плоскости V .

Простейший случай применения способа вращения — это определение длины отрезка прямой общего положения. Задача решается путем поворота отрезка вокруг оси $U \perp H$ или $U \perp V$ до положения, параллельного плоскости проекций.

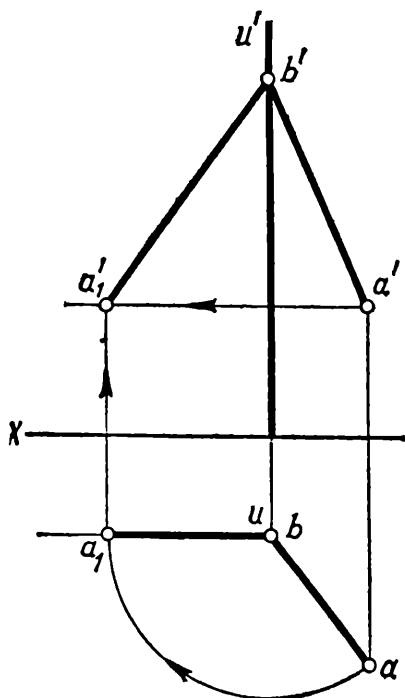


Рис. 197

Рассмотрим определение величины отрезка AB прямой общего положения (рис. 197). Если ось вращения U задать перпендикулярной плоскости H , то отрезок AB следует поворачивать до положения, параллельного плоскости V . Ось вращения удобно проводить через один из концов отрезка, например точку B . В таком случае точка B принадлежит оси вращения и при повороте отрезка остается неподвижной. Таким образом, поворот отрезка AB сведется к повороту точки A . После поворота горизонтальная проекция a_1b отрезка AB должна быть параллельной оси X , поэтому проведем через точку b прямую, параллельную оси X , и отложим на ней отрезок $a_1b = ab$. Затем построим фронтальную проекцию a_1' точки A_1 и, соединив ее прямой с точкой b' , получим отрезок $a_1'b'$, равный длине отрезка AB .

Ось вращения в частном случае может принадлежать плоскости проекций. Тогда при определении длин отрезков прямых или натуральных величин плоских фигур их поворачивают до совмещения с плоскостью проекций, на которой расположена ось вращения. Такой поворот удобно применять, когда один конец отрезка или хотя бы одна вершина плоской фигуры принадлежит плоскости проекций.

Например, при определении длины отрезка AB прямой общего положения (рис. 198, а) ось U взята перпендикулярной плоскости V и проведена через точку A , принадлежащую плоскости H . Точка A при вращении отрезка остается неподвижной, а точку B поворачивают до совмещения с плоскостью H .

После совмещения точки B с плоскостью H ее фронтальная проекция — точка b_1' — окажется на оси X . Дуга окружности, по которой вращается точка B , без искажения проецируется на плоскость V и величина радиуса OB равна длине отрезка $a'b'$. Поэтому проводят дугу окружности радиуса $R_B = a'b'$ с центром в точке a' (рис. 198, б) и на пересечении дуги с осью X получают точку b_1' . Горизонтальная проекция дуги вращения точки

B — отрезок прямой, проходящей через точку b и параллельной оси X . На пересечении этой прямой с линией связи, проведенной через точку b_1' , получают точку b_1 . Отрезок прямой AB после поворота принадлежит плоскости H , поэтому $|ab_1| = |AB|$.

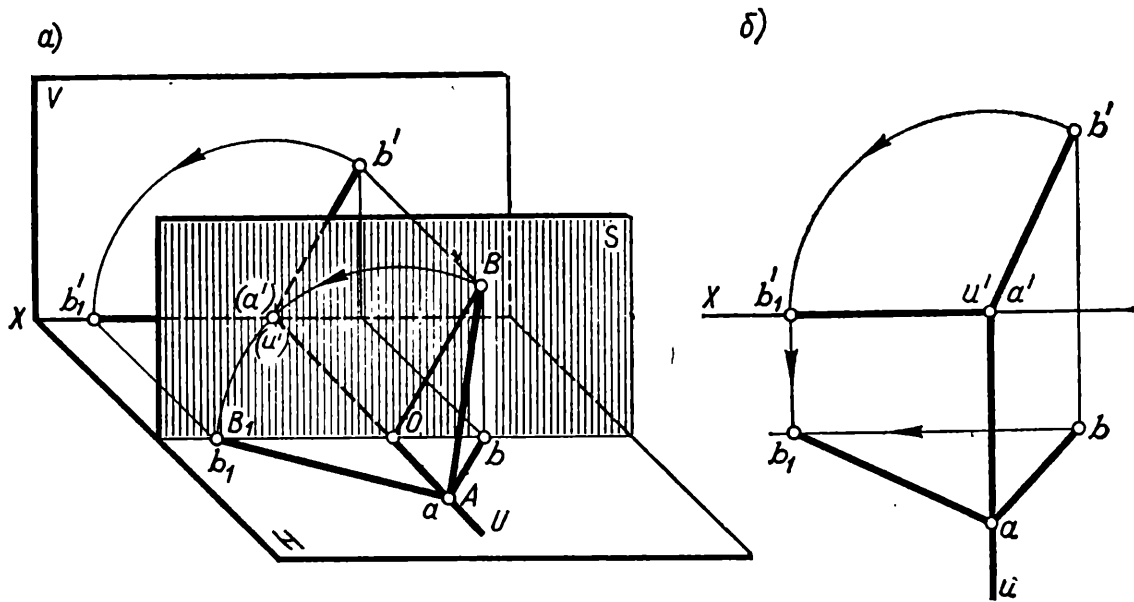


Рис. 198

Контрольные вопросы и упражнения. 1. В чем сущность способа перемены плоскостей проекций? **2.** Как располагают новую дополнительную плоскость проекций относительно основной плоскости проекций? **3.** В чем заключается способ вращения? **4.** Поверните точку B вокруг оси U (рис. 196) до совмещения ее с плоскостью H и постройте проекции точки B . Сколько ответов имеет задача?

§ 31. ПЛОСКИЕ ФИГУРЫ

Определение натуральной величины плоского многоугольника*. Плоская фигура проецируется на плоскость проекций без искажения, если она расположена параллельно этой плоскости (см. рис. 186, *в*, 187, *в* и 188, *в*). Поэтому, чтобы определить натуральную величину плоской фигуры, надо спроецировать ее на дополнительную плоскость, параллельную заданной фигуре, или повернуть саму фигуру до положения, параллельного плоскости проекций.

Например, определим натуральную величину четырехугольника $ABCD$ (рис. 199), который расположен перпендикулярно плоскости V и наклонен к плоскости H . Вначале воспользуемся дополнительной плоскостью H_1 (рис. 199, *а*), которую зададим параллельно плоскости четырехугольника и перпендикулярно плоскости V , т. е. проведем ось проекций $X_1 \parallel a'c'$.

Для построения проекции четырехугольника на плоскости H_1 проведем через точки a', b', c', d' линии связи, перпендикулярные оси X_1 . На этих линиях от оси X_1 отложим отрезки $a_1a_{x_1} = aa_x$; $b_1b_{x_1} = bb_x$; $c_1c_{x_1} = cc_x$; $d_1d_{x_1} = dd_x$, взятые с горизонтальной про-

* Под натуральной величиной плоского многоугольника понимают его действительную форму и размеры.

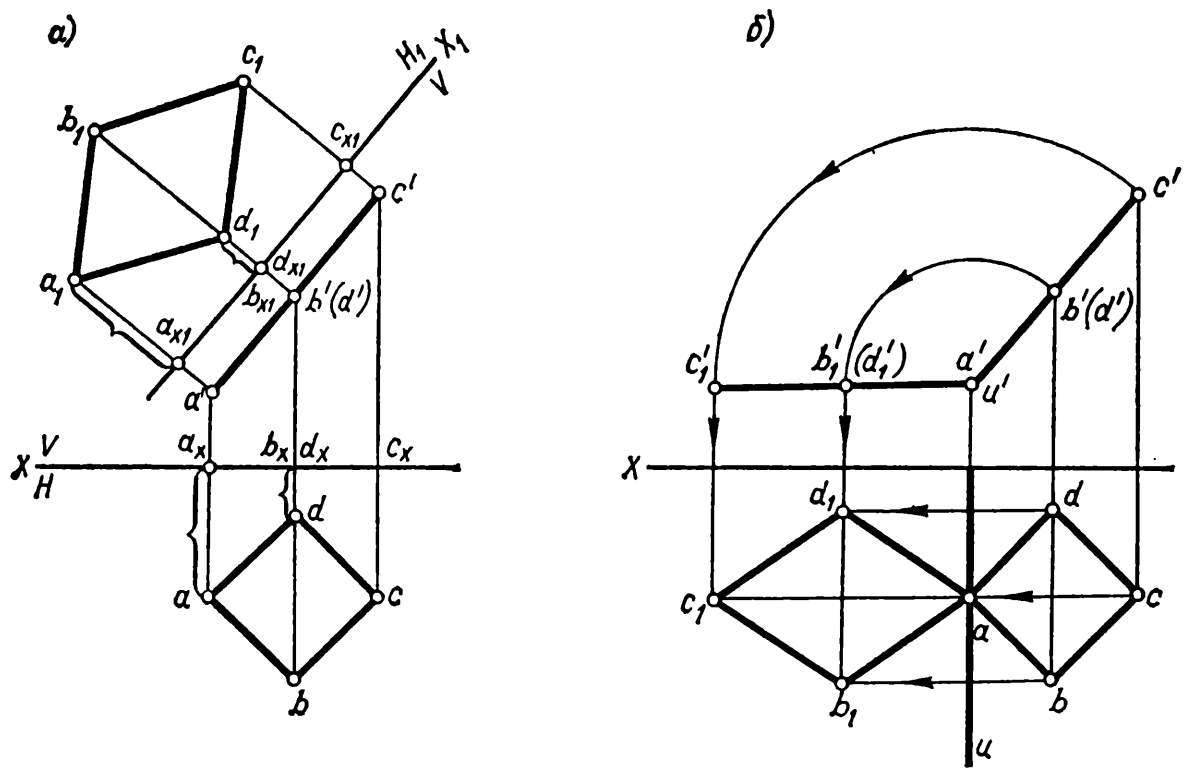


Рис. 199

екции, и получим точки a_1, b_1, c_1, d_1 . Эти точки последовательно соединим прямыми линиями и получим четырехугольник $a_1 b_1 c_1 d_1$, равный натуральной величине четырехугольника $ABCD$.

На рис. 199, б показано определение натуральной величины четырехугольника $ABCD$ путем поворота его до положения, параллельного плоскости H . Такой поворот можно осуществить вокруг оси, перпендикулярной плоскости V . Если ось вращения провести через одну из вершин, например A , то при повороте она останется неподвижной. При вращении точка C перемещает-

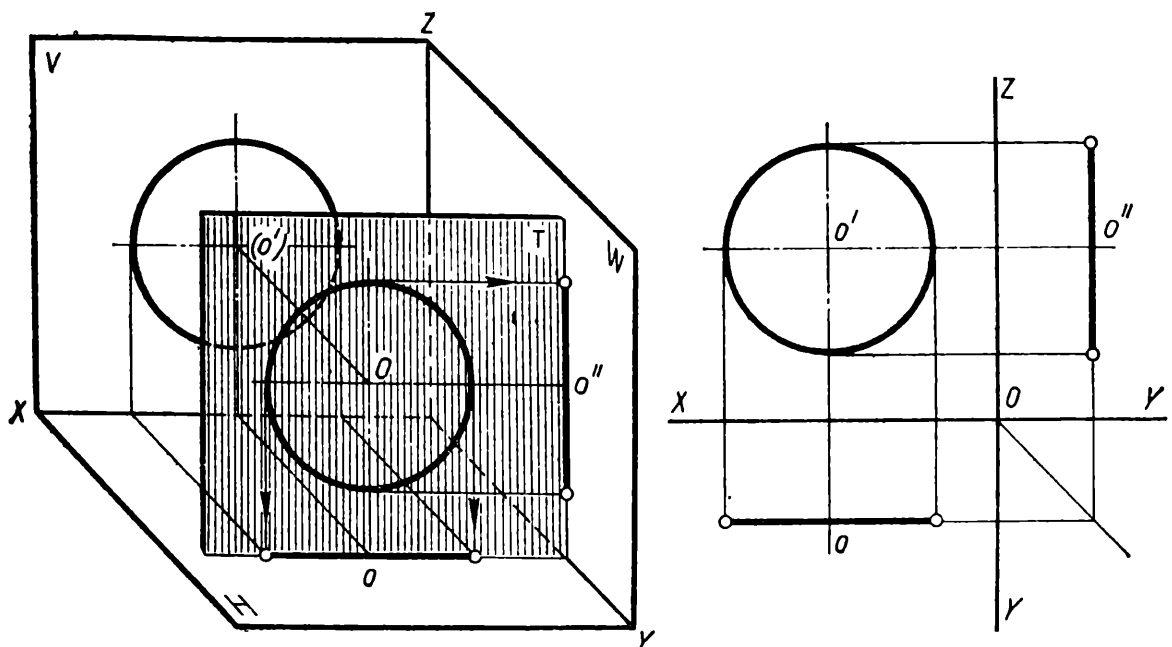


Рис. 200

ся по дуге окружности радиуса $R_C = a'c'$, а точки B и D — по одинаковым дугам радиуса $R_{B,D} = a'b'$. Фронтальную проекцию четырехугольника $ABCD$ поворачивают до положения, параллельного оси X . Затем строят его горизонтальную проекцию — четырехугольник $av_1c_1d_1$, величина которого равна четырехугольнику $ABCD$.

Построение проекций окружности. Окружность проецируется на плоскость проекций без искажения, если она параллельна ей. При этом две другие ее проекции есть отрезки, параллельные осям проекций и по длине равные диаметру окружности. Например, на рис. 200 изображена окружность, расположенная в плоскости T , параллельной плоскости V . Эта окружность проецируется без искажения на плоскость V , а на плоскости H и W — в виде отрезков, параллельных соответственно осям X и Z .

Если окружность наклонена к плоскости проекций, то ее проекция представляет собой эллипс, большая ось которого равна диаметру окружности. Величина малой оси этого эллипса зависит от угла наклона плоскости окружности к плоскости проекций.

Рассмотрим проекции окружности, изображенные на рис. 201. Заданная окружность перпендикулярна плоскости V и наклонена к плоскостям H и W (см. ее фронтальную проекцию), поэтому ее горизонтальная и профильная проекции — эллипсы. Большие оси этих эллипсов представляют собой проекции диаметра окружности, который без искажения проецируется на плоскости H и W . Таким диаметром является диаметр AB , перпендикулярный плоскости V и параллельный плоскостям H и W . Малыми же осями эллипсов являются проекции диаметра CD , перпендикулярного AB . Величины малых осей определяются с помощью линий связи, проведенных через точки c' , d' .

Промежуточные точки эллипса построены с помощью дополнительной плоскости проекций H_1 . Плоскость H_1 расположена параллельно плоскости окружности, поэтому на нее окружность проецируется без искажения. Вначале строят новую проекцию центра окружности — точку o_1 и на плоскости H_1 описывают заданную окружность. Затем на окружности намечают 10...12 точек

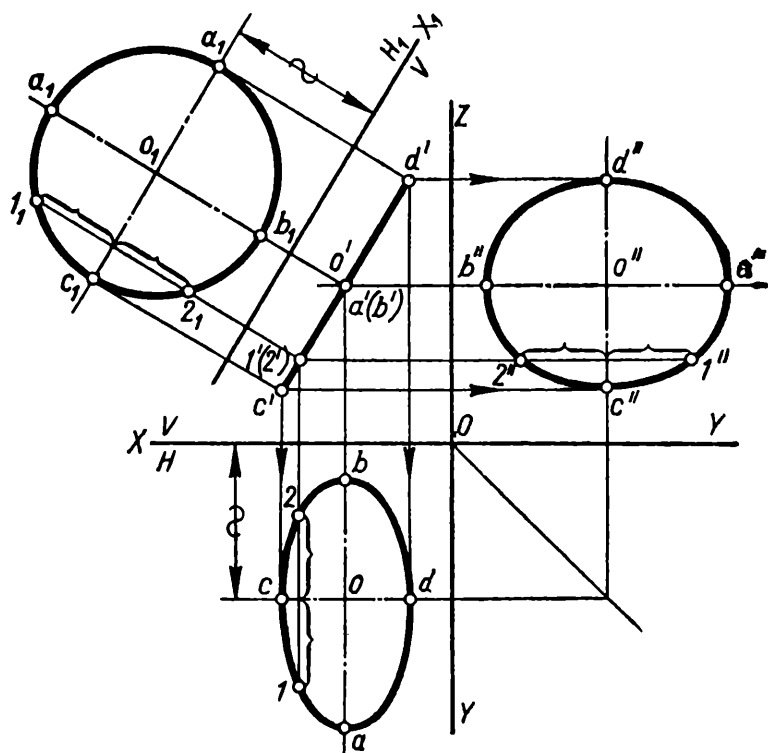


Рис. 201

и находят их проекции на плоскостях V , H , W . На рис. 201 приведено построение только для двух промежуточных точек 1 и 2. Остальные промежуточные точки строят аналогично точкам 1 и 2.

Контрольные вопросы и упражнения. 1. Как должна быть расположена плоская фигура относительно плоскости проекций, чтобы она проецировалась на нее без искажения? 2. Определите натуральную величину четырехугольника $ABCD$ (рис. 189, в), Задачу решите двумя способами. Предварительно подумайте над тем, какую плоскость проекций заменить и как задать ось вращения. 3. Чему равна большая ось эллипса, который представляет собой проекцию окружности, и от чего зависит величина его малой оси?

Глава 8

АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ ПЛОСКИХ ФИГУР

§ 32. ПОНЯТИЕ ОБ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЯХ

АксонOMETрические проекции, или, сокращенно, аксонOMETрию, применяют для построения наглядных изображений предмета (детали). АксонOMETрические проекции получают путем проецирования параллельными лучами предмета, который связан с осями прямоугольных координат, на некоторую плоскость P (рис. 202). Таким образом, аксонOMETрическая проекция — это прежде всего проекция только на одну плоскость. Чтобы обеспечить наглядность получаемого изображения, направление проецирования N не должно быть параллельно ни одной оси координат. Тогда на плоскости P , хотя и с искажениями, будут изображены все три измерения предмета, что придаст изображению наглядность.

Плоскость P , на которой строят аксонOMETрическую проекцию, называют *плоскостью аксонOMETрических проекций* или *картинной* плоскостью. Проекции осей координат на плоскости P называют *аксонOMETрическими осями* и обозначают X_P , Y_P , Z_P , а проекции точек, например, A , B на плоскости P называют *аксонOMETрическими проекциями* точек и обозначают A_P , B_P .

АксонOMETрические проекции в зависимости от угла φ наклона проецирующих прямых по отношению к плоскости P делят на прямоугольные, если $\varphi = 90^\circ$ и косоугольные при $\varphi \neq 90^\circ$.

Если ни одна из координатных осей X , Y , Z не параллельна плоскости проекций P , то на аксонOMETрической проекции у предмета искажены все три его измерения. Если же одна или две оси координат параллельны плоскости P , то соответственно на аксонOMETрической проекции у предмета искажены размеры по одному или двум его измерениям. Степень искажения какого-либо из трех измерений предмета определяется отношением длины аксонOMETрической проекции отрезка, параллельного соответствующей оси координат, к его действительной длине. Это отношение называют *коэффициентом искажения* или показателем искажения. Например, для отрезка AB , параллельного оси Y (рис. 202), коэффициент искажения равен отношению $A_P B_P / AB$.

Любая аксонометрическая проекция имеет три коэффициента искажения по числу осей координат. В зависимости от того, разные они или одинаковые, аксонометрические проекции делят на изометрические (коэффициенты искажения равны по трем осям), диметрические (коэффициенты искажения равны по двум осям) и триметрические (коэффициенты искажения по трем осям разные). Среди разновидностей аксонометрических проекций наибольшее применение нашли: 1) прямоугольная изометрическая

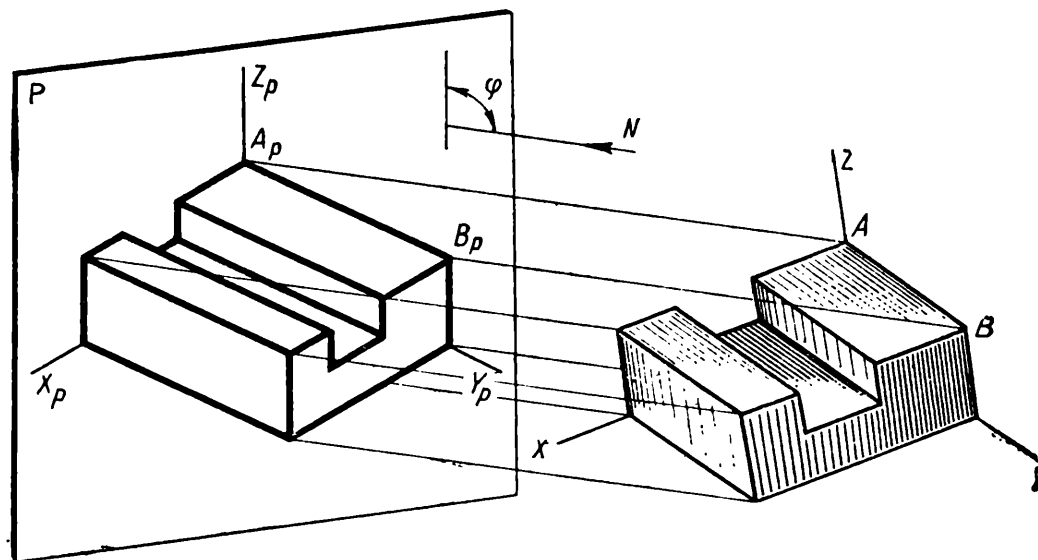


Рис. 202

проекция, 2) прямоугольная диметрическая проекция и 3) фронтальная диметрическая проекция. Эти виды аксонометрических проекций рекомендуется применять согласно ЕСКД ГОСТ 2.317—69.

Контрольные вопросы. 1. Какую проекцию называют аксонометрической? 2. В чем разница между прямоугольной и косоугольной аксонометрическими проекциями? 3. Какую разновидность аксонометрической проекции называют диметрической?

§ 33. ПРЯМОУГОЛЬНАЯ ИЗОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

Прямоугольная изометрическая проекция представляет собой аксонометрическую проекцию с направлением проецирования, перпендикулярным плоскости аксонометрических проекций, и с одинаковыми по трем аксонометрическим осям коэффициентами искажения, равными 0,82.

Оси изометрической проекции (рис. 203, а) составляют между собой углы, равные 120° . Ось Z_p располагают вертикально, тогда оси X_p и Y_p составят с горизонтальной прямой углы в 30° . На рис. 203, б, в показаны два приема построения осей изометрической проекции.

При построении изометрической проекции все линейные размеры предмета, параллельные осям координат, надо умножать на коэффициент 0,82, т. е. уменьшать их по сравнению с действи-

тельными размерами. Однако на практике коэффициенты искажения округляют до единицы, что позволяет значительно упростить построения. Изометрические проекции, построенные с учетом теоретических или округленных коэффициентов искажения, отличаются друг от друга только размером, так как в первом случае масштаб изображения $1 : 1$, а во втором — $1,22 : 1$ ($1/0,82 = 1,22$).

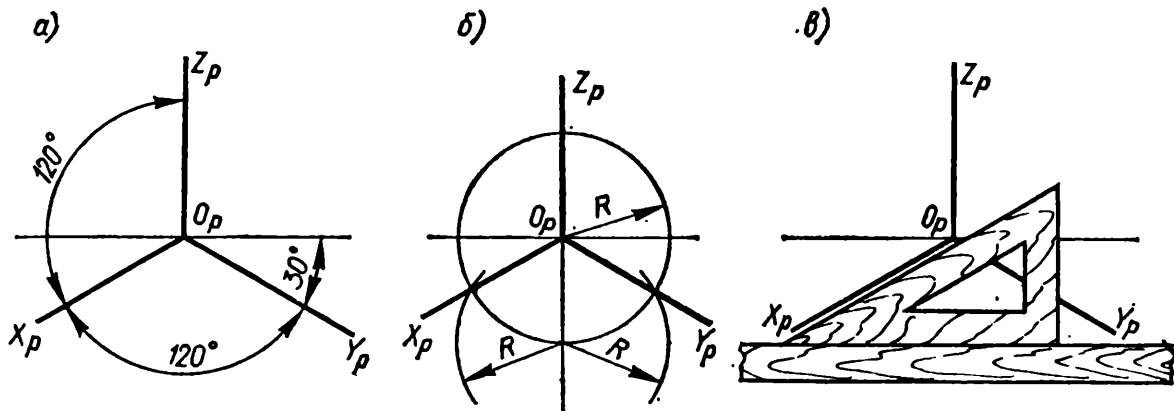


Рис. 203

Построение изометрической проекции плоских многоугольников. Если плоский многоугольник имеет взаимно перпендикулярные стороны, то с ними удобно совмещать оси координат. Например, при построении изометрической проекции прямоугольника, расположенного в плоскости H (рис. 204, а)*, с его смежными сторонами совмещены оси координат X и Y . Построив изометрические оси X_p и Y_p , от точки O_p откладывают по оси X_p отрезок a , а по оси Y_p — отрезок b . Через концы построенных отрезков проводят прямые, параллельные осям X_p и Y_p , и продолжают их до взаимного пересечения. Полученный параллелограмм есть изометрическая проекция данного прямоугольника.

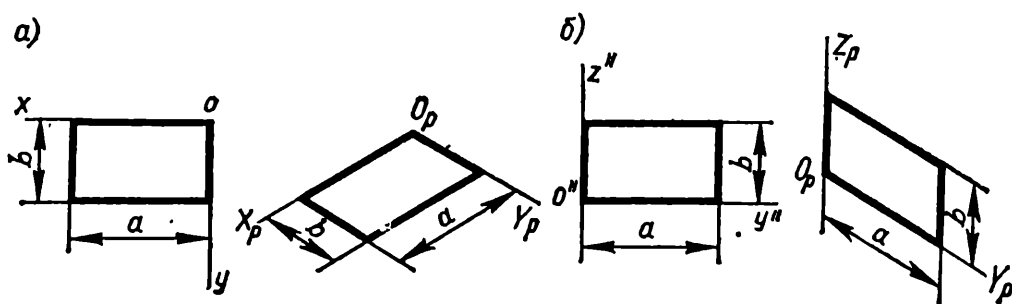


Рис. 204

На рис. 204, б изображена изометрическая проекция того же прямоугольника, но принадлежащего плоскости W .

Изометрическую проекцию прямоугольника, расположенного в плоскости V постройте самостоятельно.

* Если на изображении плоской фигуры нанесены проекции двух осей координат, то это определяет принадлежность ее плоскости, проекций и фигура задается одной проекцией.

При построении аксонометрической проекции плоских фигур с двумя взаимно перпендикулярными осями симметрии последние удобно принимать за оси координат. Для примера взят правильный шестиугольник $ABCDEF$, расположенный в плоскости V (рис. 205, а). Вначале строят изометрические оси X_p и Z_p (рис. 205, б) и откладывают по оси Z_p вверх и вниз от точки O_p отрезки $O_p 1_p = o' 1'$ и $O_p 2_p = o' 2'$. Через точки 1_p и 2_p проводят прямые,

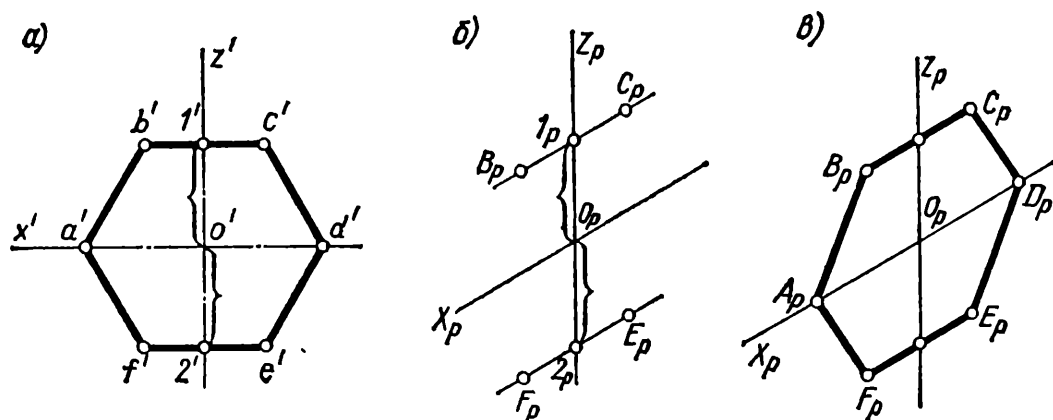


Рис. 205

параллельные оси X_p , и на них откладывают в обе стороны от точек 1_p и 2_p половину стороны шестиугольника, например отрезок $b' 1'$. Концы отложенных отрезков — точки B_p , C_p , E_p и F_p — являются изометрической проекцией вершин B , C , E и F . Вершины A и D принадлежат оси X . Для построения их изометрической проекции по оси X_p откладывают в обе стороны от точки O_p отрезки $O_p A_p = o' a'$ и $O_p D_p = o' d'$ (рис. 205, в). Последовательно соединив прямыми построенные вершины шестиугольника, получают его изометрическую проекцию.

В изометрической проекции у многоугольников размеры углов и длины сторон, непараллельных осям координат, искажаются не пропорционально коэффициенту искажения 0,82. Поэтому изометрическую проекцию некоторых вершин многоугольников можно построить только по их координатам*. Например, у контура, изображенного на рис. 206, а, для определения положения вершин 5 и 6 использованы линейный размер e и угол α . Для построения же изометрической проекции этих вершин (рис. 206, б) необходимо определить их координаты x_5 , y_5 и y_6 ($x_0 = 0$).

Последовательность построения изометрической проекции произвольного контура может быть различной. Вершины заданного контура удобно строить в последовательности, отмеченной цифрами 1, 2, 3 и т. д.

Построение изометрической проекции окружностей. Изометрические проекции окружностей, расположенных в плоскостях проекций или плоскостях им параллельных, есть эллипсы с оди-

* Это замечание касается и остальных видов аксонометрических проекций.

наковым соотношением осей (рис. 207). Большие оси этих эллипсов равны $1,22 D_{окр}$, а малые — $0,7 D_{окр}$, где $D_{окр}$ — диаметр изображаемой окружности. Направление осей эллипсов зависит от положения проецируемой окружности. Большая ось эллипса всегда перпендикулярна той аксонометрической оси, которая не

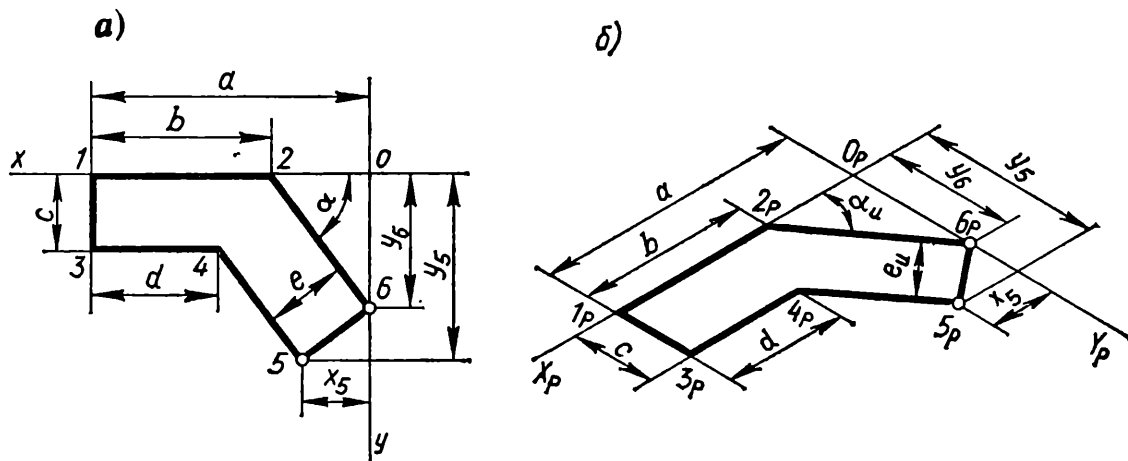


Рис. 206

принадлежит плоскости, изображаемой окружности, а малая совпадает с этой осью или параллельна ей. Например, изометрическая проекция окружности, заданной в горизонтальной плоскости (или ей параллельной), есть эллипс, большая ось которого перпендикулярна оси Z_p , а малая ось совпадает с ней (или ей параллельна).

Размер осей эллипса можно подсчитать или с достаточной точностью определить графически (рис. 208). В последнем случае малая ось эллипса равна расстоянию между концами двух взаим-

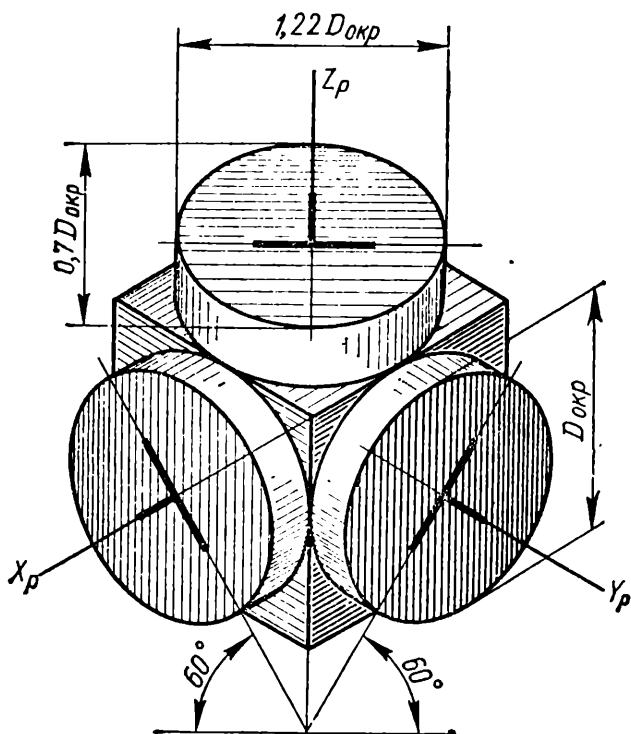


Рис. 207

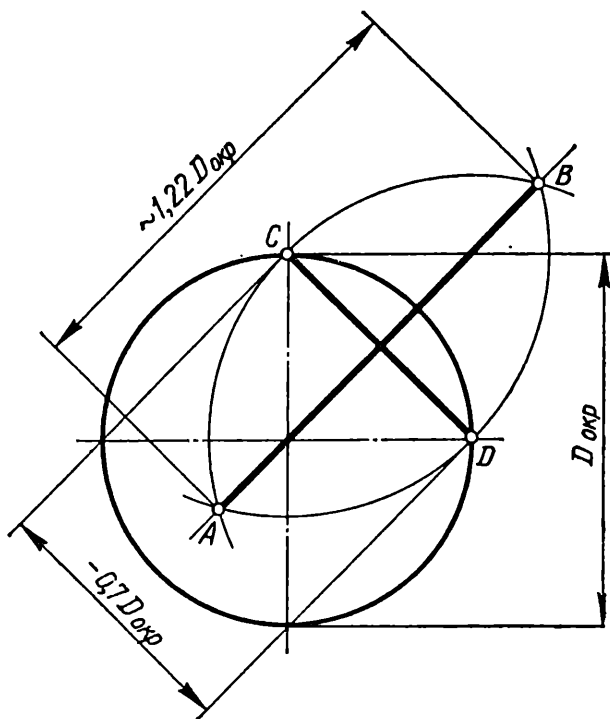


Рис. 208

но перпендикулярных диаметров изображаемой окружности — отрезку прямой CD . Для определения размера большой оси из точек C и D описывают две дуги окружности радиуса CD до их взаимного пересечения в точках A и B . Отрезок прямой AB равен большой оси эллипса.

Практически при вычерчивании аксонометрической проекции окружности эллипс обычно заменяют близким ему по форме и размерам овалом. Такая замена вызвана тем, что построение овала значительно проще и, если оси овала и эллипса равны, то очертания их очень близки.

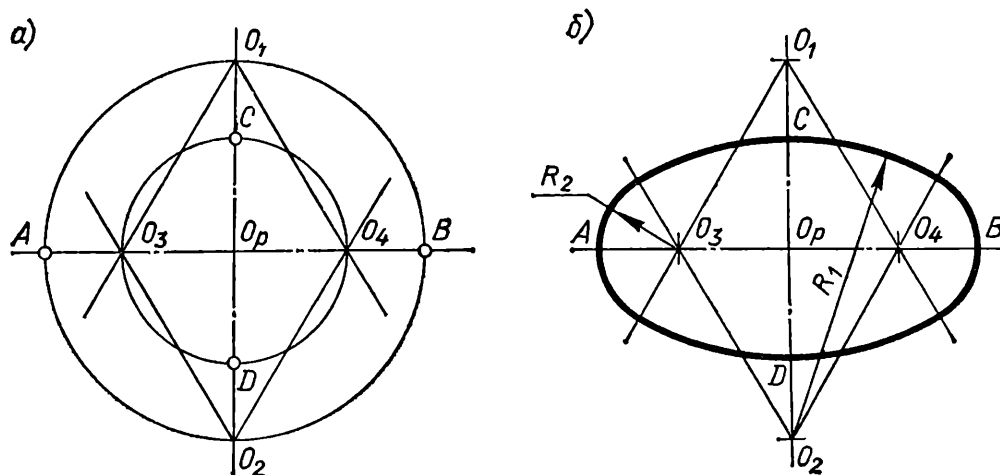


Рис. 209

Разберем два способа построения овалов, приближенно заменяющих изометрические проекции окружностей, расположенных в плоскостях проекций на примере окружности диаметром 100 мм, принадлежащей плоскости H .

Первый способ. Построим овал с осями, равными $1,22 D_{\text{окр}}$ и $0,7 D_{\text{окр}}$. При $D_{\text{окр}}=100$ мм большая ось овала $AB=1,22 \cdot 100$ мм = 122 мм, а малая $CD=0,7 \cdot 100$ мм = 70 мм. Зададим центр овала — точку O_p — и через нее проведем две взаимно перпендикулярные прямые (рис. 209, а). Из точки O_p опишем две окружности радиусов, равных полуосям овала. В пересечении этих окружностей с взаимно перпендикулярными прямыми отметим точки O_1, O_2, O_3, O_4 — центры сопряженных дуг окружностей, из которых состоит овал. Далее построим прямые O_1O_3, O_1O_4, O_2O_3 и O_2O_4 , на которых расположены точки сопряжения дуг овала. Две дуги окружности радиуса $R_1=O_2C$ опишем из центров O_1 и O_2 , а две дуги окружности радиуса $R_2=O_3A$ — из центров O_3 и O_4 (рис. 209, б).

Для остальных координатных плоскостей овалы строят аналогично овалу, заменяющему изометрическую проекцию окружности, расположенной в плоскости H .

Второй способ. Опишем вокруг заданной окружности диаметром 100 мм квадрат $KLMN$ (рис. 210, а) и построим его изометрическую проекцию. По осям X_p и Y_p (рис. 210, б) в обе стороны от точки O_p отложим отрезки $O_p1_p=O_p3_p=O_p2_p=O_p4_p=$

=50 мм, т. е. длину радиуса изображаемой окружности. Через точки 2_P и 4_P проведем прямые, параллельные оси X_P , а через точки 1_P и 3_P — прямые, параллельные оси Y_P . Эти прямые пересекутся в точках K_P, L_P, M_P, N_P , которые являются изометрическими проекциями вершин K, L, M, N , а полученная фигура — ромб $K_P L_P M_P N_P$ — представляет собой изометрическую проекцию квадрата $KLMN$. Проведя диагонали ромба, получим направления осей овала, которые совпадают с этими диагоналями. Между

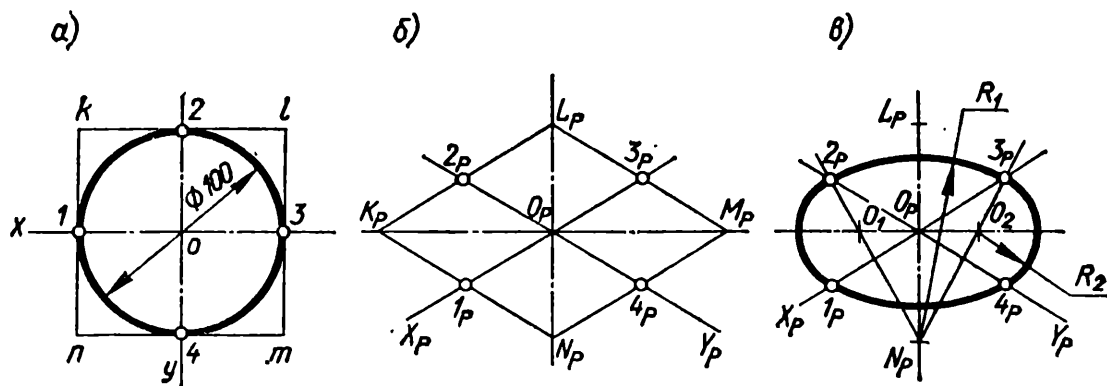


Рис. 210

точками $1_P—4_P$ и $2_P—3_P$ опишем дуги окружности радиуса $R_1 = N_P 2_P$, приняв точки N_P и L_P за центры этих дуг (рис. 210, в). Далее точки $N_P, 2_P$ и $N_P, 3_P$ соединим прямыми линиями и на пересечении их с большей диагональю ромба получим точки O_1 и O_2 — центры дуг окружности радиуса $R_2 = O_2 3_P$. Описав из центров O_1 и O_2 дуги окружности радиуса R_2 , закончим построение овала.

Овалы, заменяющие изометрические проекции окружностей, принадлежащих плоскостям V и W , строят аналогично разобранным примерам. При этом изменяется только направление осей (см. рис. 207).

Из двух описанных способов упрощенного построения изометрической проекции окружности следует отдать предпочтение первому как более точному. Преимущество второго способа только в его простоте (не нужно определять заранее размер осей овала). Им можно пользоваться при построении изометрических проекций фигур при отсутствии на них вырезов, например, целых цилиндров или конусов.

Построение изометрической проекции плоских кривых. Аксонометрические проекции плоских кривых, а также дуг окружностей больших радиусов строят по точкам. Разберем построение изометрической проекции контура, имеющего в своем очертании произвольную кривую (рис. 211, а) и принадлежащего плоскости V . На фронтальной проекции кривой линии контура наметим ряд точек $1', 2', \dots, 7'$ и определим их координаты x и z . Точки удобно задать так, чтобы они были расположены через одинаковые интервалы по одной из осей проекций, например по оси Z . Длину интервала по оси проекций следует брать в пределах 5...10 мм.

В изометрической проекции (рис. 211, б) отложим по оси Z_P для точек 1, 2, ..., 7 координаты z . Через точки, полученные на оси Z_P , проведем прямые, параллельные оси X_P , отложим на них соответствующие взятым точкам координаты x и получим точки $1_P, 2_P, \dots, 7_P$. Точки $1_P, 2_P, \dots, 7_P$ сначала соединим плавной кривой от руки, а затем обведем по лекалу.

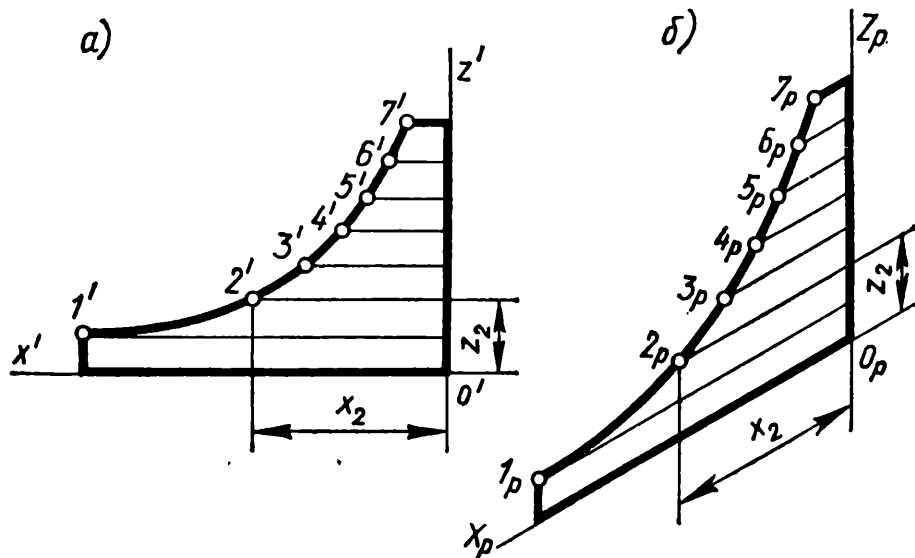


Рис. 211

Прямоугольную изометрическую проекцию применяют довольно широко благодаря простоте построения ее осей и одинаковому соотношению осей эллипсов — проекций окружностей, расположенных в плоскостях проекций или плоскостях, им параллельных. Однако нужно иметь в виду, что изометрическая проекция, построенная с округленными коэффициентами искажения, получается увеличенной и чем крупнее изображаемый предмет, тем более заметна разница между нормальной и увеличенной изометрической проекцией. Поэтому изометрическую проекцию крупных предметов следует строить с учетом коэффициентов искажения или помещать на отдельном формате.

§ 34. ПРЯМОУГОЛЬНАЯ ДИМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

Прямоугольная диметрическая проекция представляет собой аксонометрическую проекцию с направлением проецирования, перпендикулярным плоскости аксонометрических проекций, и с одинаковыми коэффициентами искажения по осям X_P и Z_P .

Ось X_P (рис. 212) составляет с горизонтальной прямой угол 7° , а ось Y_P — угол 41° . Ось Z_P занимает вертикальное положение. Оси диметрической проекции могут быть построены с помощью чертежного инструмента с круговой шкалой или циркуля. В последнем случае чертят вертикальную прямую (ось Z_P) и на ней намечают точку O_P (рис. 213, а). Взяв отрезок произвольной длины, откладывают его от точки O_P по оси Z_P два раза вверх и один раз вниз. Чтобы построить ось X_P описывают две дуги

окружности радиусов R_1 и R_2 до их взаимного пересечения в точке A (рис. 213, б). Проведя прямую через точки O_P и A , получают направление оси X_P . Для определения направления оси Y_P строят точку B (рис. 213, в), которая расположена на пересечении дуг окружностей радиусов R_2 и R_3 .

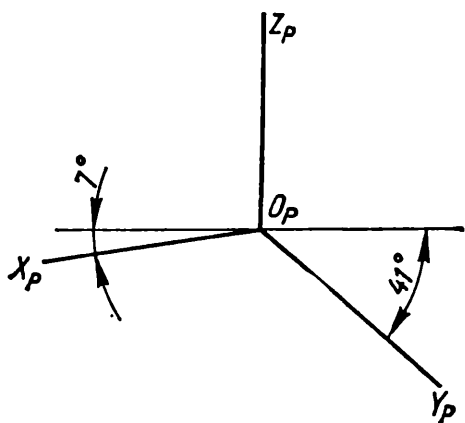


Рис. 212

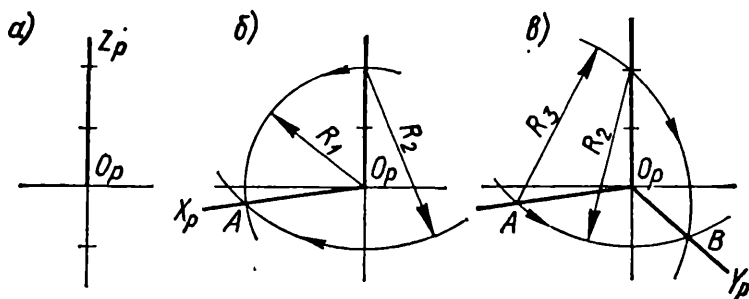


Рис. 213

В диметрической прямоугольной проекции коэффициенты искажения по осям X_P и Z_P равны 0,94, а по оси Y_P — 0,47. Первый коэффициент обычно округляют до единицы, а второй — до 0,5. Таким образом, при построении диметрической проекции отрезки, параллельные осям координат X и Z , сохраняют свою величину, а величину отрезков, параллельных оси Y , уменьшают в два раза.

Построение диметрической проекции плоских многоугольников. На рис. 214, а показано построение диметрической проекции прямоугольника, расположенного в плоскости V . Построив диметрические проекции осей X и Z — оси X_P и Z_P , от точки O_P по оси X_P откладывают отрезок a , а по оси Z_P — отрезок b . Че-

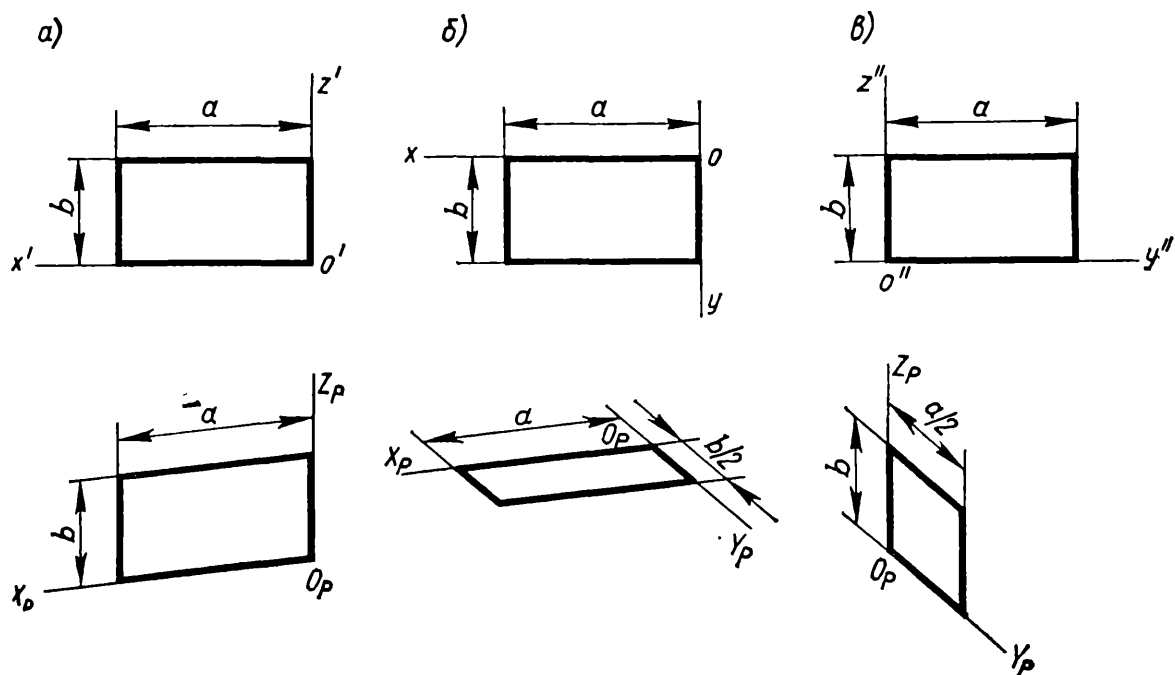


Рис. 214

рез концы построенных отрезков проводят прямые, параллельные осям X_P и Z_P , до их взаимного пересечения и получают параллелограмм — диметрическую проекцию заданного прямоугольника.

При построении диметрической проекции прямоугольника (многоугольника), вытянутого в одном направлении, и принадлежащего горизонтальной или профильной плоскостям, желательно с осью Y совмещать его меньшую сторону (рис. 214, б). Несоблюдение этого условия (рис. 214, в) приводит к значительному искажению формы прямоугольника (многоугольника) в диметрической проекции.

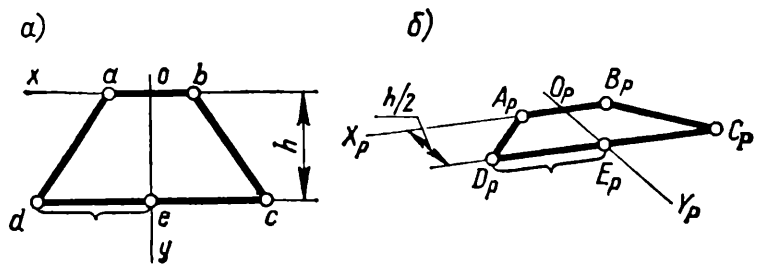


Рис. 215

Построение диметрической проекции плоской фигуры, имеющей ось симметрии.

Построение показано на примере трапеции $ABCD$, расположенной в плоскости H (рис. 215, а). С осью симметрии совмещена ось Y , а ось X со стороной AB (ab). Построив диметрические оси X_P и Y_P (рис. 215, б), откладывают по оси X_P в обе стороны от точки O_P — отрезки $A_P O_P = B_P O_P = ao$, а по оси Y_P — отрезок $O_P E_P = h/2$. Через точку E_P проводят прямую, параллельную оси X_P , и на ней строят сторону $C_P D_P$ с помощью отрезков $D_P E_P = C_P E_P = de$. Соединив прямыми линиями вершины A_P, D_P и B_P, C_P , получают диметрическую проекцию трапеции $ABCD$.

Построение диметрической проекции окружностей. Диметрические проекции окружностей (рис. 216), расположенных в горизонтальных и профильных плоскостях, или плоскостях им параллельных, представляют собой эллипсы с большой осью, равной $1,06 D_{окр}$, а малой — $0,35 D_{окр}$. Окружности же, расположенные во фронтальной плоскости, проецируются в виде эллипсов с большой осью, равной $1,06 D_{окр}$, а малой — $0,94 D_{окр}$. Большие оси эллипсов всегда перпендикулярны той аксонометрической оси, которая не принадлежит плоскости изображаемой окружности, а малые совпадают с направлением этой оси.

Размеры осей эллипсов подсчитывают арифметически или определяют графически с помощью углового масштаба. Для построения углового масштаба (рис. 217) чертят три прямоугольных треугольника OAB , OAC и OAD , имеющих общий катет OA длиной 100 мм, на котором наносят миллиметровые деления. Длину катета AB задают равной 35 мм, AC — 94 мм и AD — 106 мм. В построенных треугольниках гипотенузы OB , OC и OD имеют уклоны соответственно 35/100, 94/100 и 106/100, что позволяет использовать их для определения размеров осей эллипсов.

Графическое определение размеров осей эллипсов показано на примере окружности диаметром 65 мм. Для построения диметри-

овал. Для этого по вертикальной прямой вверх и вниз от точки O_P откладывают отрезки $O_P O_1 = O_P O_2 = 106$ мм и получают центры O_1 и O_2 . Точки O_3 и O_4 строят, отложив от концов большой оси точек A и B отрезки, равные $1/4$ малой оси CD , т. е. $35/4$ мм. Затем проводят прямые $O_1 O_3$ и $O_1 O_4$, а также прямые $O_2 O_3$ и $O_2 O_4$, на которых расположены точки сопряжения дуг овала (рис. 218, б). Между этими прямыми проводят дуги окружности радиуса $R_1 = O_2 C$ с центрами в точках O_1 и O_2 и дуги окружности радиуса $R_2 = O_3 A$ с центрами в точках O_3 и O_4 .

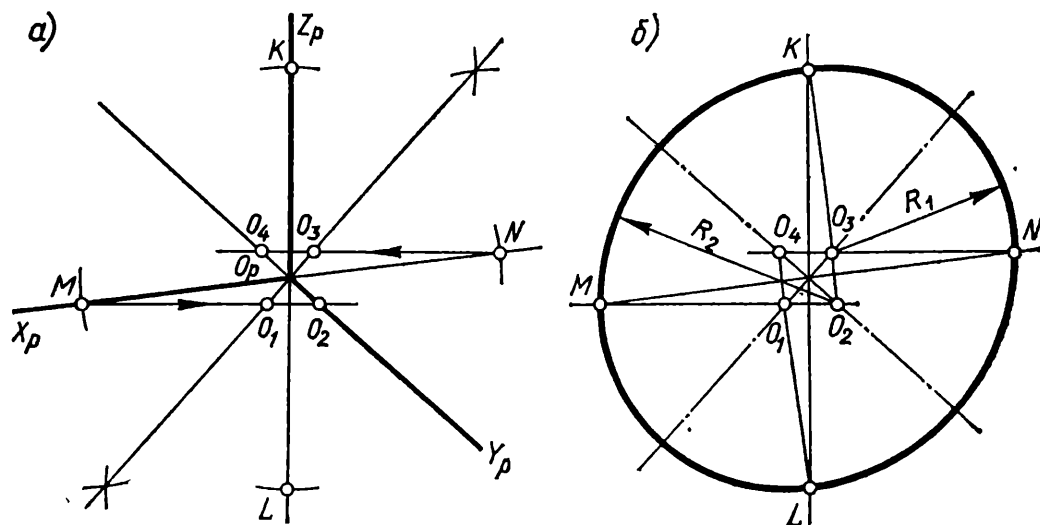


Рис. 219

Проекцию окружности, расположенной в плоскости V , заменяют овалом с осями, равными $1,06 \cdot 100 = 106$ мм, и $0,94 \cdot 100 = 94$ мм. Строят оси диметрической проекции X_P, Y_P, Z_P (рис. 219, а) и проводят через точку O_P прямую, перпендикулярную оси Y_P . Малая ось овала расположена на оси Y_P , а большая — на прямой, ей перпендикулярной. Отложив на осях X_P и Z_P радиус заданной окружности, т. е. отрезки $O_P M = O_P K = O_P N = O_P L = 50$ мм, получают точки M, K, N, L — точки сопряжения дуг овала. Чтобы построить центры дуг окружностей, из которых состоит вал, проводят через точки M и N горизонтальные прямые. В пересечении этих прямых с осью Y_P и перпендикуляром к ней получают искомые точки O_1, O_2, O_3, O_4 . Из центров O_1 и O_3 проводят дуги окружности радиуса $R_1 = O_3 K$ (рис. 219, б), а из центров O_2 и O_4 — дуги окружности радиуса $R_2 = O_2 M$.

С помощью прямоугольной диметрической проекции получают наиболее наглядные изображения, поэтому ей следует отдавать предпочтение перед другими видами аксонометрических проекций.

§ 35. ФРОНТАЛЬНАЯ ДИМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

Фронтальная диметрическая проекция относится к косоугольным аксонометрическим проекциям, так как ее получают с помощью проецирующих прямых, не перпендикулярных плоскости аксонометрических проекций P . Для построения фронтальной ди-

метрической проекции оси прямоугольных координат X и Z располагают параллельно плоскости P , поэтому коэффициенты искажения по осям X_P и Z_P равны единице. Направление проецирования выбирают так, чтобы коэффициент искажения по оси Y_P был равен 0,5. Оси X_P и Z_P взаимно перпендикулярны, а ось Y_P составляет с ними углы, равные 135° (рис. 220). При построении фронтальной диметрической проекции отрезки, параллельные осям координат X и Z , сохраняют свою величину, а отрезки, параллельные оси Y , уменьшают в два раза.

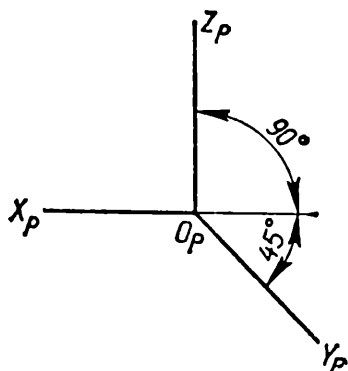


Рис. 220

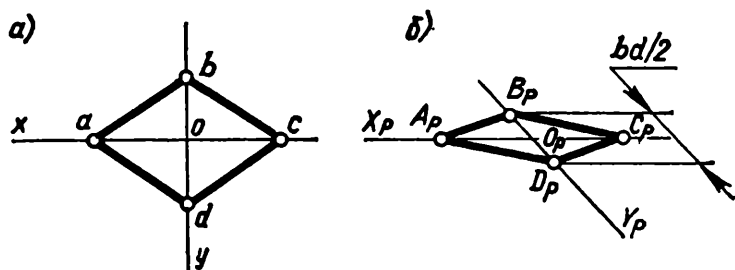


Рис. 221

Построение фронтальной диметрической проекции плоских многоугольников. При изображении плоской фигуры во фронтальной диметрической проекции желательно, чтобы ось Y была направлена параллельно меньшему размеру фигуры. Например, при построении фронтальной диметрической проекции ромба $ABCD$ (рис. 221, а), расположенного в плоскости H и заданного горизонтальной проекцией $abcd$, оси координат X и Y совмещены с осями симметрии ромба так, что ось Y совпадает с его меньшей диагональю BD (bd). Ромб $A_P B_P C_P D_P$ (рис. 221, б) строят по его диагоналям, отложив по оси X_P диагональ $A_P C_P = ac$, а по оси Y_P диагональ $B_P D_P = bd/2$.

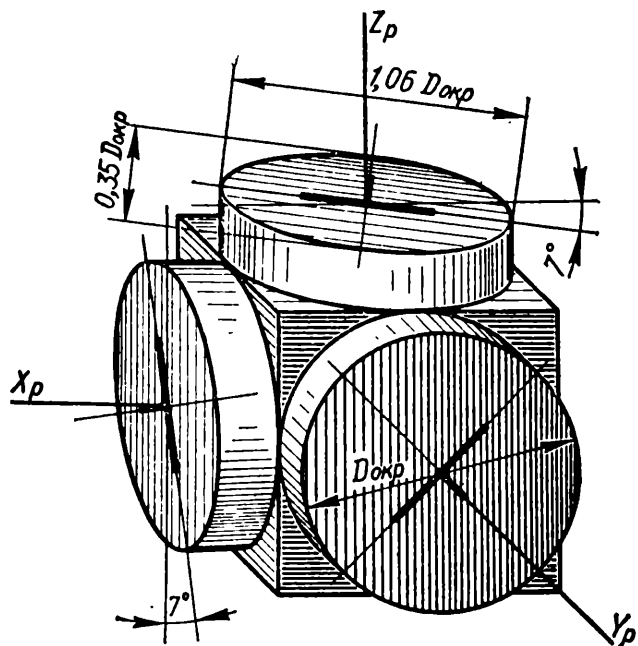


Рис. 222

Построение фронтальной диметрической проекции окружностей (рис. 222). Окружность, расположенная в плоскости V или плоскостях ей параллельных, во фронтальной диметрической проекции не искажается. Окружности же, расположенные в плоскостях H и W или им параллельных, проецируются в виде эллипсов с большой осью, равной $1,06 D_{окр}$ и малой осью, равной $0,35 D_{окр}$, где $D_{окр}$ — диаметр изображаемой окружности.

Построение упрощенных изоб-

ражений окружностей, т. е. овалов, заменяющих эллипсы, осуществляется так же, как и в прямоугольной диметрической проекции (см. § 34, рис. 218). Единственное отличие состоит в том, что большая ось овала, заменяющего проекцию окружности, расположенной в плоскости H , отклонена от горизонтальной прямой на угол 7° (рис. 222).

При построении фронтальной диметрической проекции фигуры, расположенные во фронтальной плоскости или плоскости ей параллельной, не искажаются. Поэтому этот вид аксонометрической проекции рекомендуется использовать в тех случаях, когда целесообразно получить истинный вид плоской фигуры. Фронтальная диметрическая проекция также удобна для изображения предметов, имеющих в своих очертаниях окружности или криволинейные контуры, расположенные во фронтальной плоскости или в плоскостях ей параллельных.

Контрольные вопросы и упражнения. 1. Определите графически большую и малую оси эллипсов для построения изометрической проекции окружности диаметром 60 мм. 2. Постройте изометрическую проекцию правильного пятиугольника, расположенного в плоскости H и вписанного в окружность диаметра 70 мм. 3. Перечислите коэффициенты искажения для каждой аксонометрической оси прямоугольной диметрической проекции. 4. Постройте диметрическую проекцию заданного контура (рис. 206, а). 5. Постройте фронтальную диметрическую проекцию окружности диаметра 60 мм, расположенной в профильной плоскости.

Глава 9

ПРОЕКЦИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ

§ 36. ПОСТРОЕНИЕ ПРОЕКЦИЙ МНОГОГРАННИКОВ

Построение проекций многогранников сводится к построению проекций геометрических фигур образующих их поверхности, т. е. плоских многоугольников, отрезков прямых линий и точек.

Призма. Рассмотрим построение проекций правильной шестиугольной призмы (рис. 223). Основания призмы параллельны плоскости H , поэтому они проецируются на нее без искажения в виде правильного шестиугольника, а на плоскости V и W — в виде отрезков прямых. •

Боковые грани призмы перпендикулярны ее основаниям и одновременно плоскости H . Следовательно, они проецируются на плоскость H в виде отрезков — сторон шестиугольника. Призма расположена так, что две ее боковые грани параллельны плоскости V , т. е. проецируются на нее без искажения (на рис. 223 обозначена одна из них — грань $ABCD$). На плоскости W эти же грани изображаются в виде отрезков прямых, так как они перпендикулярны профильной плоскости. Остальные боковые грани наклонены к плоскостям V и W и поэтому проецируются на них с искажением (на рис. 223 одна из этих граней выделена штриховкой).

Боковые ребра призмы перпендикулярны плоскости H . Их горизонтальные проекции — точки, совпадающие с вершинами шестиугольника, а фронтальные и профильные проекции — отрезки, равные длине боковых ребер.

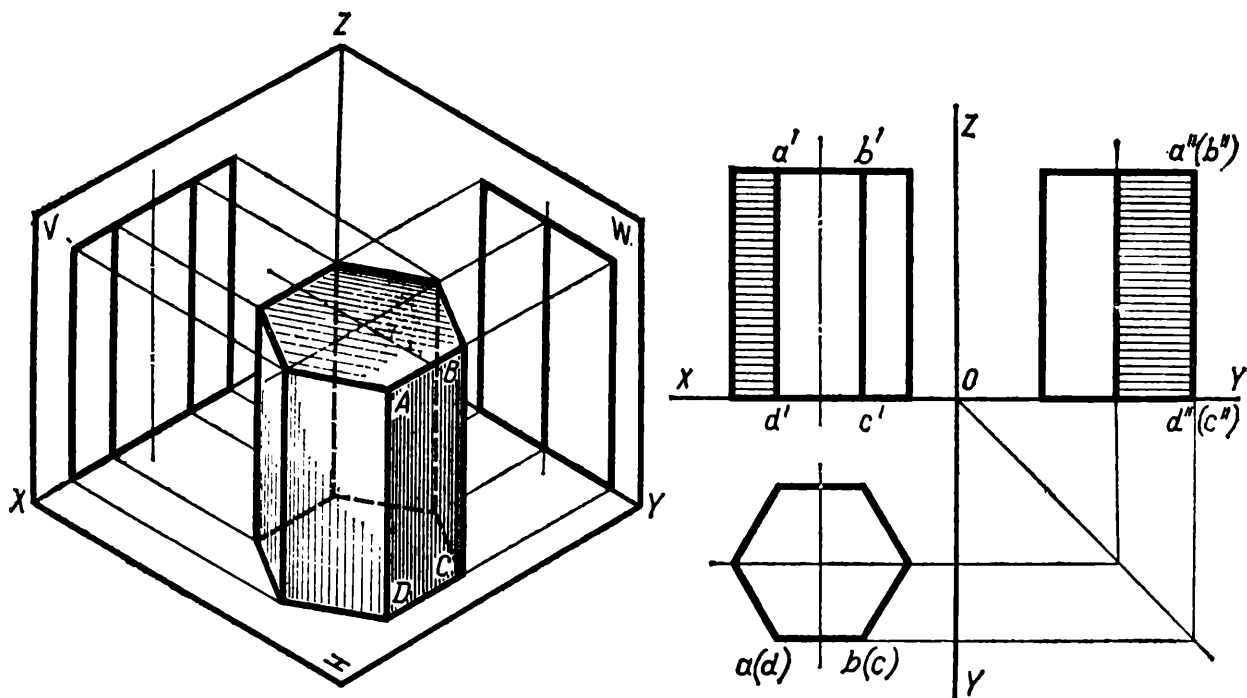


Рис. 223

Построение проекций точек и отрезков прямых линий, принадлежащих поверхности прямой призмы. Для различных построений, связанных с геометрическим телом, удобно использовать прямоугольную систему координат, объединенную непосредственно с телом. Координатные плоскости такой системы обычно совмещают с плоскостями симметрии тела. Для примера на рис. 224, a обозначены проекции этих осей. Если на поверхности геометрического тела строят точку или линию, то вначале ее задают на одной проекции и подразумевают, что она видима. Затем на всех проекциях находят изображение той поверхности, которой

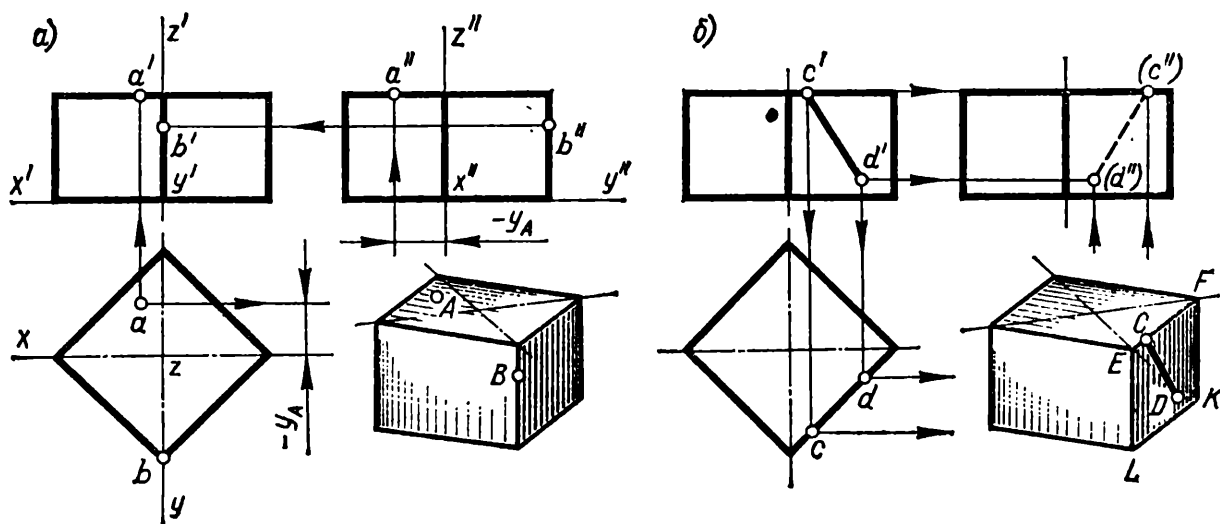


Рис. 224

принадлежит точка (линия), и строят ее недостающие проекции. Например, на верхнем основании четырехугольной призмы имеется точка A и известна ее горизонтальная проекция a (рис. 224, a). Фронтальную a' и профильную a'' проекции точки A строят с помощью линий связи, проведенных через точку a и продолженных до пересечения в точках a' и a'' с отрезками прямых — проекциями верхнего основания призмы на плоскостях V и W . Линию связи с горизонтальной проекции на профильную переносят с помощью координаты — y_A точки A .

На рис. 224, a построены проекции еще одной точки — точки B , которая задана своей профильной проекцией b'' .

Этот пример разберите самостоятельно.

Построение линий, расположенных на гранях призмы, также сводится к построению проекций точек, например, концов отрезка. Пусть отрезок CD , принадлежащий боковой грани $EFKL$ призмы, задан своей фронтальной проекцией $c'd'$ (рис. 224, b). Вначале на плоскостях H и W находят проекции грани $EFKL$. Боковые грани данной призмы перпендикулярны плоскости H и поэтому проецируются на нее в виде отрезков — сторон квадрата. Следовательно, горизонтальная проекция отрезка CD (отрезок cd) совпадает с одной из сторон квадрата — горизонтальной проекцией грани $EFKL$. Профильную $c''d''$ проекцию отрезка CD строят по его горизонтальной cd и фронтальной $c'd'$ проекциям. Профильную проекцию $c''d''$ изображают штриховой линией, так как отрезок CD лежит на грани, которая на плоскости W невидима.

Построение аксонометрической проекции призмы. Приступая к построению аксонометрической проекции геометрического тела (предмета), следует выбрать вид аксонометрии, обеспечивающий наибольшую наглядность изображения. Затем геометрическое тело или предмет связывают с системой прямоугольных координат, оси которой обычно совмещают с осями симметрии тела (предмета) или с гранями, параллельными плоскостям проекций.

Рассмотрим построение диметрической проекции прямой пятиугольной призмы, которая связана с осями координат так, как показано на рис. 225, a . Строят оси диметрической проекции X_P, Y_P, Z_P (рис. 225, b) и по оси X_P от точки O_P откладывают отрезок $O_P O_{1P} = L$, т. е. длину призмы. Через точку O_{1P} проводят прямые, параллельные осям Y_P и Z_P . Отложив на прямой, параллельной оси Y_P (рис. 225, $в$), отрезки $O_{1P} A_P = O_{1P} B_P = o_1'' a'' / 2$, получают вершины левого основания призмы — точки A_P и B_P . На прямой, параллельной оси Z_P , откладывают отрезок $O_{1P} D_P = o_1'' d''$ и получают вершину D_P . Для построения вершин C_P и E_P на прямой, параллельной оси Z_P , откладывают отрезок $O_{1P} I_P = o_1'' l''$ и через точку I_P проводят прямую, параллельную оси Y_P , на которой в обе стороны от точки I_P откладывают отрезки $I_P E_P = I_P C_P = = l'' e'' / 2$. Последовательно соединив точки A_P, B_P, C_P, D_P и E_P , получают диметрическую проекцию левого основания призмы.

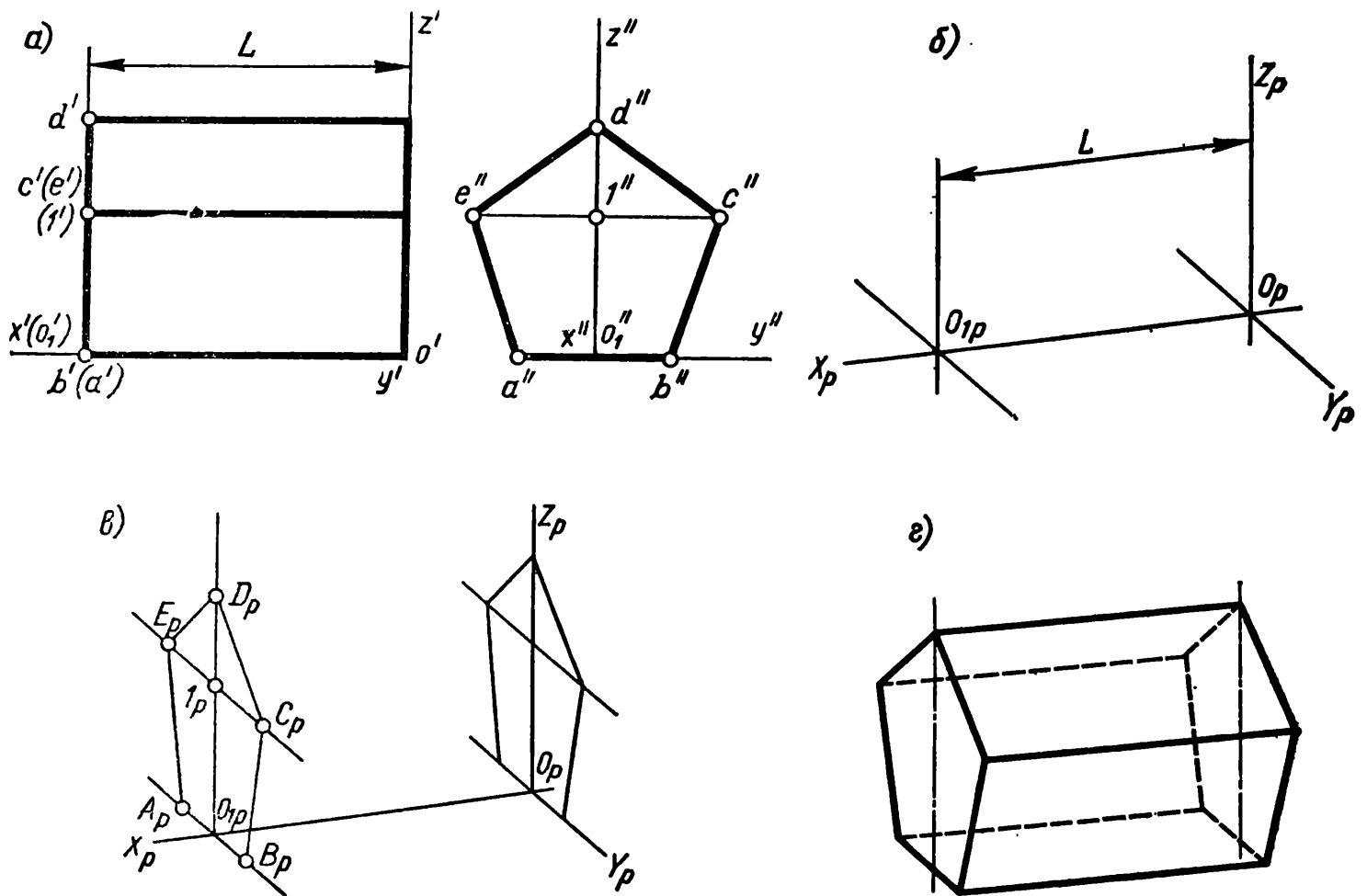


Рис. 225

Правое основание призмы строят аналогично левому. Соединив прямыми линиями противоположные вершины обеих оснований, получают проекции боковых ребер призмы (рис. 225, *г*). При обводке диметрической проекции призмы контурными линиями следует выделить ее видимые ребра и штриховыми изобразить невидимые ребра.

Пирамида. На рис. 226 показано построение проекций правильной треугольной пирамиды $SABC$. Основание пирамиды —

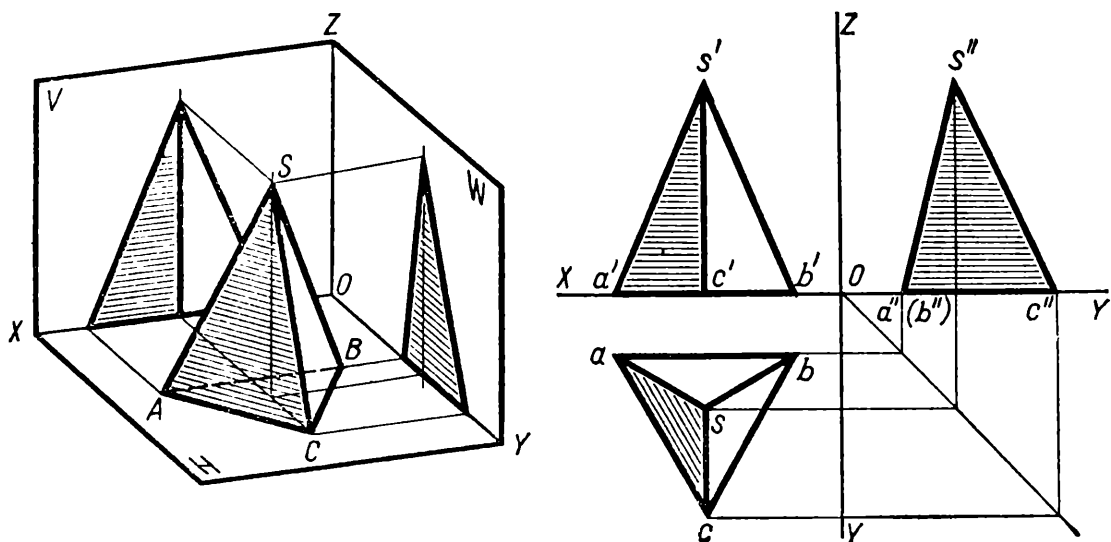


Рис. 226

$\triangle ABC$ — принадлежит плоскости H , поэтому его горизонтальная проекция $\triangle abc$ равна натуральной величине $\triangle ABC$, а на плоскости V и W основание проецируется в виде отрезков $a'b'$ и $a''c''$.

Боковые грани пирамиды $SABC$ равны между собой. На проекциях они искажены, так как две из них — грани ASC и BSC — занимают общее положение, а грань ASB расположена перпендикулярно плоскости W . На плоскость W грань ASB проецируется в виде отрезка $a''s''$.

Боковые ребра пирамиды также равны между собой. Из них только ребро SC , параллельное плоскости W , проецируется на нее без искажения, т. е. $|s''c''| = |SC|$. Ребра SA и SB занимают общее положение и проецируются на плоскости H , V и W с искажением.

Построение проекций точек и линий, принадлежащих поверхности пирамиды. Построение проекций точек и линий, расположенных на гранях пирамиды, занимающих проецирующее положение, ничем не отличается от построения точек на гранях прямой призмы. В тех же случаях, когда точки или линии принадлежат граням пирамиды, занимающим общее положение, проекции их строят основываясь на следующем положении: точка принадлежит плоскости, если она расположена на прямой, лежащей в этой плоскости. Следовательно, чтобы задать точку, принадлежащую плоскости общего положения, надо задать в этой плоскости прямую и на ней взять точку.

Рассмотрим построение проекций точки N принадлежащей боковой грани ASB правильной шестиугольной пирамиды (рис. 227) и заданной своей горизонтальной проекцией — точкой n .

Грань ASB занимает общее положение, поэтому для построения проекций точки N необходима вспомогательная прямая. За вспомогательную прямую можно принять любую прямую, проведенную через точку N на грани ASB . Чтобы сократить построения, вспомогательную прямую следует проводить параллельно одному из ребер грани ASB или через вершину S пирамиды.

На рис. 227 проекции точки N построены с помощью горизонтали $EN \parallel AB$. Через заданную проекцию точки N — точку n , про-

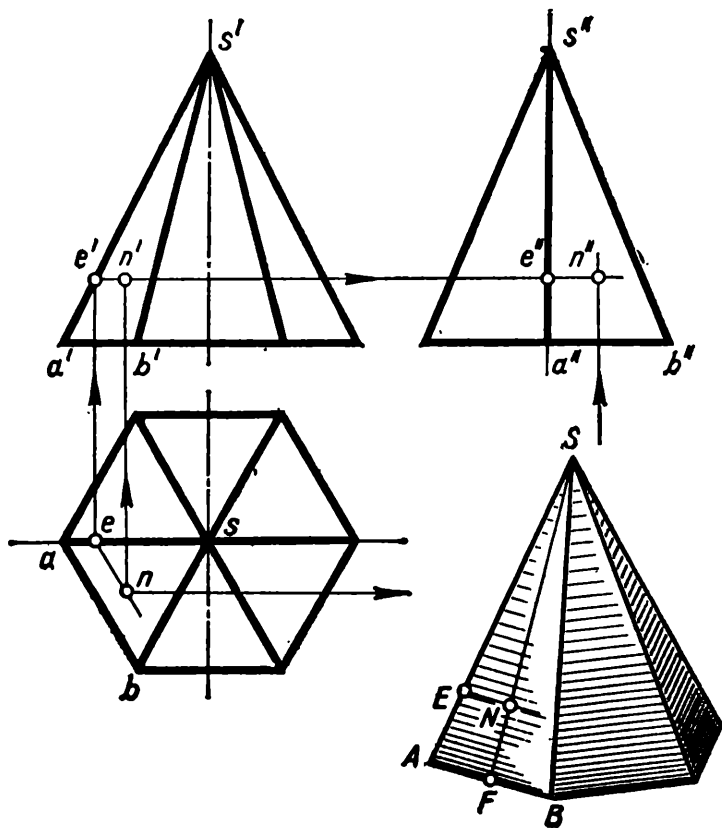


Рис. 227

водят прямую $en \parallel ab$ и определяют фронтальную e' и профильную e'' проекции точки E как точки, принадлежащей боковому ребру SA . Затем проводят прямые $e'n' \parallel a'b'$ и $e''n'' \parallel a''b''$ и на пересечении линий связи, проходящих через точку n , с прямыми $e'n'$ и $e''n''$ получают искомые проекции точки N — точки n' и n'' .

Проекции точки N с помощью вспомогательной прямой SF постройте самостоятельно.

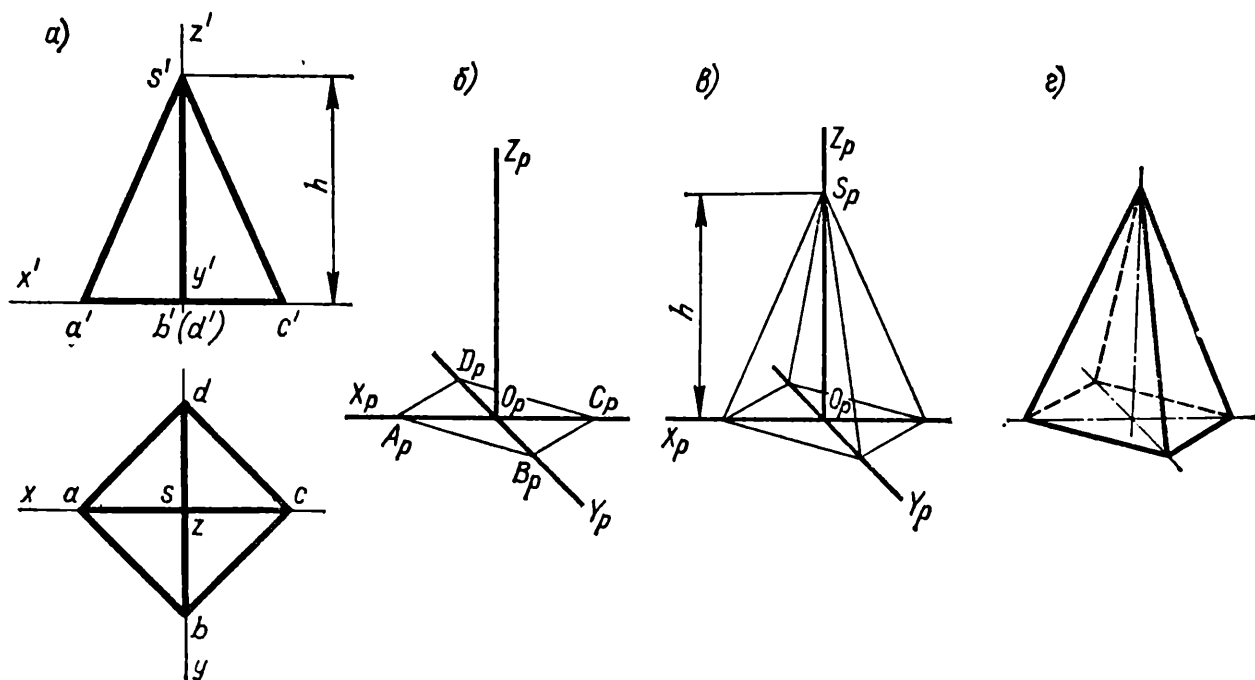


Рис. 228

Построение аксонометрической проекции пирамиды. Рассмотрим построение фронтальной диметрической проекции правильной четырехугольной пирамиды (рис. 228, а). Оси координат совмещают с осями симметрии пирамиды и строят их диметрическую проекцию (рис. 228, б). Вначале строят диметрическую проекцию основания пирамиды — квадрата $ABCD$. По оси X_p в обе стороны от точки O_p откладывают отрезки $O_pA_p = O_pC_p = ac/2$, а по оси Y_p — $O_pB_p = O_pD_p = bd/4$ и последовательно соединяют прямыми линиями вершины A_p, B_p, C_p, D_p . Затем строят проекцию вершины пирамиды S . По оси Z_p от точки O_p откладывают высоту h пирамиды и получают точку S_p . Соединив прямыми линиями вершину S_p с точками A_p, B_p, C_p, D_p , получают диметрическую проекцию боковых ребер пирамиды (рис. 228, в). При обводке диметрической проекции пирамиды следует выделить на ней видимые и невидимые ребра (рис. 228, г).

Контрольные вопросы и упражнения. 1. Как построить проекции точки, расположенной на грани пирамиды, если эта грань является плоскостью общего положения? 2. Постройте три проекции прямой треугольной призмы высотой 50 мм, основанием которой служит равносторонний треугольник, вписанный в окружность диаметра 50 мм. 3. Постройте изометрическую и фронтальную диметрическую проекции прямой пирамиды, основанием которой служит правильный пятиугольник. Размеры пирамиды задайте самостоятельно.

§ 37. ПОСТРОЕНИЕ ПРОЕКЦИЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Проекции тел вращения представляют собой сочетание проекций их оснований и образующих.

Цилиндр. Построим проекции прямого кругового цилиндра с диаметром основания $D_{ц}$ и высотой h (рис. 229, а). Основания цилиндра параллельны плоскости H , поэтому на горизонтальной проекции они изображены без искажения в виде круга диаметра $D_{ц}$ (рис. 229, б). Образующие цилиндрической поверхности перпендикулярны плоскости H и проецируются на нее в виде точек, расположенных на окружности диаметра $D_{ц}$, т. е. горизонтальная проекция боковой поверхности цилиндра —

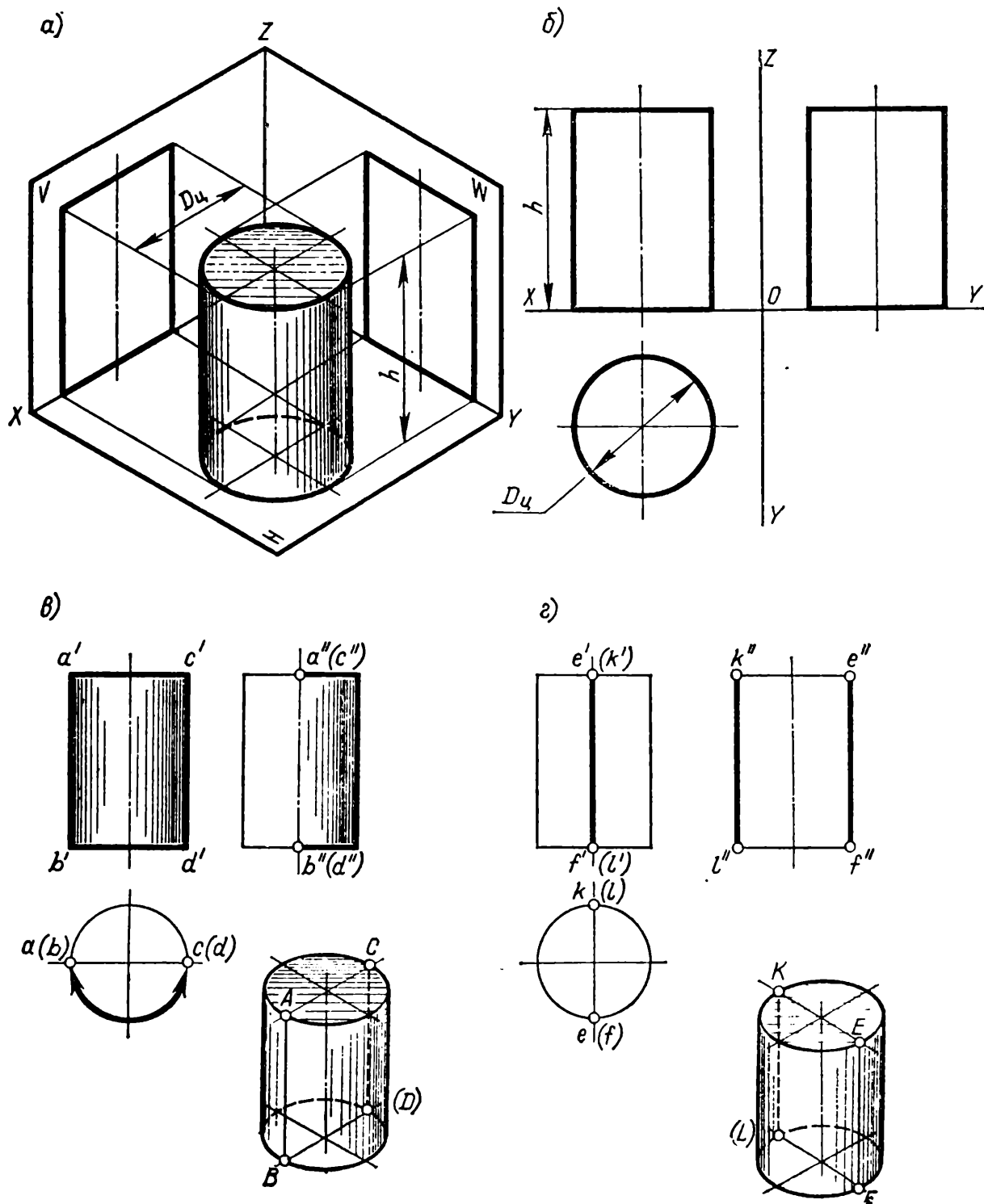


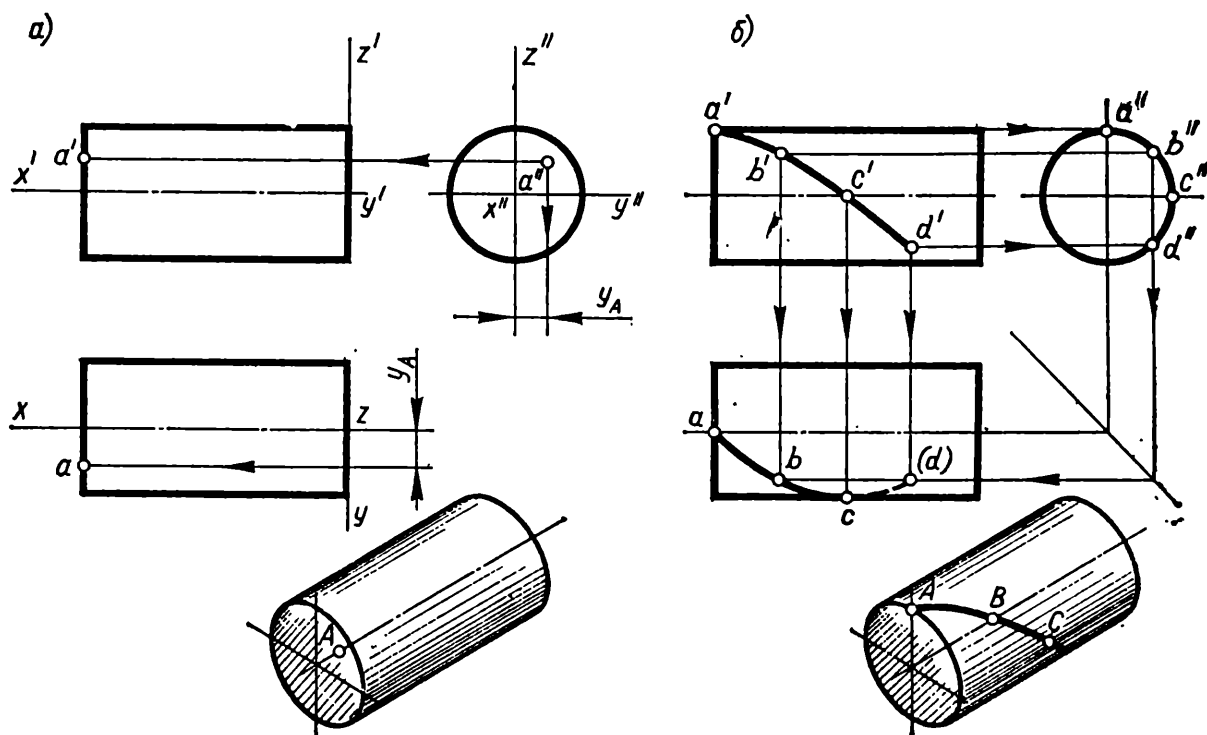
Рис. 229

окружность. На плоскости V и W цилиндр проецируется в виде одинаковых прямоугольников. Высота их равна высоте h цилиндра, а ширина — диаметру окружности основания $D_{ц}$.

Фронтальная и профильная проекции цилиндрической поверхности ограничены образующими, называемыми *очерковыми*. Образующие цилиндра AB и CD являются очерковыми по отношению к плоскости V и разделяют цилиндрическую поверхность на две части: переднюю, видимую на плоскости V и заднюю, невидимую на плоскости V . На рис. 229, *в* на всех проекциях выделена передняя часть цилиндрической поверхности. Образующие цилиндра EF и KL (рис. 229, *г*) являются очерковыми по отношению к плоскости W и служат границей видимости цилиндрической поверхности на плоскости W .

Построение проекций точек и линий, принадлежащих поверхности прямого кругового цилиндра. Если точка задана на основании цилиндра, то ее проекции строят как проекции точки, принадлежащей плоскости. Для примера на рис. 230, *а* показано построение проекций точки A , заданной своей профильной проекцией a'' и принадлежащей левому основанию цилиндра.

Любая линия, нанесенная на боковой поверхности прямого кругового цилиндра, проецируется в виде дуги окружности на плоскость, перпендикулярную оси цилиндра. На рис. 230, *б* на цилиндрическую поверхность нанесена некоторая кривая $ABCD$, которая задана своей фронтальной проекцией $a'b'c'd'$. На плоскость W эта кривая проецируется в виде дуги $a''d''$. Горизонтальные проекции точек кривой строят по их фронтальным и профильным проекциям. Полученные точки a, b, c, d соединяют плавной линией. Часть горизонтальной проекции кривой изображают штриховой линией, так как кривая между точками C и D принад-



лежит нижней части цилиндрической поверхности и на плоскости H невидима.

Построение аксонометрической проекции цилиндра. Для примера построена изометрическая проекция прямого кругового цилиндра с осью, перпендикулярной плоскости H (рис. 231, а).

Цилиндр связывают с осями координат, строят их изометрические проекции — оси X_P, Y_P, Z_P (рис. 231, б) и по оси Z_P от точки O_P откладывают отрезок $O_P O_{1P} = h$. Через точку O_{1P} проводят прямые, параллельные осям X_P и Y_P . Затем чертят овалы (рис. 231, в), заменяющие изометрические проекции оснований цилиндра (построение овалов описано на с. 113). Далее проводят очерковые образующие изометрической проекции цилиндра, которые являются касательными к овалам (рис. 231, г), и обводят проекции, учитывая видимые и невидимые линии.

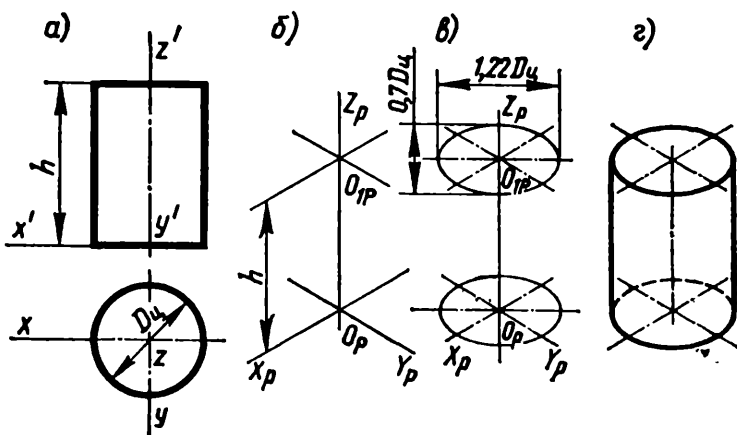


Рис. 231

Изометрическую проекцию цилиндра с осью, перпендикулярной плоскости W (рис. 232), строят в той же последовательности. Отличие состоит лишь в том, что высоту h откладывают по оси X_P и большие оси овалов проводят перпендикулярно оси X_P (соответственно малые оси овалов совпадают с осью X_P).

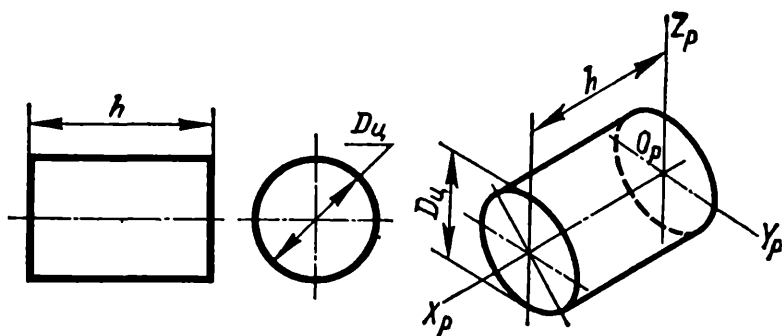


Рис. 232

Конус. Рассмотрим проекции прямого кругового конуса высотой h и с диаметром основания D_K заданного на рис. 233. На плоскость H конус проецируется в виде круга диаметра D_K . В центре круга расположена горизонтальная проекция вершины конуса — точка s , а внутри его — горизонтальные проекции всех образующих конуса. На плоскость H все образующие конуса проецируются с одинаковым искажением, так как наклонены к ней под одним и тем же углом (сравните длину отрезков sa и sc).

На плоскости V и W конус проецируется в виде равнобедренных треугольников с длиной основания, равной диаметру D_K и высотой, равной h . Фронтальная проекция конической поверхности ограничена очерковыми образующими SA и SB . Они разделяют коническую поверхность на две части: переднюю, видимую на

фронтальной проекции, и заднюю, невидимую. Образующие SA и SB параллельны плоскости V и проецируются на нее без искажения. Профильная проекция конической поверхности ограничена другой парой очерковых образующих, параллельных плоскости W .

Проекции этих образующих учащимся предлагается построить самостоятельно.

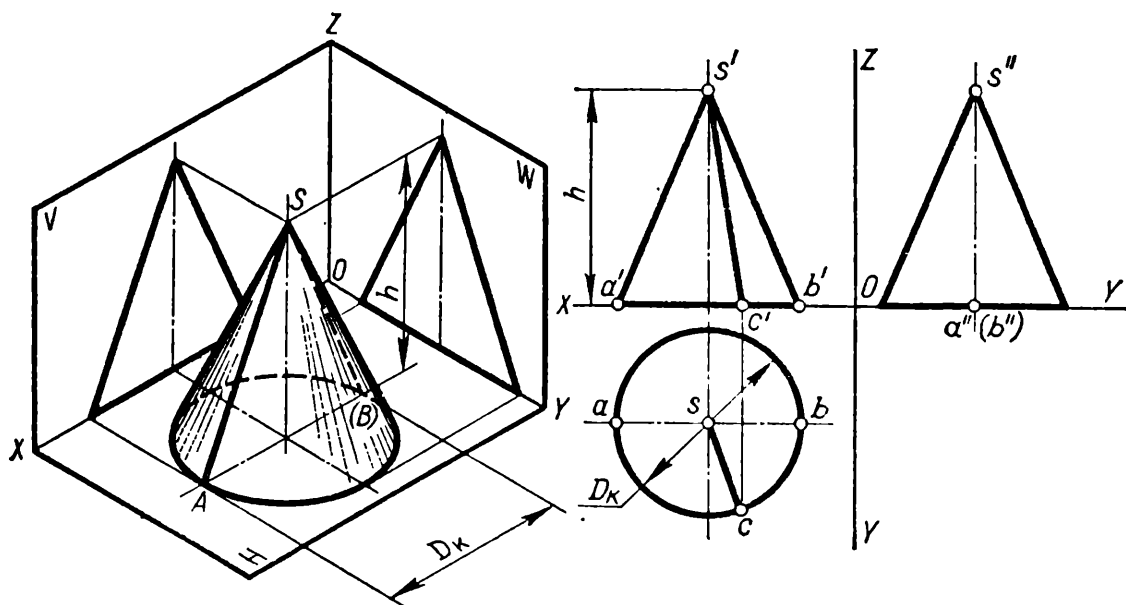


Рис. 233

Построение проекций точек, принадлежащих поверхности прямого кругового конуса. Если точки принадлежат очерковым образующим конуса или окружности основания, то их проекции строят с помощью линий связи. Например, так построены проекции точки C (рис. 234, а), принадлежащей очерковой образующей и заданной своей фронтальной проекцией — точкой c' .

Проекции точек, принадлежащих конической поверхности, строят с помощью окружностей или образующих, проведенных через заданные точки. Это основано на положении: точка принадлежит поверхности, если она принадлежит линии этой поверхности. Пусть на боковой поверхности прямого конуса имеется точка A , которая задана своей фронтальной проекцией — точкой a' (рис. 234, а). Для построения остальных проекций точки A использована вспомогательная окружность радиуса R_A . Эта окружность получена при сечении конуса плоскостью P , перпендикулярной его оси и проведенной через точку A .

Вначале строят горизонтальную проекцию вспомогательной окружности и на пересечении ее с линией связи, проведенной через точку a' , получают точку a . Профильную проекцию a' точки A строят по ее горизонтальной и фронтальной проекциям. Точка A принадлежит невидимой на плоскости W половине конической поверхности, поэтому точка a'' заключена в скобки.

На рис. 234, б показано построение проекций точки B , принадлежащей конической поверхности и заданной своей горизон-

тальной проекцией — точкой b , с помощью образующей SC . Через точку b проводят прямую sc — горизонтальную проекцию образующей конуса SC . Затем строят остальные проекции образующей — отрезки $s''c''$ и $s'c'$. Точка B принадлежит образующей SC , поэтому проекции точки B находят на одноименных проекциях образующей SC .

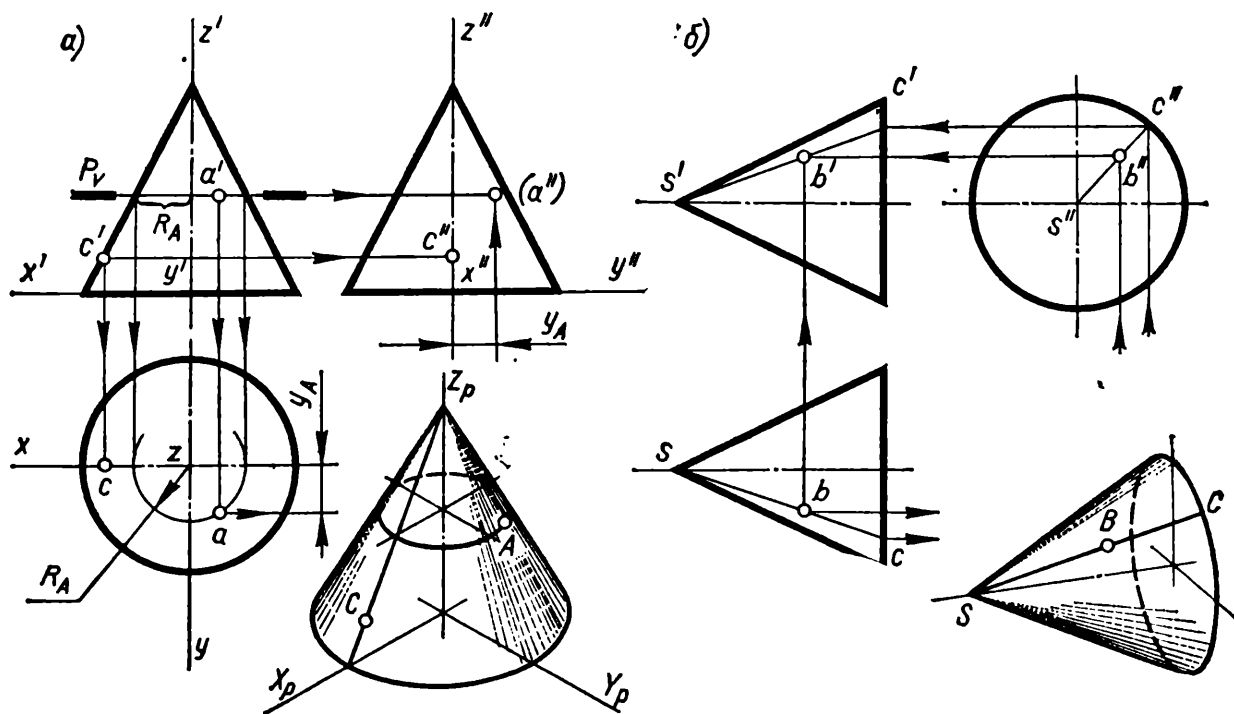


Рис. 234

Построение аксонометрической проекции конуса. На рис. 235 показано построение диметрической проекции прямого кругового конуса с вертикальной осью (рис. 235, а). Вначале изображают диметрические оси X_p, Y_p, Z_p (рис. 235, б). Затем строят овал с осями, равными $1,06 D_k$ и $0,35 D_k$ (построение овала см. с. 118), приблизительно заменяющий диметрическую проекцию основания

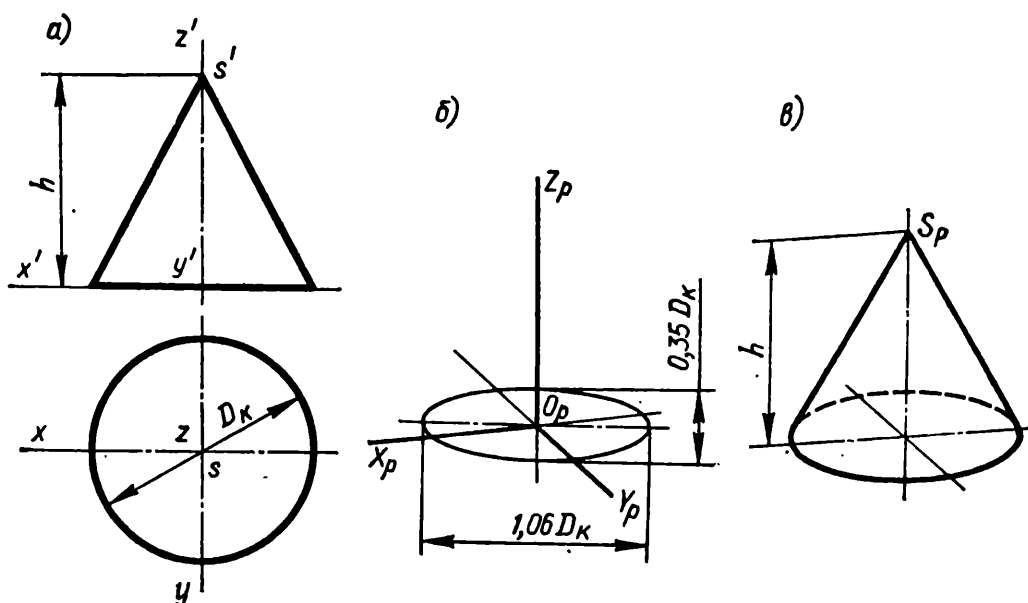


Рис. 235

конуса. Далее, отложив по оси Z_P от точки O_P высоту h конуса, получают проекцию вершины S конуса — точку S_P . Через точку S_P проводят прямые, касательные к овалу, — очерковые образующие конуса. Затем обводят диметрическую проекцию, выделив штриховыми линиями невидимые дуги овала (рис. 235, в).

На рис. 236 построена диметрическая проекция конуса с горизонтальной осью. В этом случае большая ось овала перпендикулярна оси X_P , а малая совпадает с ней.

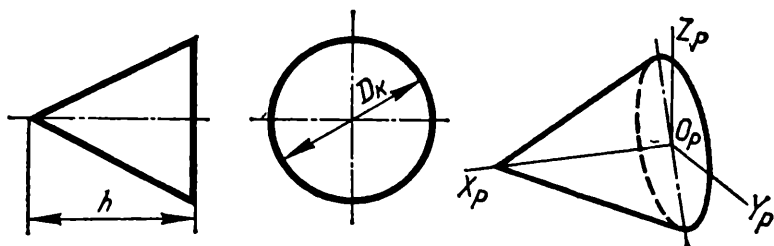


Рис. 236

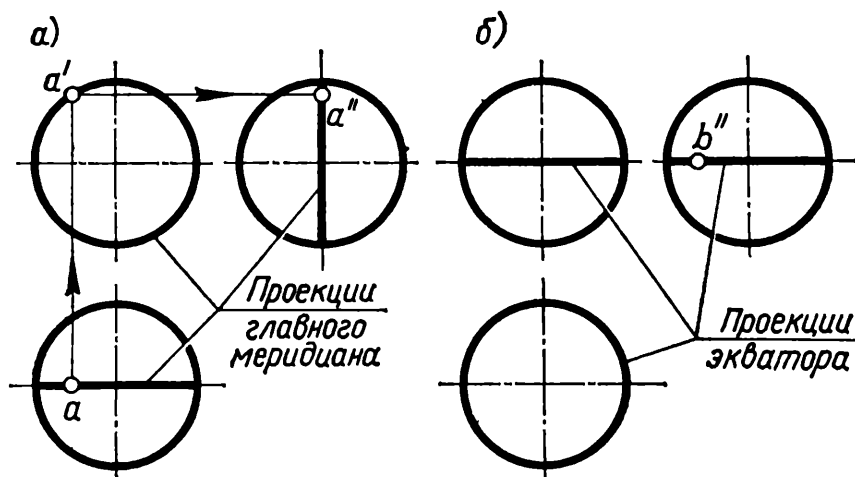


Рис. 237

Шар. Шар проецируется на любую плоскость в виде круга, диаметр которого равен диаметру шара. Очерковой образующей шара на плоскости V является проекция окружности, называемой *главным меридианом* (рис. 237, а). Главный меридиан служит границей между передней и задней частями поверхности шара. Точки, принадлежащие передней части шаровой поверхности, видимы на фронтальной проекции.

На плоскости H очерковой образующей шара служит проекция окружности, называемой *экватором* (рис. 237, б). Экватор делит шаровую поверхность на верхнюю и нижнюю части. На горизонтальной проекции видимы точки шаровой поверхности, расположенные выше экватора.

Очерковой образующей шара на плоскости W является проекция окружности, называемой *профильным меридианом*. Профильный меридиан служит границей видимости шаровой поверхности относительно плоскости W и разделяет шаровую поверхность на левую, видимую часть и правую, невидимую.

Учащимся предлагается самостоятельно определить проекции профильного меридиана.

Построение проекций точек, принадлежащих поверхности шара. Построение проекций точек, принадлежащих очерковым окружностям шаровой поверхности, сводится к проведению линий связи. Для примера построены проекции точки A , принадлежащей главному меридиану и заданной своей горизонтальной проекцией a (рис. 237, а).

Проекция точки B , принадлежащей экватору шара и заданной профильной проекцией b'' (рис. 237,б), учащимся предлагается построить самостоятельно.

Если точка шаровой поверхности не принадлежит его очерковым образующим, то проекции точки строят с помощью окружности. Окружность проводят на поверхности шара через заданную точку параллельно одной из плоскостей проекций.

На рис. 238 показано построение проекций точки C , расположенной на верхней половине шара и заданной своей фронтальной проекцией c' . Для построения проекций точки C использована окружность радиуса R_c . Эта окружность получена при сечении шаровой поверхности горизонтальной плоскостью P , проведенной через точку C . Последовательность построения проекций точки C указана на рис. 238 стрелками. Профильная проекция точки C заключена в скобки, так как она расположена на правой половине шара невидимой на плоскости W .

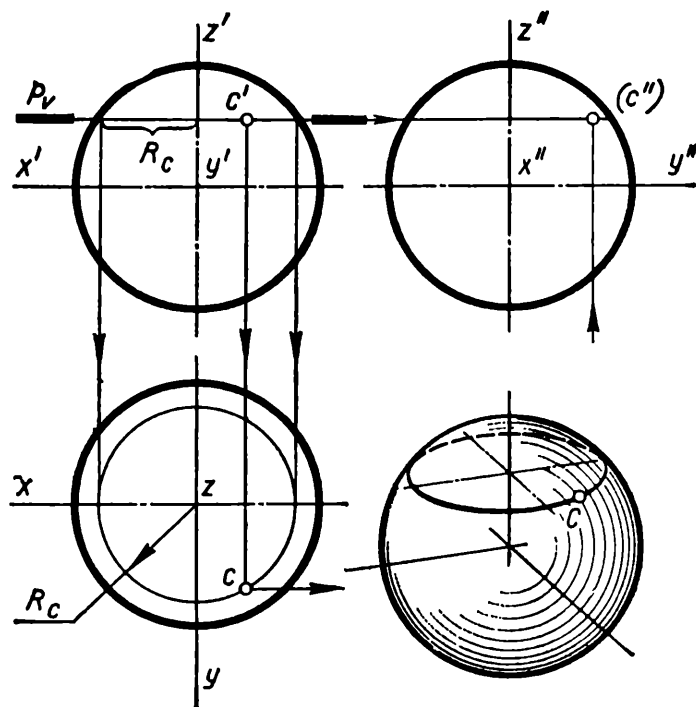


Рис. 238

Построение аксонометрической проекции шара. Изометрическая и диметрическая проекции шара (рис. 239, а и 240, а) представляют собой окружности соответственно диаметров $1,22 D_{ш}$ и $1,06 D_{ш}$. Для придания аксонометрическим проекциям шара некоторой наглядности на них изображают проекции экватора, а также главного и профильного меридианов (рис. 239, б и 240, б). В изометрической проекции эти окружности изображаются в виде трех одинаковых овалов. В диметрической проекции строят два одинаковых овала с осями $1,06 D_{ш}$ и $0,35 D_{ш}$ и один овал с осями

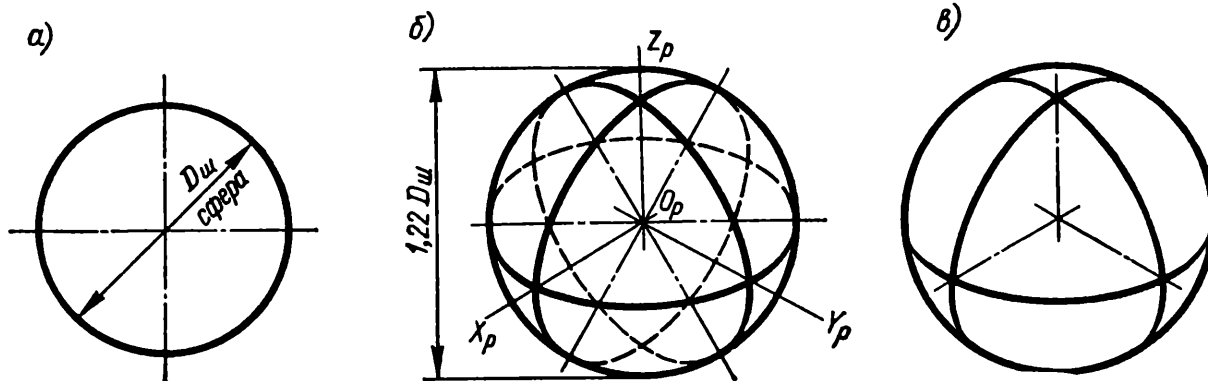


Рис. 239

1,06 $D_{ш}$ и 0,94 $D_{ш}$. На обеих проекциях окружность, изображающая внешний контур шара, является касательной ко всем трем овалам.

Если на аксонометрической проекции шара показать только видимые части проекций очерковых окружностей, то изображение получается более наглядным (рис. 239, в и 240, в).

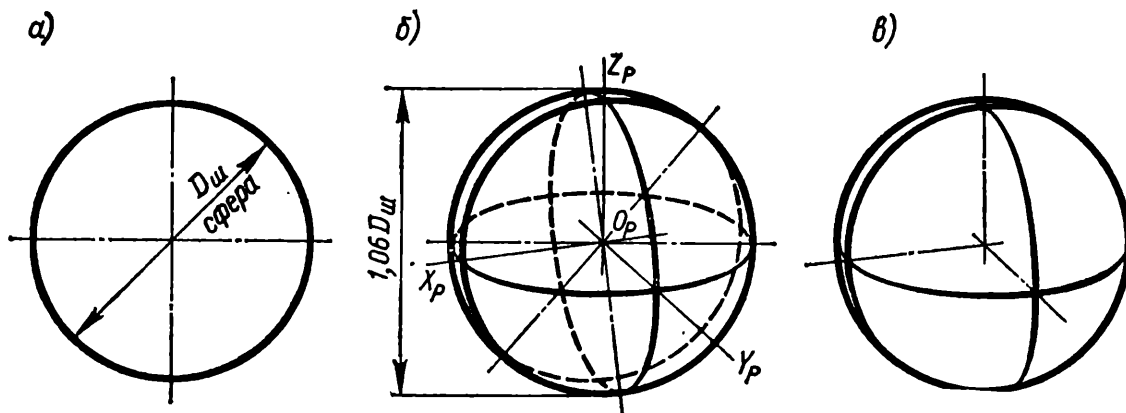


Рис. 240

Фронтальная диметрическая проекция шара не приводится, так как она представляет собой эллипс и ее не рекомендуется применять из-за сравнительно сложного построения и отсутствия наглядности.

Контрольные вопросы и упражнения. 1. С помощью каких линий строят проекции точек, расположенных на конической поверхности? 2. Постройте три проекции прямого кругового цилиндра с осью, перпендикулярной плоскости H . Диаметр основания цилиндра 50 мм, а его высота — 60 мм. На цилиндрической поверхности задайте точку A и постройте ее проекции. 3. Как называются окружности, которые являются очерковыми для проекций шара на плоскостях H , V и W ? 4. Как построить на аксонометрической проекции очерковые образующие конуса?

§ 38. СЕЧЕНИЕ МНОГОГРАННИКОВ ПЛОСКОСТЬЮ

Основная форма геометрических тел и предметов может быть изменена путем плоских срезов. Например, верхняя часть вазы, имеющей форму четырехугольной пирамиды (рис. 241), срезана плоскостью, наклоненной к ее основанию. Плоскости, с помощью которых получают срезы, называют *секущими*.

При сечении многогранников получают плоские многоугольники, число сторон которых равно числу пересеченных граней. Стороны этих многоугольников представляют собой линии пересечения граней многогранников и секущей плоскости, а их вершины — точки пересечения ребер многогранников — с секущей плоскостью. Таким образом, для решения задачи на построение сечения многогранника плоскостью необходимо уметь: 1) строить линии пересечения двух плоскостей и 2) определять точки пересечения прямой с плоскостью.

Пересечение двух плоскостей. Две плоскости пересекаются по прямой линии. Ее положение определяется двумя точками, общи-

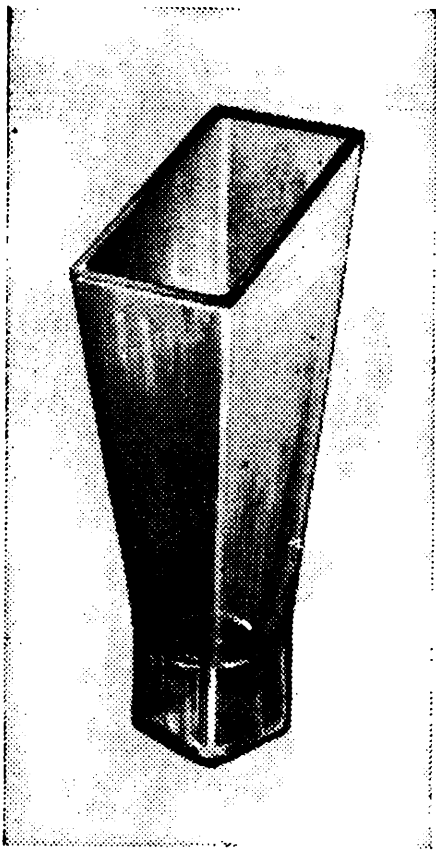


Рис. 241

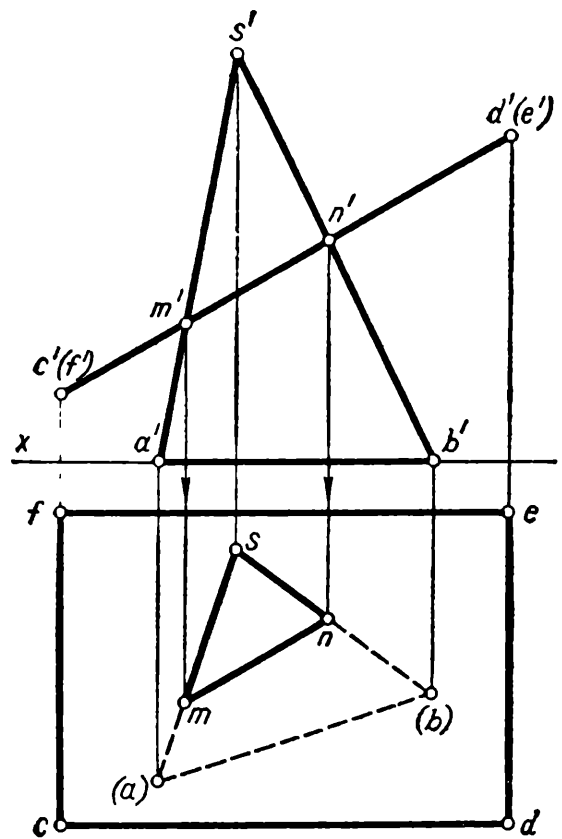


Рис. 242

ми для пересекающихся плоскостей, или одной точкой при условии, что известно направление линии пересечения. В реальных задачах пересекаются отсеки плоскостей, т. е. плоские фигуры, представляющие собой грани или основания геометрических тел и предметов. Их линией пересечения является отрезок прямой.

Если хотя бы одна из двух пересекающихся плоскостей является плоскостью частного положения, то одна проекция линии пересечения задана. Например, при построении линии пересечения треугольника SAB общего положения и прямоугольника $CDEF$, расположенного перпендикулярно плоскости V (рис. 242), задана фронтальная проекция линии пересечения. Она представляет собой отрезок $m'n'$ — общий для фронтальных проекций фигур. Через точки m' и n' проводят линии связи и на пересечении их с горизонтальными проекциями сторон SA и SB треугольника получают точки m и n . Отрезок mn является горизонтальной проекцией линии пересечения заданных фигур.

Плоские фигуры считают непрозрачными, поэтому на проекциях невидимые стороны фигур следует изображать штриховыми линиями. В данном примере по фронтальным проекциям фигур видно, что часть треугольника SAB — четырехугольник $AMNB$ — расположен под плоскостью прямоугольника $CDEF$. Поэтому горизонтальные проекции сторон этого четырехугольника AM , AB и BN изображены штриховыми линиями.

Линия пересечения двух плоскостей, перпендикулярных одной и той же плоскости проекций, есть проецирующая прямая. На рис. 243 изображены круг и прямоугольник $ABCD$, перпендику-

лярные плоскости V . Их фронтальные проекции пересекаются в точке $m'(n')$, которая является проекцией отрезка MN — линии пересечения заданных фигур. Таким образом, линия пересечения MN перпендикулярна плоскости V . Для построения ее горизонтальной проекции через точку $m'(n')$ проводят линию связи, а на ней выделяют отрезок mn — общий для горизонтальных проекций фигур. Часть прямоугольника $ABCD$ приподнята над кругом (см. фронтальные проекции), поэтому дуги окружности, невидимые на плоскости H , изображены штриховой линией.

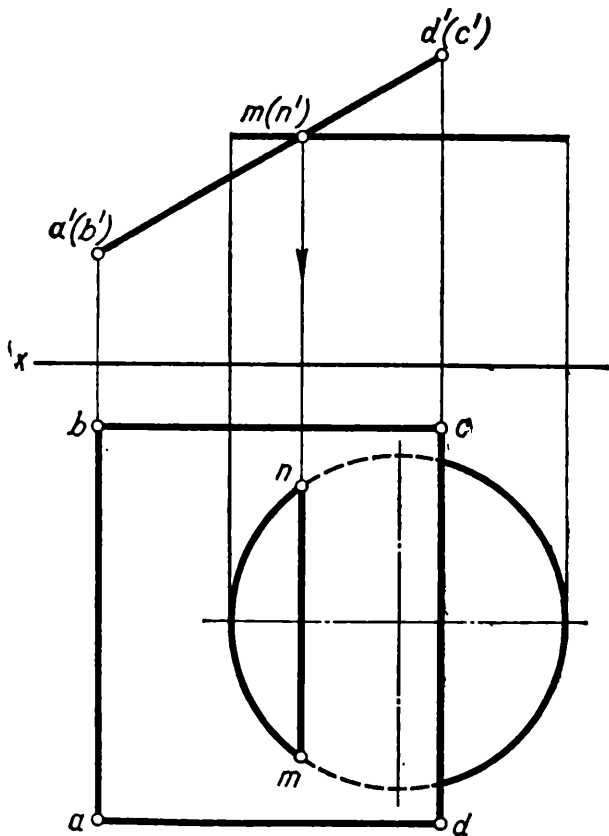


Рис. 243

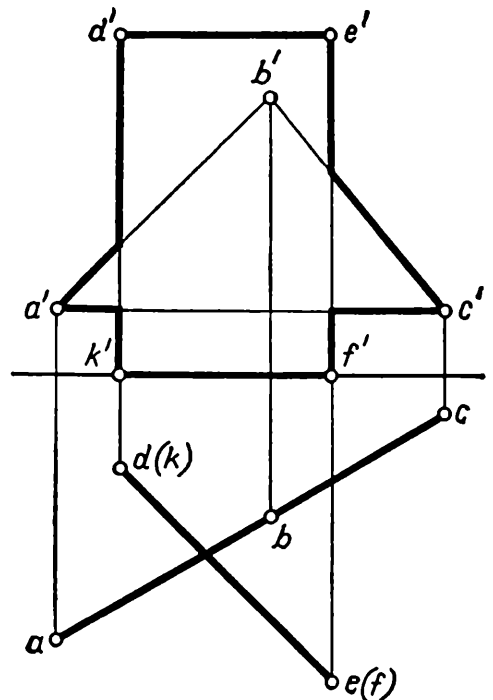


Рис. 244

Учащимся предлагается самостоятельно построить линию пересечения двух плоских фигур (рис. 244) и определить их видимость.

Пересечение прямой с плоскостью. Способ построения точки пересечения прямой и плоскости зависит от положения заданных фигур. Если плоскость или прямая занимает проецирующее положение, то одна проекция их точки пересечения задана.

На рис. 245 показано построение точки пересечения отрезка SB с прямоугольником $CDEF$. Прямоугольник $CDEF$ занимает фронтально-проецирующее положение, поэтому фронтальная проекция точки пересечения отрезка SB и прямоугольника задана. Это точка пересечения фронтальных проекций отрезка и прямоугольника — точка n' . Горизонтальную проекцию n точки N получают на пересечении линии связи, проведенной через точку n' , с отрезком sb . Видимость отрезка SB на плоскости проекций H определяют по фронтальным проекциям фигур. По ним можно судить, что над прямоугольником приподнята часть отрезка от

точки S до точки N . Остальная часть отрезка на плоскости H невидима.

На рис. 246 заданы прямая DE , перпендикулярная плоскости H , и треугольник общего положения ABC . Горизонтальная проекция точки K пересечения прямой DE с треугольником ABC — точка k — совпадает с горизонтальной проекцией прямой DE (с точкой $d(e)$). Фронтальную проекцию точки $K(k')$ строят с

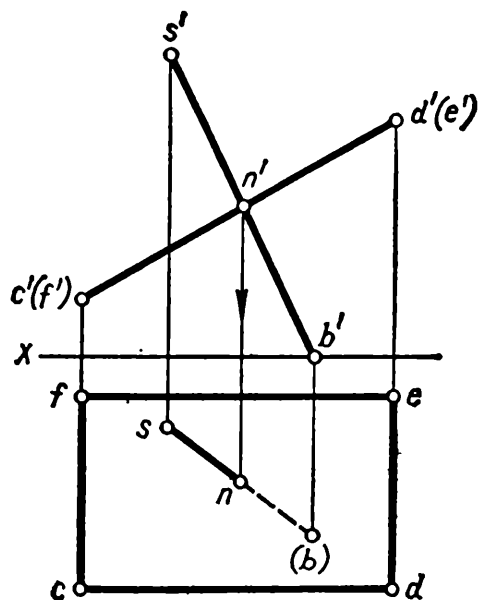


Рис. 245

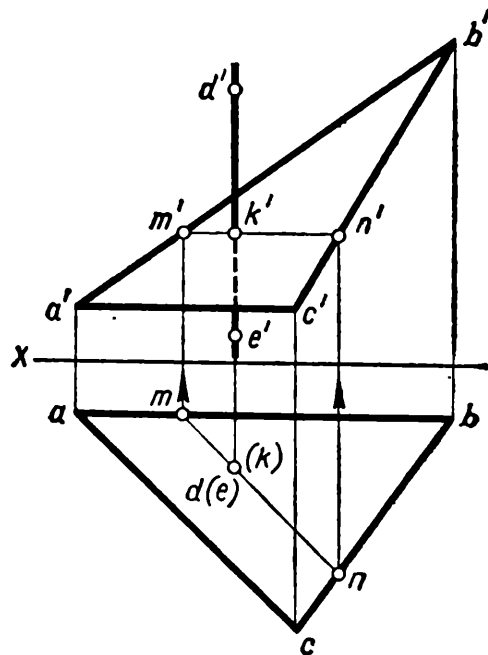


Рис. 246

помощью вспомогательной прямой, проведенной в плоскости треугольника через точку K , например прямой MN , параллельной стороне AC . Через точку k проводят прямую $mn \parallel ac$. Затем через точки m и n проводят линии связи до пересечения их с $a'b'$ и $c'b'$ и получают точки m' и n' . Точки m' и n' соединяют прямой линией и в пересечении ее с фронтальной проекцией прямой DE (прямая $d'e'$) получают точку k' .

Рассмотренные примеры следует использовать при решении задач на построение сечений многогранников плоскостью.

Сечение призмы плоскостью. На рис. 247 показано построение проекций и истинного вида сечения прямой треугольной призмы фронтально-проецирующей плоскостью P . Плоскость P перпендикулярна плоскости V , поэтому фронтальная проекция сечения и плоскости совпадают. По фронтальной проекции можно заключить, что плоскость P пересекается с верхним основанием призмы и ее боковыми гранями. Поскольку грани призмы перпендикулярны одной или двум плоскостям проекций, то для построения линии пересечения их с плоскостью P достаточно воспользоваться линиями связи.

Плоскость P и верхнее основание призмы перпендикулярны плоскости V , следовательно, их линия пересечения (отрезок AB) также перпендикулярна плоскости V (см. рис. 243). Отметив его

фронтальную проекцию — точку $a'(b')$ — и проведя линии связи, строят остальные проекции отрезка AB , т. е. отрезки ab и $a''b''$.

Построение линий пересечения плоскости P с боковыми гранями призмы начинают с обозначения их фронтальных проекций. Это отрезки $a'd'$, $d'c'$ и $c'(b')$. Все боковые грани призмы перпендикулярны плоскости H , поэтому горизонтальные проекции отрезков AD , DC , CB и соответствующих граней призмы совпадают. Для построения проекций этих отрезков на плоскости W проводят линии связи через точки c' и d' и продолжают их до пересечения с профильной проекцией переднего и левого ребер призмы.

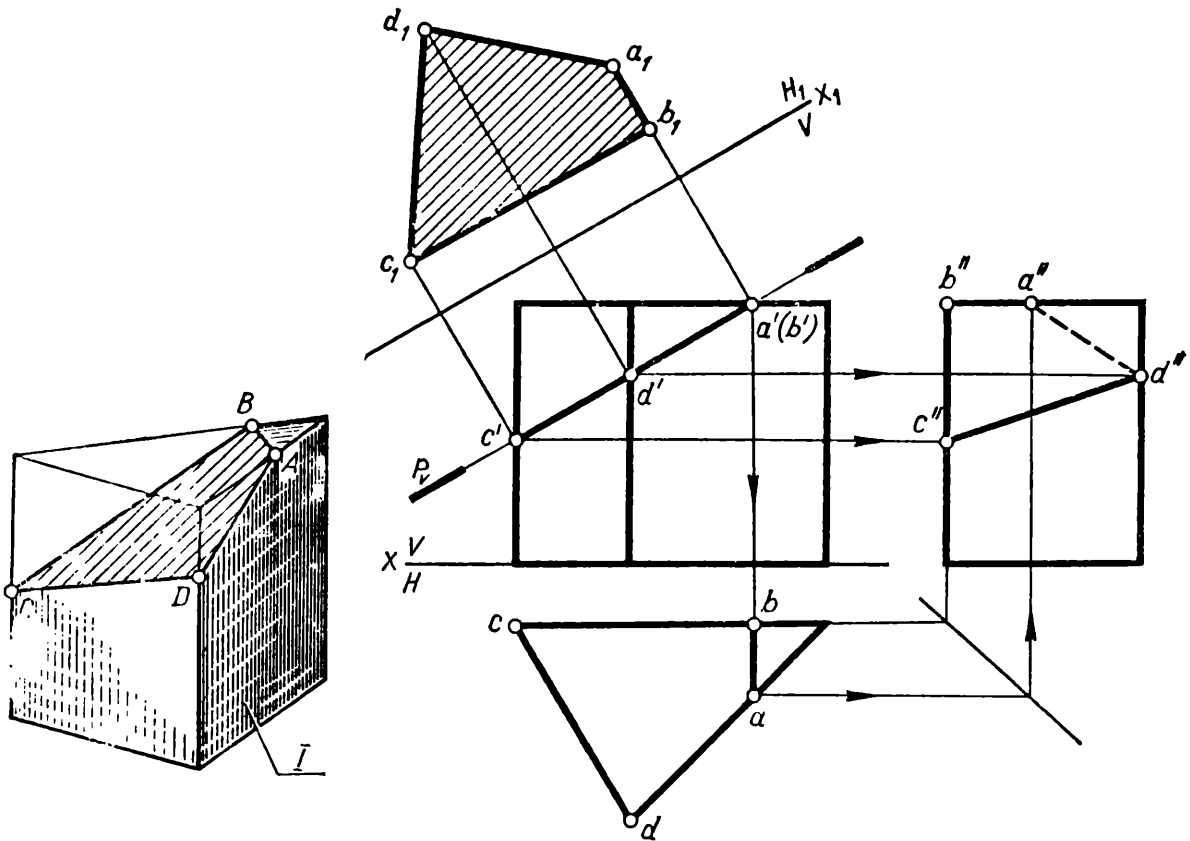


Рис. 247

Затем точки c'' и d'' , а также точки d'' и a'' соединяют прямыми линиями. Грань I , которой принадлежит отрезок AD , на плоскости W невидима, поэтому его профильная проекция изображена штриховой линией.

Секущая плоскость P наклонена к плоскостям H и W , поэтому на них фигура сечения — четырехугольник $ABCD$ — проецируется с искажением. Натуральную величину его можно определить с помощью одного из способов преобразования проекций. На рис. 247 использована дополнительная плоскость H_1 , параллельная секущей плоскости P и перпендикулярная плоскости V .

Построение аксонометрической проекции усеченной призмы. Вначале строят аксонометрическую проекцию многогранника, считая его неусеченным. Затем на соответствующих ребрах многогранника отмечают вершины фигуры среза — плоского многоугольника.

Построим диметрическую проекцию прямой треугольной призмы, усеченной фронтально-проецирующей плоскостью (рис. 248, а). Вначале тонкими линиями изображают диметрическую проекцию целой призмы (рис. 248, б). Затем строят проекции вершин фигуры сечения — $\triangle ABC$ (точки A_P, B_P, C_P). Точку B_P получают, отложив на верхнем ребре призмы от оси Z_P отрезок l . Для построения точек A_P и C_P в диметрической проекции на левом основании призмы проводят прямую, параллельную оси Y_P и отстоящую от точки O_{1P} на расстоянии h . В пересечении этой прямой

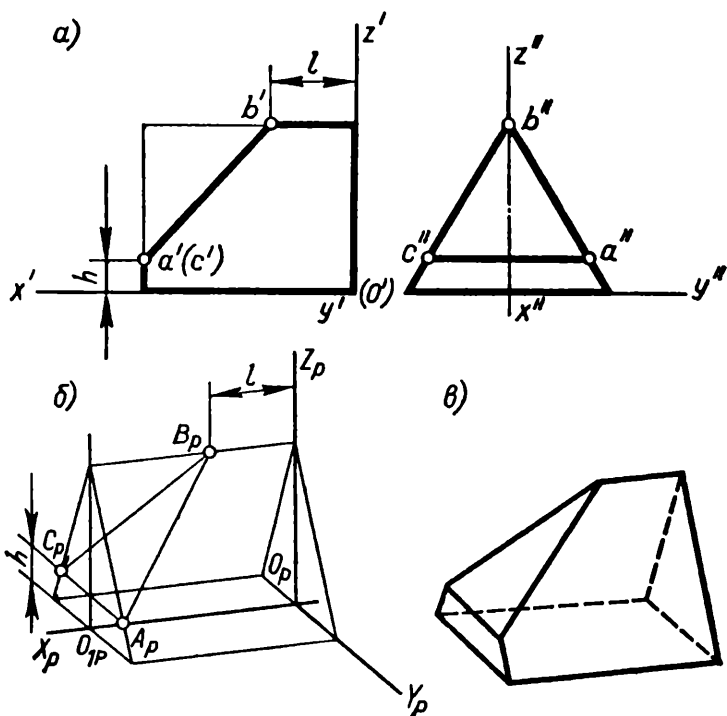


Рис. 248

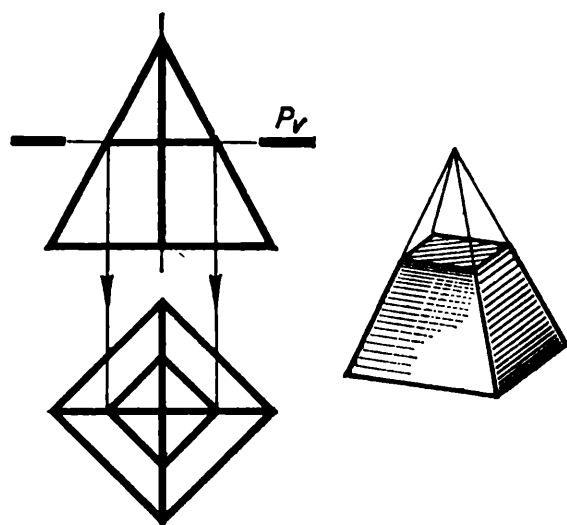


Рис. 249

с наклонными ребрами основания призмы отмечают точки A_P и C_P . Последовательно соединив точки A_P, B_P и C_P прямыми линиями, получают диметрическую проекцию $\triangle ABC$. Далее убирают линии построения и обводят изображение усеченной призмы, выделив на ней видимые и невидимые линии (рис. 248, в).

Сечение пирамиды плоскостью. Если секущая плоскость параллельна основанию пирамиды (рис. 249), то в сечении получается многоугольник, подобный основанию. В остальных случаях форма фигуры сечения зависит от положения секущей плоскости относительно граней пирамиды.

На рис. 250 показано сечение пирамиды горизонтально-проецирующей плоскостью T . Горизонтальные проекции фигуры сечения и плоскости T совпадают. По ним можно заключить, что плоскость T пересекает основание пирамиды по отрезку AB , а три ее боковые грани — по отрезкам BC, CD и AD , т. е. фигура сечения представляет собой четырехугольник $ABCD$. Фронтальную проекцию фигуры сечения получают, проведя через точки a, b, c и d линии связи и продолжив их до пересечения с фронтальными проекциями соответствующих ребер пирамиды, в точ-

как a' , b' и d' . Фронтальную проекцию точки C , принадлежащей ребру, параллельному плоскости W , находят, построив вначале ее профильную проекцию — точку c'' . Профильные проекции точек A, B, D строят по двум имеющимся проекциям. Соединив одноименные проекции вершин четырехугольника $ABCD$ и отметив видимые и невидимые его стороны, получают проекции четырехугольника на плоскостях V и W .

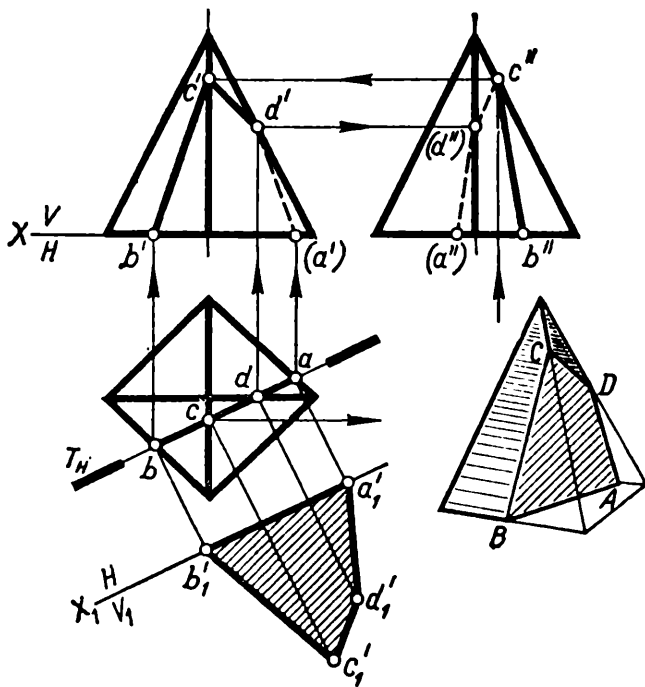


Рис. 250

Для определения натуральной величины четырехугольника $ABCD$ использована дополнительная плоскость проекций V_1 , параллельная секущей плоскости T .

Построение аксонометрической проекции усеченной пирамиды. Рассмотрим построение изометрической проекции прямой четырехугольной пирамиды, усеченной плоскостью, параллельной ее основанию (рис. 251, а). Вначале строят изометрическую проекцию нижнего основания пирамиды (рис. 251, б),

затем по оси Z_p откладывают ее высоту h и строят верхнее основание. Соединив прямыми линиями соответствующие вершины верхнего и нижнего оснований пирамиды, получают ее изометрическую проекцию (рис. 251, в).

Разберем построение фронтальной диметрической проекции правильной четырехугольной пирамиды, усеченной фронтально-

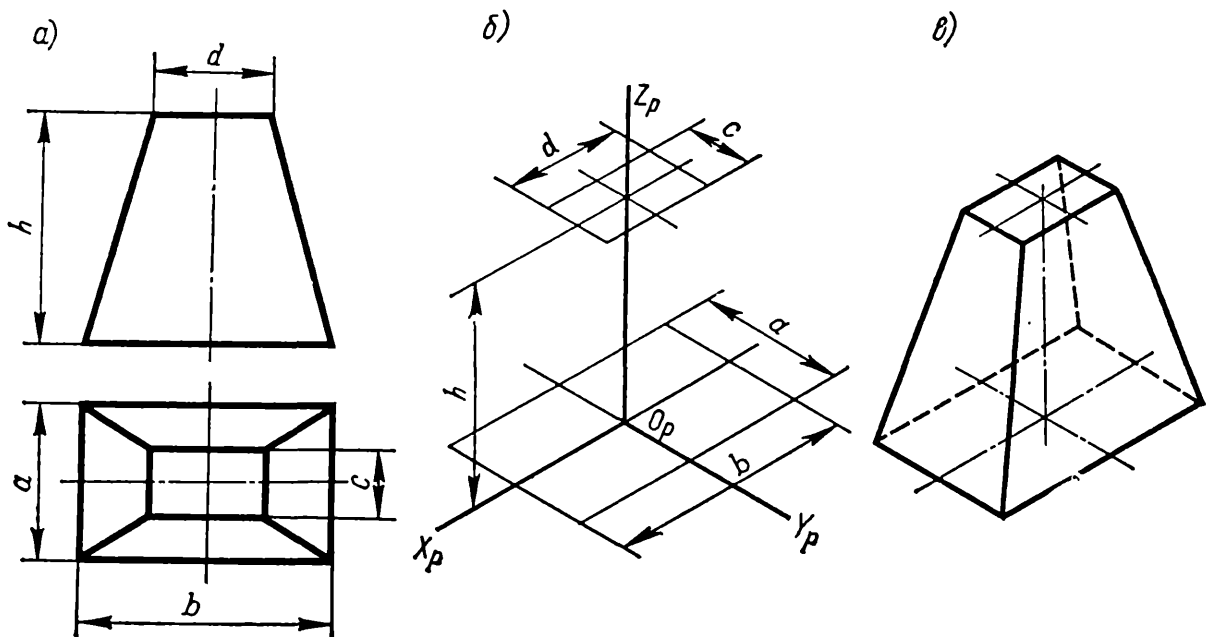


Рис. 251

проецирующей плоскостью, наклоненной к ее основанию (рис. 252, а). Вначале строят диметрическую проекцию целой пирамиды (рис. 252, б) и проводят диагонали ее основания. Затем строят диметрические проекции точек a, b, c, d . Для этого откладывают по оси X_P влево от точки O_P отрезок, равный $x_{A,D}$. Через его конец проводят прямую, параллельную оси Y_P , и на пересечении ее с диагоналями основания пирамиды получают точки $A_{P'}$ и $D_{P'}$.

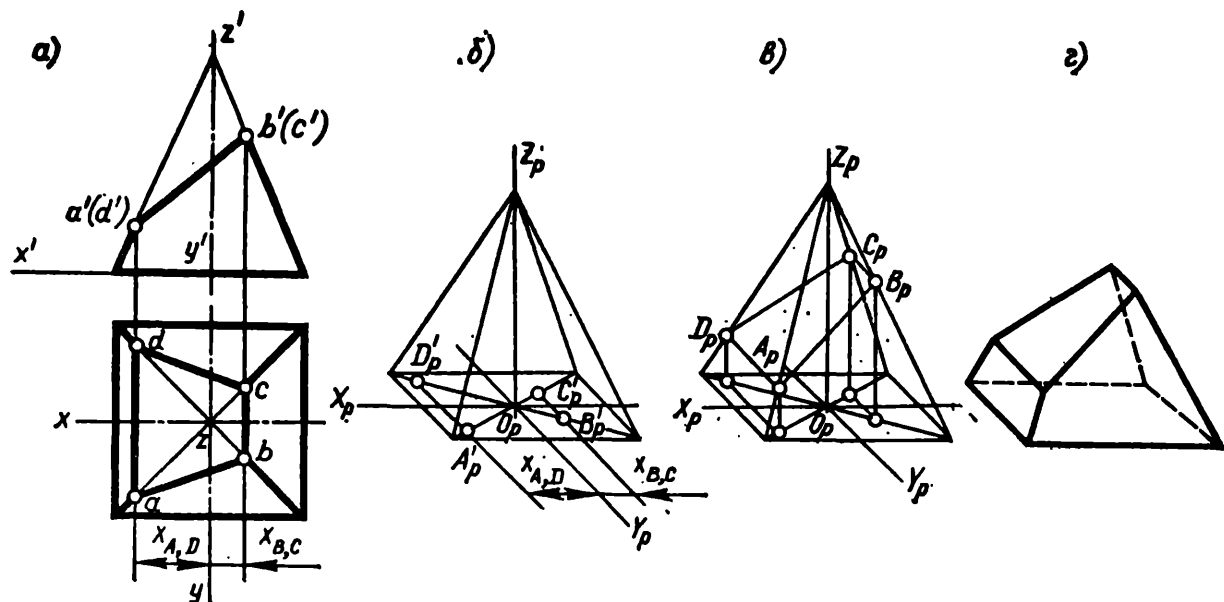


Рис. 252

Эти точки $A_{P'}$ и $D_{P'}$ являются фронтальными диметрическими проекциями точек a и d . Таким же образом строят точки $B_{P'}$, $C_{P'}$ (проекции точек b и c) с помощью отрезка, равного $x_{B,C}$. Далее через точки $A_{P'}$, $B_{P'}$, $C_{P'}$, $D_{P'}$ проводят прямые, параллельные оси Z_P , и на пересечении их с проекциями боковых ребер пирамиды отмечают точки A_P , B_P , C_P , D_P (рис. 252, в). Последовательно соединив точки A_P , B_P , C_P и D_P прямыми линиями, получают фронтальную диметрическую проекцию фигуры сечения. Убрав с чертежа все линии построения, обводят нижнюю усеченную часть пирамиды, выделив на ней видимые и невидимые линии (рис. 252, г).

Контрольные вопросы и упражнения. 1. К каким простым задачам сводится задача на построение сечения многогранника плоскостью? 2. Постройте три проекции призмы (рис. 253, а) и натуральную величину фигуры сечения ее плоскостью P . 3. В какой последовательности следует строить аксонометрические проекции усеченных многогранников? 4. Постройте прямоугольную диметрическую проекцию усеченной шестиугольной призмы (рис. 253, б).

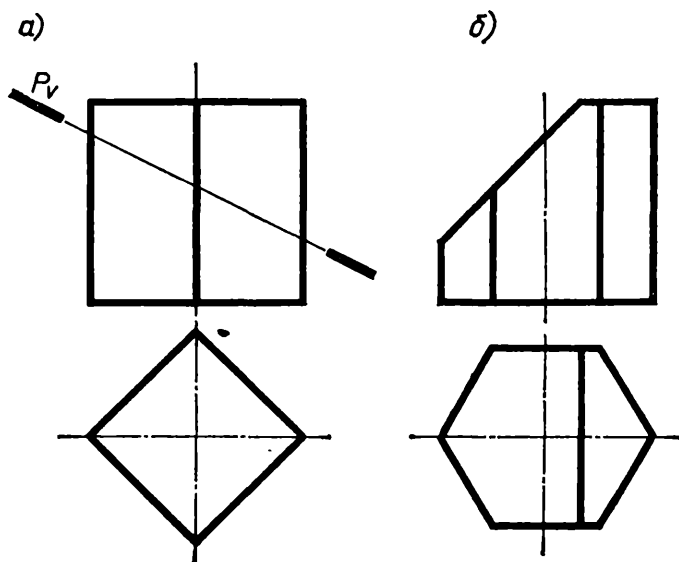


Рис. 253

§ 39. СЕЧЕНИЕ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТЬЮ

Форма фигуры сечения тела вращения плоскостью зависит от взаимного положения плоскости и оси поверхности вращения.

Сечение кругового цилиндра плоскостью. В сечении получается прямоугольник (рис. 254), если секущая плоскость параллельна оси цилиндра. Секущая плоскость, перпендикулярная оси цилиндра (рис. 255), пересекает его по кругу. Секущая плоскость,

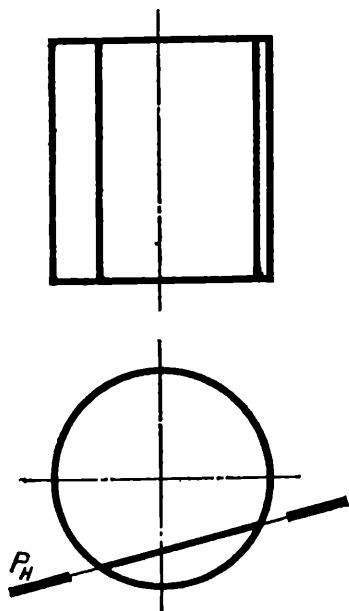


Рис. 254

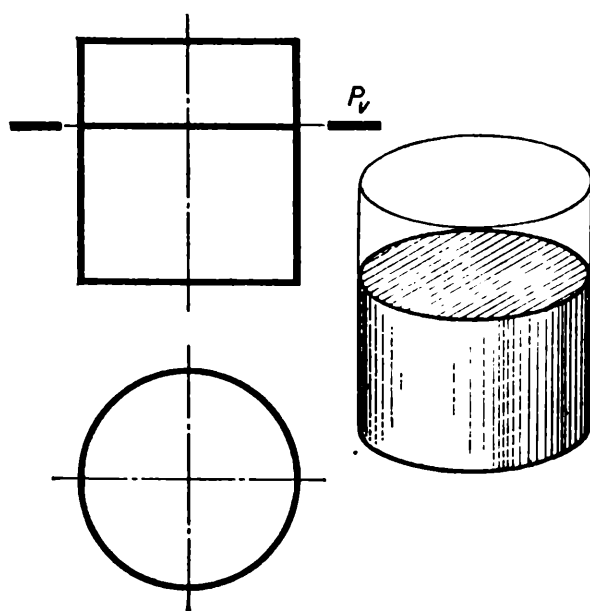
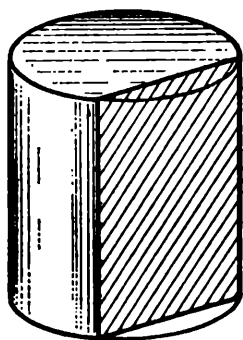
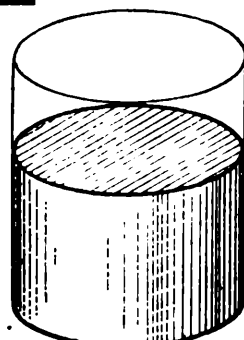


Рис. 255



наклоненная к оси цилиндра, пересекает его по полному (рис. 256) эллипсу или его части. Величина большой оси эллипса зависит от угла наклона секущей плоскости к оси цилиндра. Малая ось эллипса равна его диаметру.

Рассмотрим построение фигуры сечения цилиндра фронтально-проецирующей плоскостью P (см. рис. 256). Плоскость P наклонена к оси цилиндра и пересекает все его образующие (см. фронтальную проекцию), следовательно, фигура сечения — полный эллипс. Большая ось эллипса AB равна отрезку $a'b'$, а малая ось CD — диаметру цилиндра. Фронтальная проекция эллипса — отрезок $a'b'$, его горизонтальная проекция — окружность (совпадает с одноименной проекцией цилиндрической поверхности). На плоскость W фигура сечения проецируется в виде эллипса, большая ось которого — отрезок $c''d''$, а малая — отрезок $a''b''$. Построение профильных проекций промежуточных точек показано на примере точек 1 и 2.

На профильной плоскости проекций видима только нижняя половина эллипса, так как его верхняя часть расположена на цилиндрической поверхности, невидимой на плоскости W . Границу видимости эллипса относительно плоскости W определяют по точкам c'' и d'' , расположенным на очерковых образующих профильной проекции цилиндра.

Натуральная величина фигуры сечения определена с помощью дополнительной плоскости H_1 , параллельной секущей плоскости P . Вначале на плоскости H_1 строят проекции осей эллипса, а затем с помощью полухорд эллипса — проекции его промежуточных точек 1, 2 и т. д. (на рис. 256 они отмечены фигурными скобками).

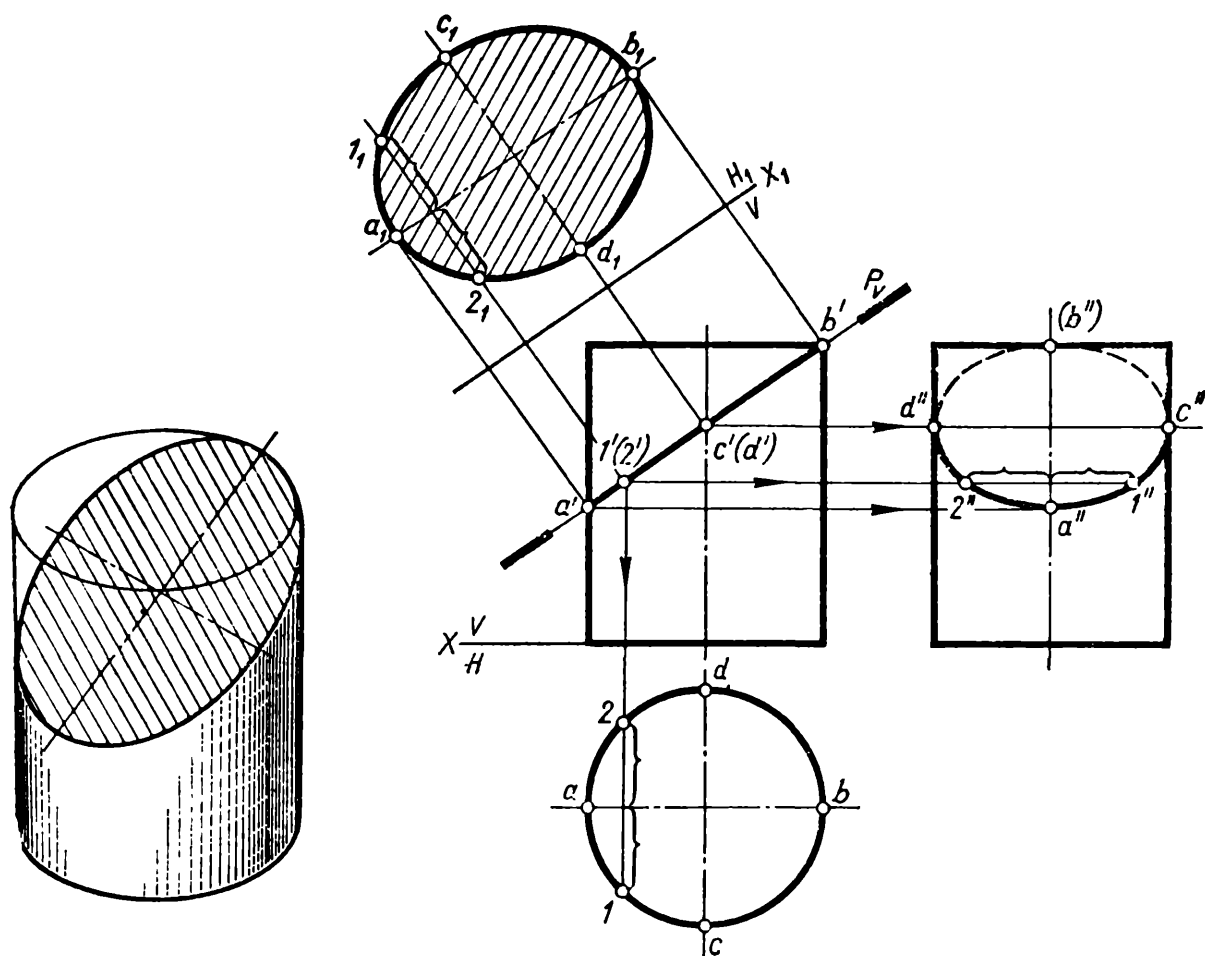


Рис. 256

Построение аксонометрической проекции усеченного цилиндра. Построим изометрическую проекцию прямого кругового цилиндра, усеченного фронтально-проецирующей плоскостью (рис. 257, а). Вначале вычерчивают изометрическую проекцию основания цилиндра (рис. 257, б) — овал с большой осью, перпендикулярной оси X_p . Затем строят проекцию большой оси эллипса AB . Для этого проводят через точки пересечения контура овала с осью Z_p (точки $A_{p'}$ и $B_{p'}$) прямые, параллельные оси X_p , и на них откладывают отрезки $B_{p'}B_p = x_B$ и $A_{p'}A_p = x_A$. Построенные точки A_p и B_p соединяют прямой линией и получают изометрическую проекцию большой оси AB . Далее делят отрезок $A_{p'}B_{p'}$ на несколько частей (рис. 257, в) и с помощью прямых, параллельных оси X_p , делят в такой же пропорции отрезок A_pB_p . Через точки деления отрезков $A_{p'}B_{p'}$ и A_pB_p проводят соответственно хорды овала и прямые, параллельные оси Y_p (рис. 257, г). Далее через концы каждой хорды проводят образующие цилиндра и в точках пересечения их с прямой, проведенной через соответствующее деление отрезка

$A_P B_P$, получают изометрические проекции точек эллипса (см. построение точек 1_P и 2_P на рис. 257, $з$). Обведя контур эллипса и построив очерковые образующие цилиндра, касательные к овалу и эллипсу (рис. 257, $д$) получают изометрическую проекцию усеченного цилиндра.

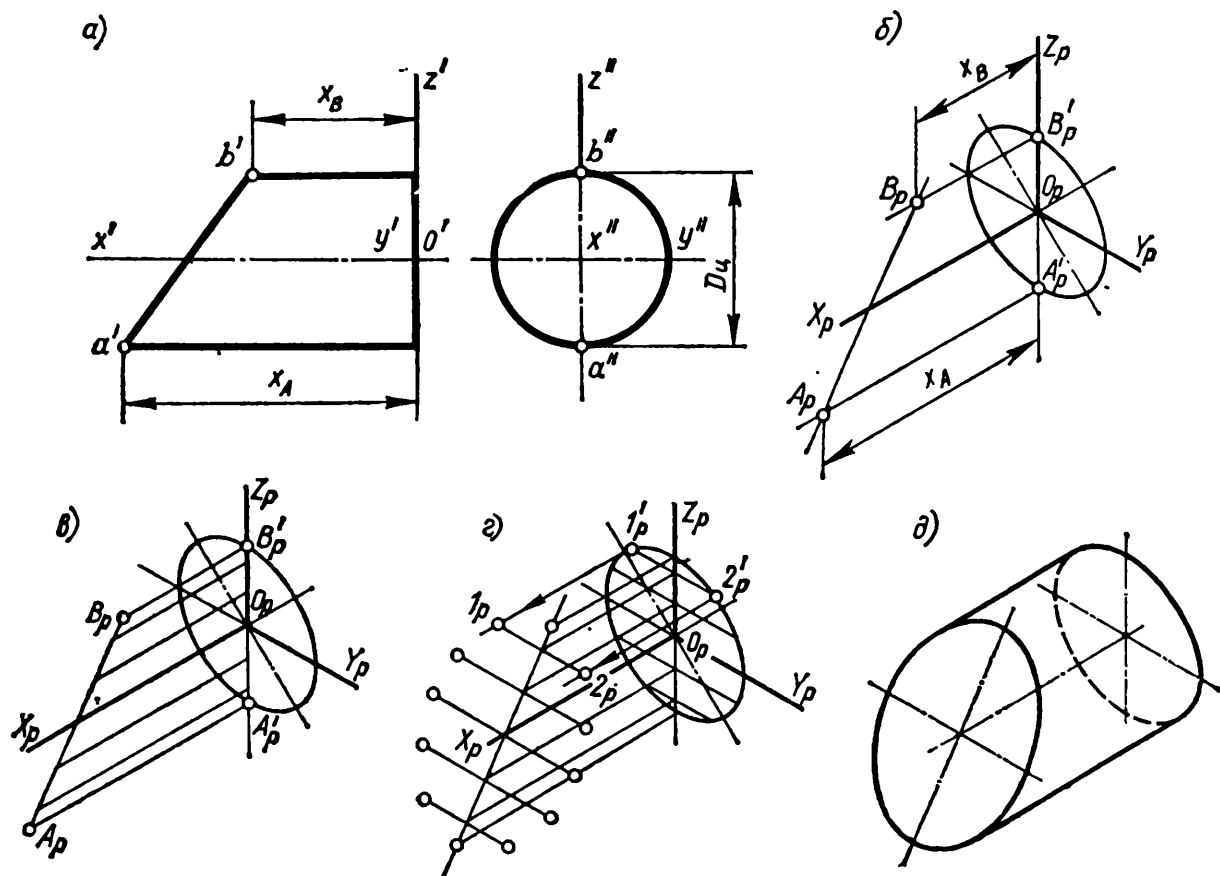


Рис. 257

Сечение кругового конуса плоскостью. Если секущая плоскость P проходит через вершину или ось конуса, то в сечении получается треугольник (рис. 258). Секущая плоскость, перпендикулярная оси конуса, пересекает его по кругу (рис. 259).

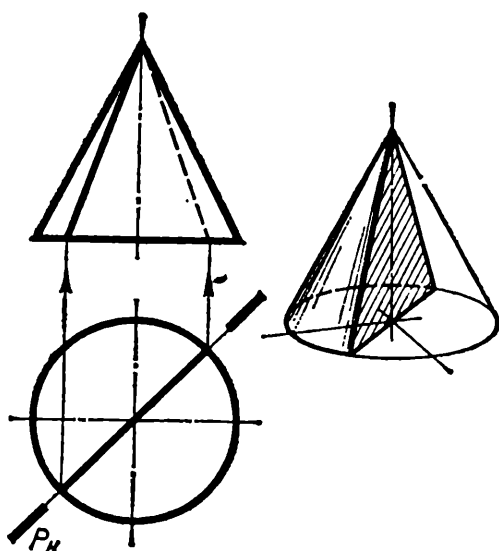


Рис. 258

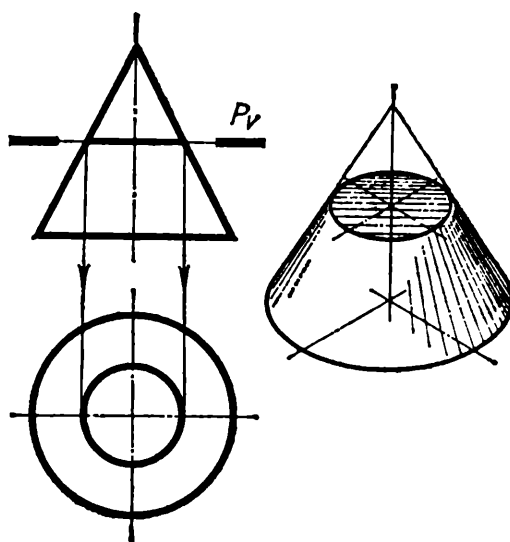


Рис. 259

Секущая плоскость, параллельная одной образующей конуса, пересекает коническую поверхность по параболе, например фронтально-проецирующая плоскость P (рис. 260, а). Фронтальные проекции фигуры сечения — отрезок $a'b'$ — и плоскости P совпадают. На плоскости H и W фигура сечения проецируется в виде параболы, величина которой искажена, так как плоскость P наклонена к этим плоскостям проекций. На плоскости H вначале строят проекции вершины параболы — точку a — и линии пересечения плоскости P с основанием конуса — отрезок bc (рис. 260, а).

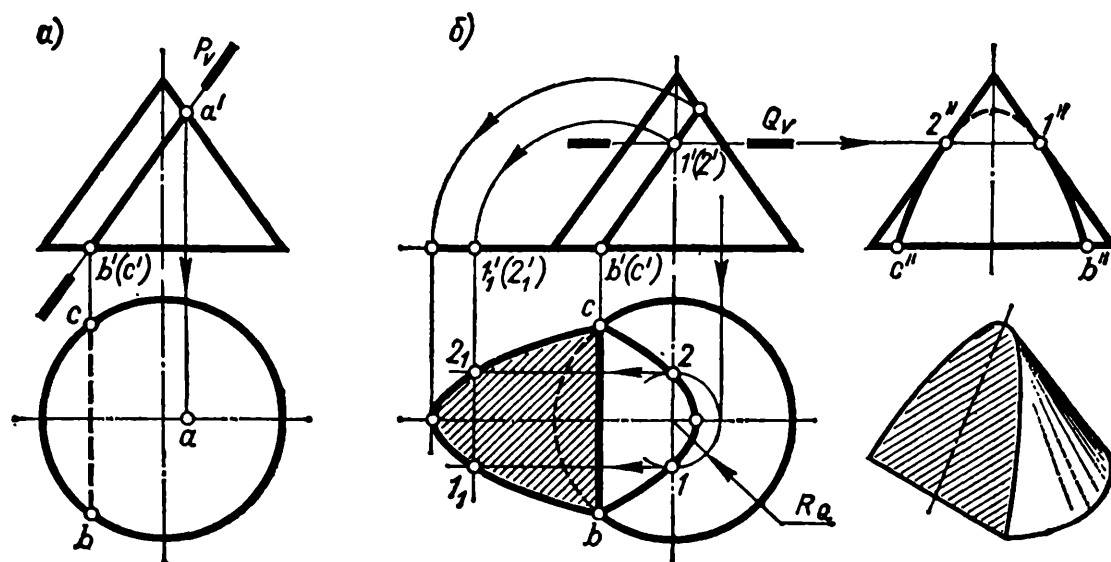


Рис. 260

Проекция остальных точек параболы получают с помощью вспомогательных окружностей. Например, с помощью окружности радиуса R_q (рис. 260, б) построены точки 1 и 2. Профильную проекцию параболы строят по ее горизонтальной и фронтальной проекциям.

Натуральная величина фигуры сечения определена с помощью поворота фигуры вокруг ее хорды BC , перпендикулярной плоскости V , до положения, параллельного плоскости H . Поворот параболы показан на примере точек 1 и 2.

Секущая плоскость, параллельная двум образующим конуса, пересекает коническую поверхность по гиперболе. При этом секущая плоскость может быть наклонена к оси конуса или быть параллельной ей (рис. 261, а). В данном примере горизонтальная и профильная проекции фигуры сечения — отрезки bc и $a''b''$, так как секущая плоскость P перпендикулярна плоскостям H и W . На фронтальной проекции сначала строят точки A (вершину), B и C , которые получают без вспомогательных линий. Фронтальные проекции остальных точек гиперболы строят с помощью вспомогательных окружностей (см. построение точек 1 и 2 на рис. 261, б).

Плоскости P и V параллельны, поэтому фронтальная проекция фигуры сечения равна ее натуральной величине.

Если секущая плоскость наклонена к оси конуса так, что пересекает все его образующие, например, фронтально-проецирующая плоскость P (рис. 262), то в сечении получается эллипс. Вначале строят проекции осей эллипса. Фигура сечения проецируется на плоскость V в виде отрезка $a'b'$, длина которого равна большой оси эллипса AB (рис. 262, а).

Фронтальная проекция малой оси CD — точка $c'(d')$ — расположена в середине отрезка $a'b'$. Горизонтальную проекцию ab большой оси AB строят с помощью линий связи. Для построения проекции cd малой оси CD используют вспомогательную окружность радиуса R_{T1} . Ее получают при сечении конической поверх-

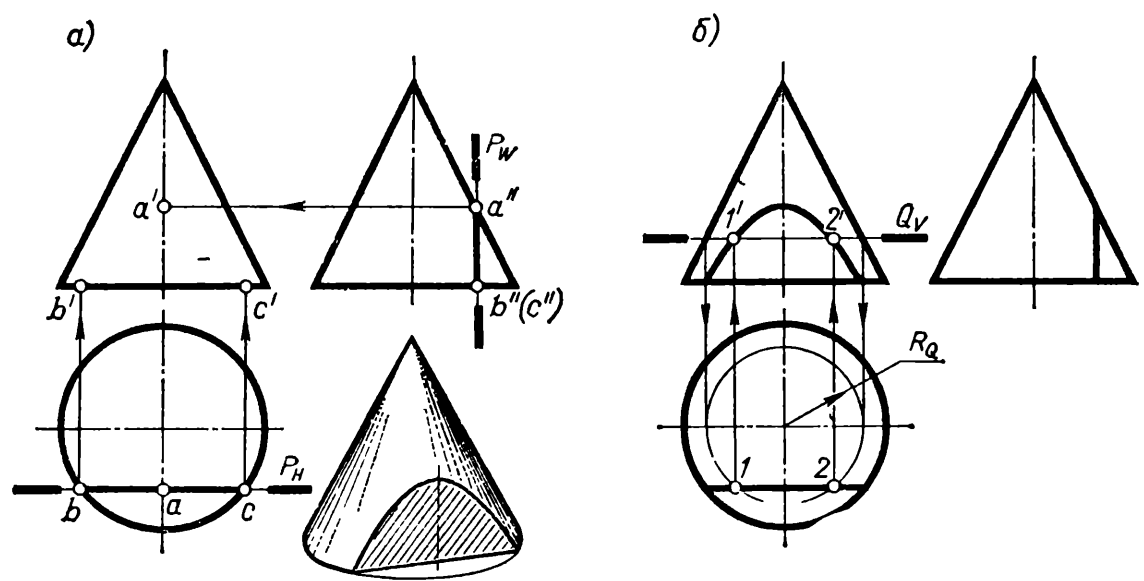


Рис. 261

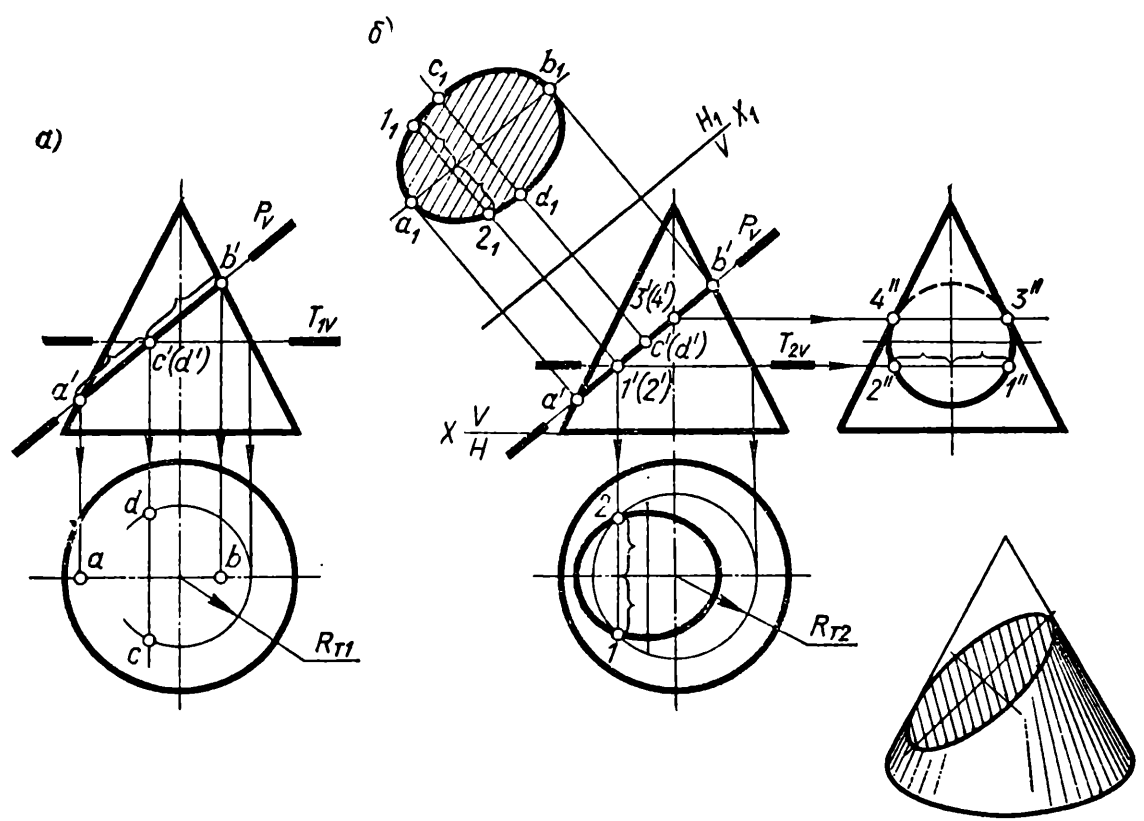


Рис. 262

ности плоскостью T_1 , которая перпендикулярна оси конуса и проведена через отрезок CD . Построенный отрезок $|cd| = |CD|$. Профильные проекции осей эллипса строят по двум имеющимся. Проекция промежуточных точек эллипса определяют аналогично проекциям точек C и D . Для примера на рис. 262, б показано построение промежуточных точек 1 и 2. На плоскости W часть контура эллипса невидима. Границу видимости определяют по точкам 3 и 4, принадлежащим очерковым образующим профильной проекции конуса. Натуральная величина эллипса определена с помощью дополнительной плоскости H_1 , параллельной секущей плоскости P и перпендикулярной плоскости V .

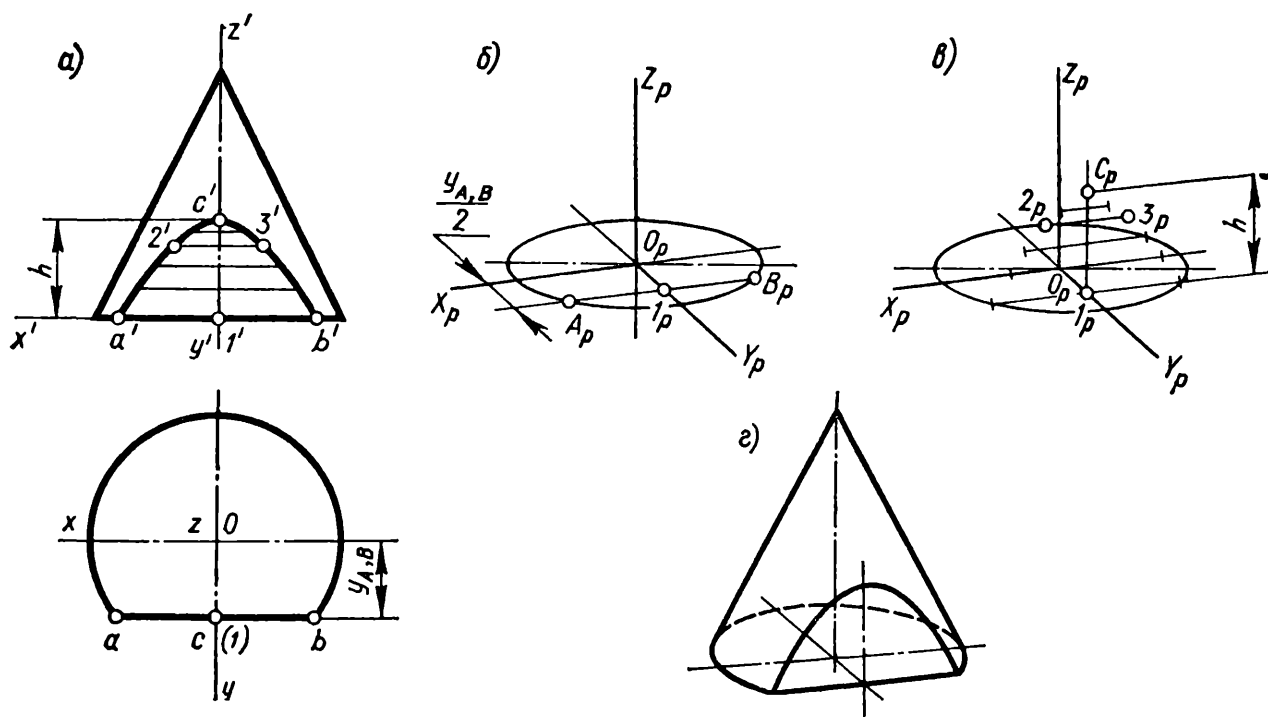


Рис. 263

Построение аксонометрической проекции усеченного конуса. Рассмотрим построение диметрической проекции прямого кругового конуса, усеченного плоскостью по гиперболе (рис. 263, а). Построив оси диметрической проекции, чертят овал, заменяющий проекцию основания конуса (рис. 263, б). Построение диметрической проекции фигуры сечения начинают с ее нижней хорды AB . На оси Y_p откладывают отрезок $O_p 1_p = y_{A,B}/2$ и через точку 1_p проводят прямую, параллельную оси X_p , до пересечения ее с овалом в точках A_p и B_p . Далее через точку 1_p проводят прямую, параллельную оси Z_p , откладывают на ней отрезок $1_p C_p = h$ (рис. 263, в) и получают диметрическую проекцию вершины гиперболы C . Диметрические проекции промежуточных точек гиперболы строят с помощью ее хорд. Отрезки $1'c'$ и $1_p C_p$ делят на одинаковые части и через точки деления проводят прямые, параллельные соответственно осям X и X_p . Затем измеряют длину фронтальной проекции хорды, например 2—3 (отрезок 2'—3') и, отложив ее на соответствующей прямой диметрической проекции, получают точ-

скция лежит в середине отрезка cd , а фронтальная o' и профильная o'' — на одной высоте с центром шара. Затем определяют оси эллипсов, которые представляют собой проекции взаимно перпендикулярных диаметров AB и CD , причем $AB \parallel (V, W)$. Поэтому большие оси эллипсов — отрезки $a'b'$ и $a''b''$ — равны диаметру

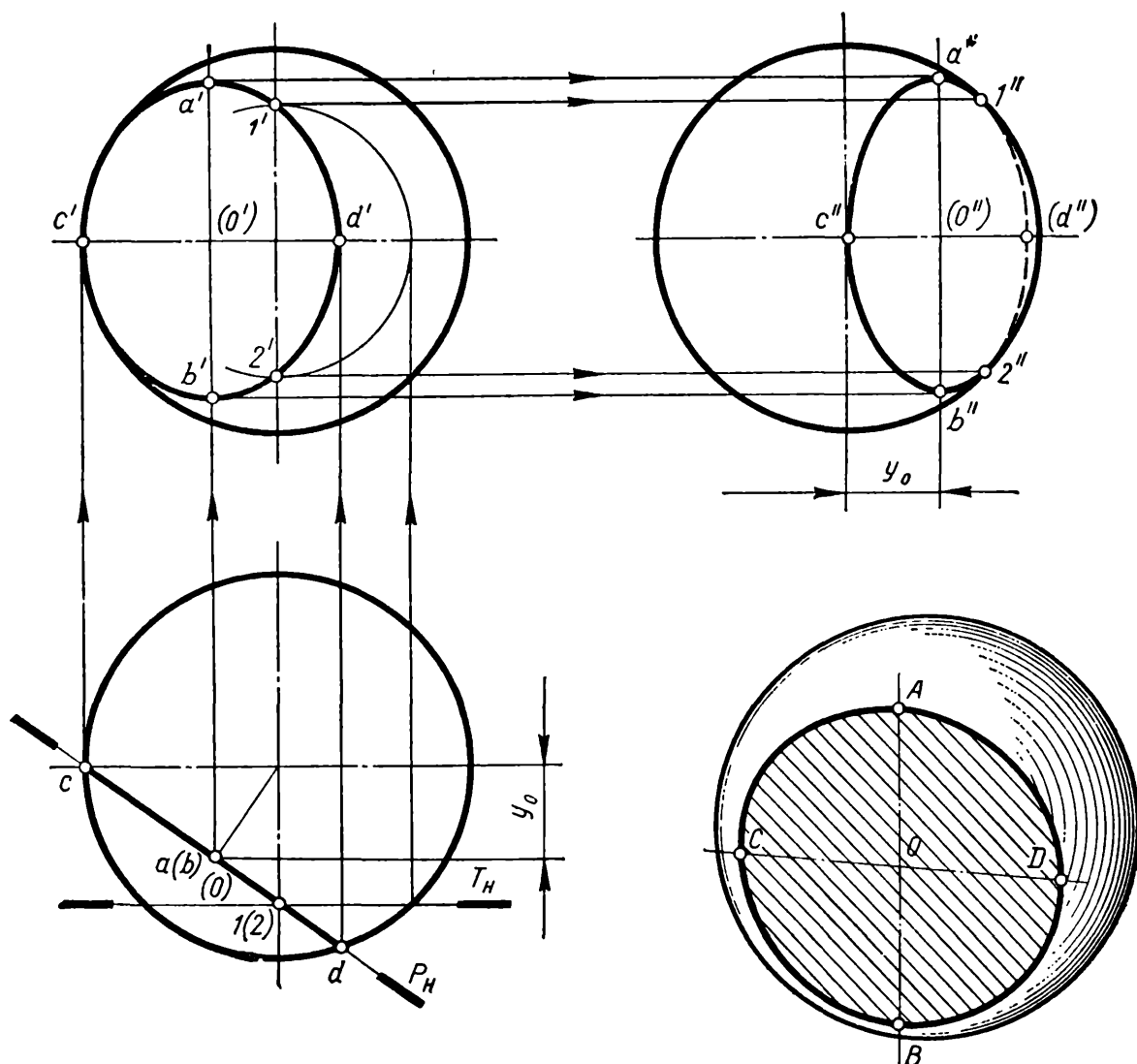


Рис. 265

окружности, полученной при сечении шаровой поверхности плоскостью P , т. е. $a'b' = a''b'' = cd$. Размер малых осей эллипса (отрезки $c'd'$ и $c''d''$) зависит от наклона фигуры сечения к плоскостям V и W . Фронтальные и профильные проекции точек C и D строят с помощью линий связи, проведенных через точки c и d .

Промежуточные точки эллипсов получают с помощью вспомогательных окружностей, параллельных одной из плоскостей проекций. Например, проекции точек 1 и 2 построены с помощью фронтальной плоскости T . На профильной проекции часть окружности сечения между точками 1 , D и 2 невидима.

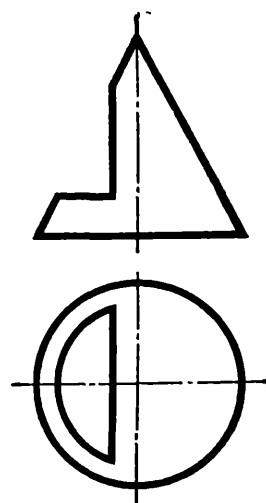


Рис. 266

Контрольные вопросы и упражнения 1. Какую форму могут иметь сечения цилиндра плоскостью? 2. Как построить промежуточные точки для эллипса, полученного при сечении конуса плоскостью? 3. Постройте изометрическую проекцию конуса с вырезом (рис. 266).

§ 40. РАЗВЕРТЫВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ

Разверткой называют плоскую фигуру, полученную путем совмещения всей поверхности, ограничивающей предмет, с одной плоскостью. Развертки необходимы при изготовлении изделий из листового материала. Например, при изготовлении обуви, одежды, бумажных игрушек и т. п.

Развертка может быть выполнена точно или приближенно. Такие поверхности, как плоскость, цилиндрическая и коническая, позволяют изготовить точную развертку, поэтому их называют *развертываемыми* поверхностями. Предметы, ограниченные шаровой поверхностью, могут быть развернуты на плоскость только приближенно. Поэтому шаровую поверхность называют *неразвертываемой*.

Для построения развертки необходимы натуральные величины геометрических фигур, из которых состоит поверхность предмета. К ним относятся ребра, образующие, основания и грани. Если необходимые геометрические фигуры на проекциях искажены, то перед построением развертки определяют их натуральную величину.

При построении развертки стремятся сделать ее более компактной*, чтобы при изготовлении изделий израсходовать меньше материала.

Построение развертки призмы. Развертка поверхности призмы — плоский многоугольник. Она представляет собой объединение боковых граней призмы и двух ее оснований. Рассмотрим построение полной развертки прямой пятиугольной призмы (рис. 267). Основания призмы — правильные пятиугольники $ABCDE$, параллельные плоскости H , поэтому их горизонтальная проекция $abcde$ равна натуральной величине пятиугольников. Боковые грани призмы — равные между собой прямоугольники с размерами сторон h (длина бокового ребра призмы) и a (длина стороны пятиугольника). Таким образом, все геометрические фигуры, нужные для построения развертки, изображены на проекциях без искажения.

Построение развертки начинают с изображения боковой поверхности призмы — прямоугольника высотой h и длиной $5a$. Внутри прямоугольника проводят вертикальные линии на расстоянии a друг от друга — боковые ребра призмы. Затем строят основания призмы. Их присоединяют к любым ребрам основания, например к ребру BC и ребру, ему параллельному. Для построе-

* Компактность развертки зависит от того, по каким ребрам или образующим разрезают поверхность предмета.

иния на развертке пятиугольника $ABCDE$ его горизонтальную проекцию разбивают на треугольники abe , bed и bdc , и переносят их на развертку (см. построение равных плоских многоугольников, § 13). Таким же образом строят на развертке верхнее основание призмы. Контур развертки обводят сплошными основными линиями, а линии сгибов — сплошными тонкими.

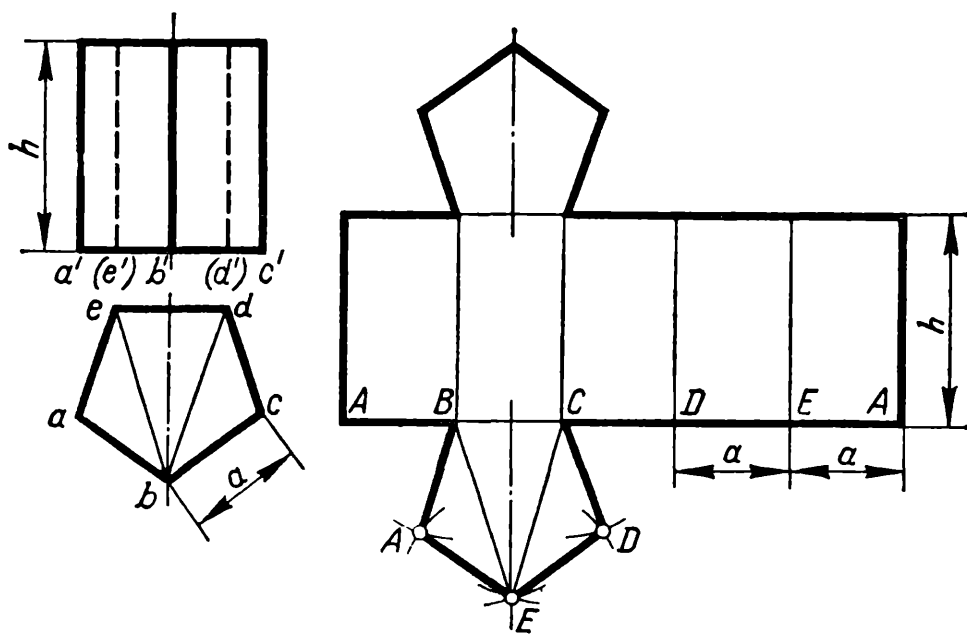


Рис. 267

Построение развертки усеченной призмы. Рассмотрим построение развертки поверхности усеченной треугольной призмы (рис. 268). Ее развертка состоит из трех усеченных боковых граней, нижнего основания, части верхнего основания (треугольник ADE) и фигуры среза (трапеция $ABCD$).

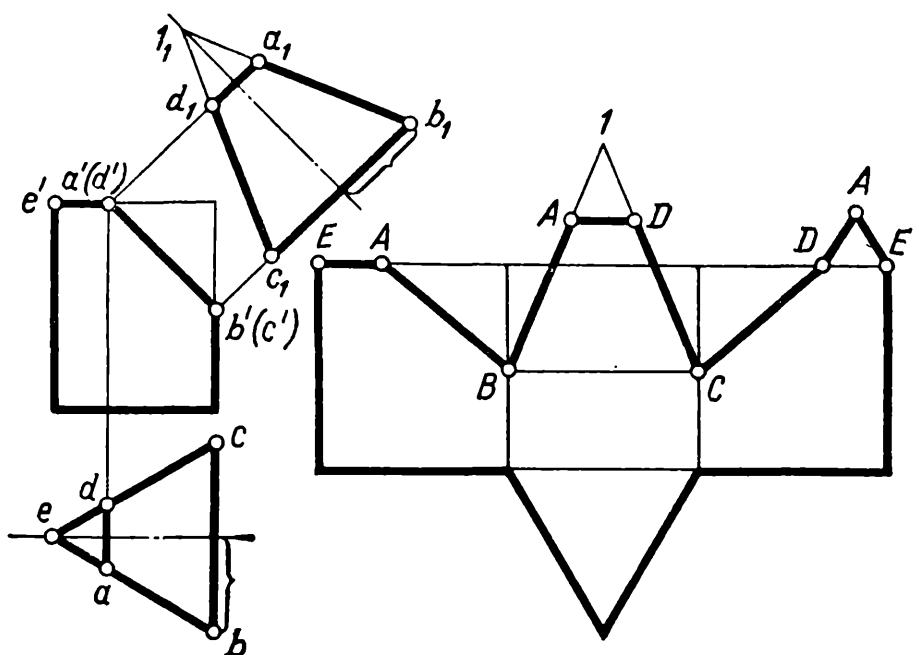


Рис. 268

На проекциях имеются натуральные величины оснований призмы (на плоскости H) и ее боковых ребер (на плоскости V). Фигура среза — трапеция $ABCD$ — на проекциях искажена, поэтому необходимо определить ее величину. Это сделано с помощью дополнительной плоскости H_1 , параллельной плоскости среза. Новая проекция — трапеция $a_1b_1c_1d_1$ — равна натуральной величине трапеции $ABCD$.

Вначале выполняют развертку боковых граней целой призмы. Затем переносят с фронтальной проекции на развертку длину усеченных боковых ребер, т. е. получают точки B и C . Далее на прямой EE откладывают длину усеченных ребер верхнего основания

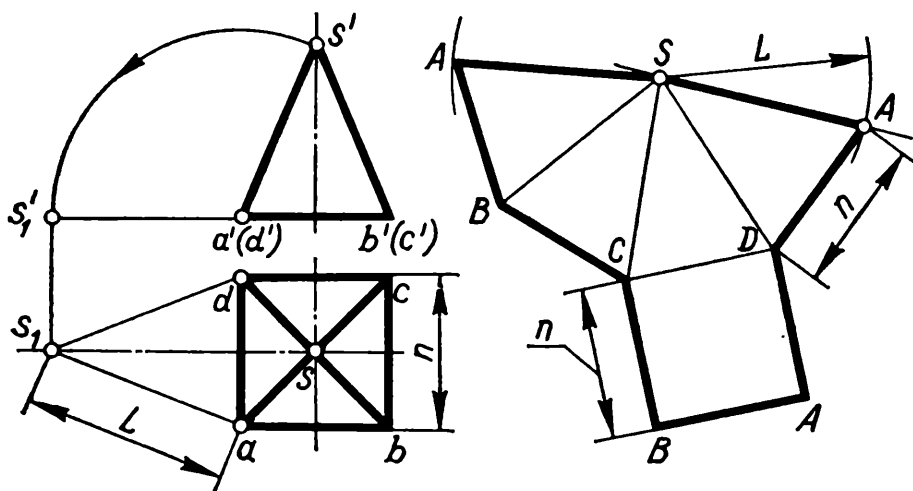


Рис. 269

призмы — отрезки $EA=ea$ и $ED=ed$. Соединив прямыми линиями точки A, B, C и D , получают развертку боковой поверхности усеченной призмы. Затем к боковым граням присоединяют нижнее основание призмы и часть верхнего — $\triangle ADE$. Фигуру среза желательно поместить так, чтобы на развертку затратить меньше материала. Поэтому трапеция $ABCD$ присоединена к средней боковой грани призмы, т. е. к отрезку BC . Чтобы получить на развертке вершины A и D , вначале на плоскости H_1 строят вспомогательный равнобедренный $\triangle I_1c_1b_1$. Затем на развертке при стороне BC строят такой же треугольник и на боковых сторонах его откладывают отрезки $BA=b_1a_1$ и $CD=c_1d_1$.

Построение развертки пирамиды. Рассмотрим построение правильной четырехугольной пирамиды $SABCD$ (рис. 269). Поверхность пирамиды составляют основание и четыре одинаковые боковые грани. Натуральная величина основания пирамиды имеется на плоскости H . Боковые грани пирамиды проецируются на плоскости H и V с искажением, поэтому для построения развертки следует определить величину одной из них, например грани SAD . На рис. 269 грань SAD повернута вокруг ее стороны AD , которая перпендикулярна плоскости V , до положения, параллельного плоскости H . Новая горизонтальная проекция s_1ad равна натуральной величине грани SAD .

Построение развертки начинают с выбора положения вершины S и, приняв ее за центр, проводят дугу радиусом, равным длине бокового ребра L . На дуге от произвольной точки A откладывают четыре хорды, равные длине ребер основания n . Соединив вершину S с концами хорд, получают развертку боковой поверхности пирамиды. Основание пирамиды — квадрат $ABCD$ — присоединяют к любой боковой грани.

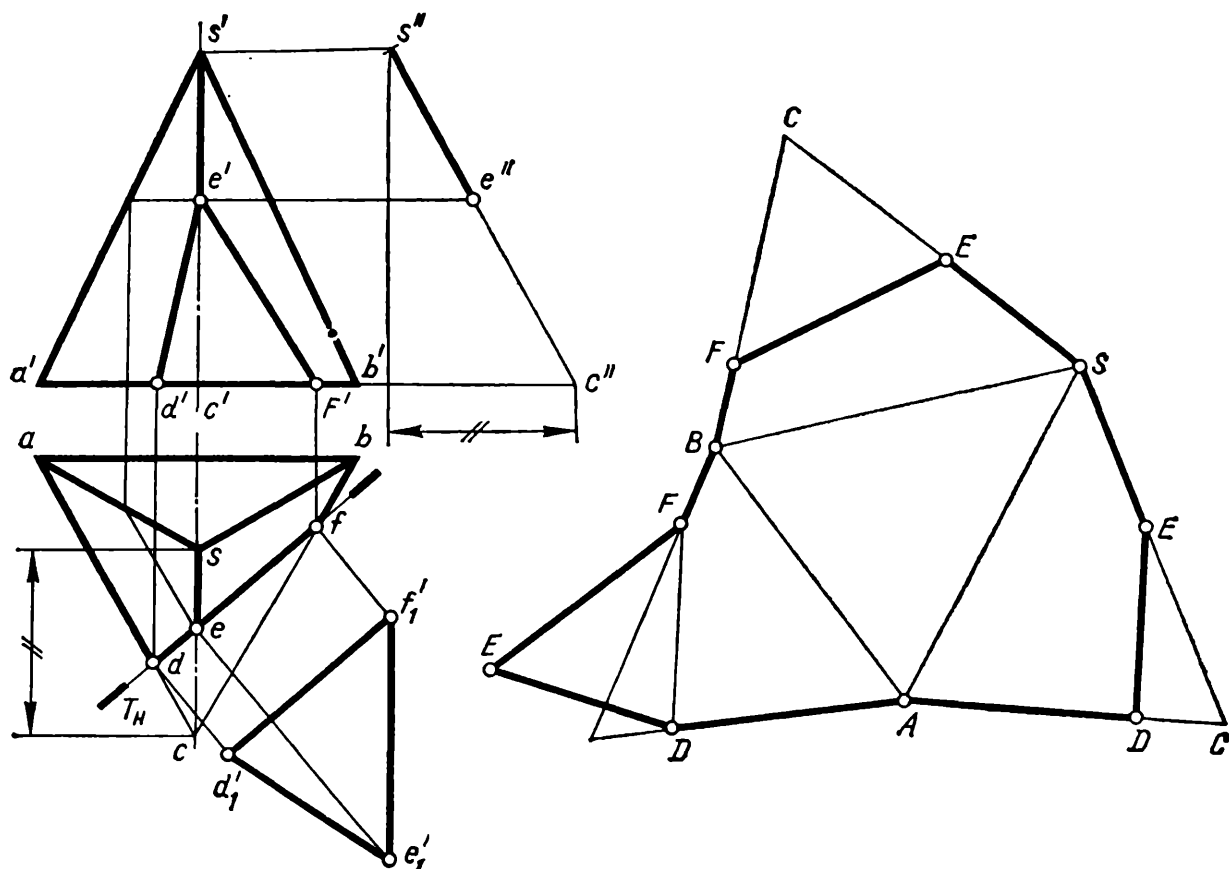


Рис. 270

Построение развертки усеченной пирамиды. Рассмотрим построение развертки правильной треугольной пирамиды $SABC$, усеченной горизонтально-проецирующей плоскостью T (рис. 270). Поверхность усеченной пирамиды состоит из трех боковых граней, две из которых усечены, усеченного основания — четырехугольник $ABFD$ — и фигуры среза — $\triangle DEF$.

Для построения развертки необходимо определить натуральные величины боковых ребер пирамиды и фигуры среза ($\triangle DEF$). У заданной пирамиды боковые ребра равны, поэтому определяют длину одного из них, например ребра SC . Ребро SC параллельно плоскости W , поэтому его профильная проекция $s''c''$ равна длине ребра, а отрезок $s''e'' = SE$. Для определения натуральной величины $\triangle DEF$ использована дополнительная плоскость V_1 , параллельная плоскости среза T . Новая проекция — $\triangle d'_1 e'_1 f'_1$ равна натуральной величине $\triangle DEF$.

Усеченные боковые грани ASC и BSC имеют форму неправильных четырехугольников $ADES$ и $BFES$. На развертке их проще всего вы-

чертить, если предварительно построить развертку боковой поверхности целой пирамиды — $\triangle ASC$, ASB и BSC . Затем на боковом ребре SC откладывают отрезок $SE = s''e''$, на ребре основания AC — отрезок $AD = ad$ и на ребре основания BC — отрезок $BF = bf$. Соединив прямыми линиями точки D, E и E, F , получают контур развертки боковой поверхности усеченной пирамиды.

Основание усеченной пирамиды — четырехугольник $ABFD$ — помещено у боковой грани ASB . Предварительно на развертке строят неусеченное основание — $\triangle ABC$, после чего на стороне AC откладывают отрезок $AD = ad$, а на стороне BC — отрезок $BF = bf$. Фигура сечения — $\triangle DFE$ — присоединена к основанию пирамиды своей стороной DF , которая является общей для этих фигур.

Развертка может иметь иную форму, если поверхность пирамиды разрезать по другим ребрам. Например, поместить в середине грань BSC или ASC .

Построение развертки цилиндра. Рассмотрим построение полной развертки прямого кругового цилиндра с диаметром основания $D_{ц}$ и высотой h (рис. 271). Развертка боковой поверхности

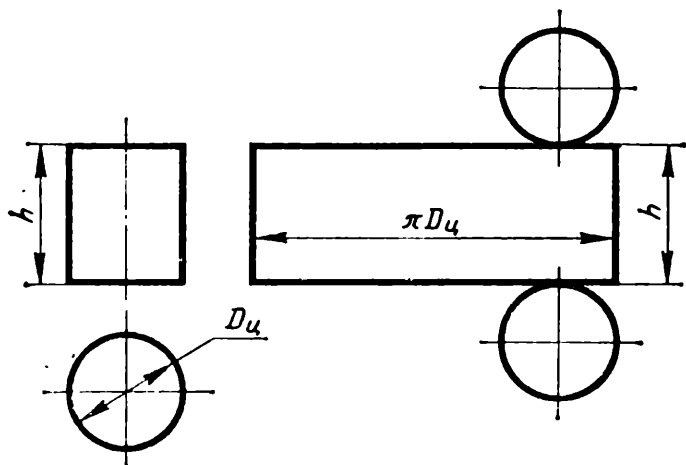


Рис. 271

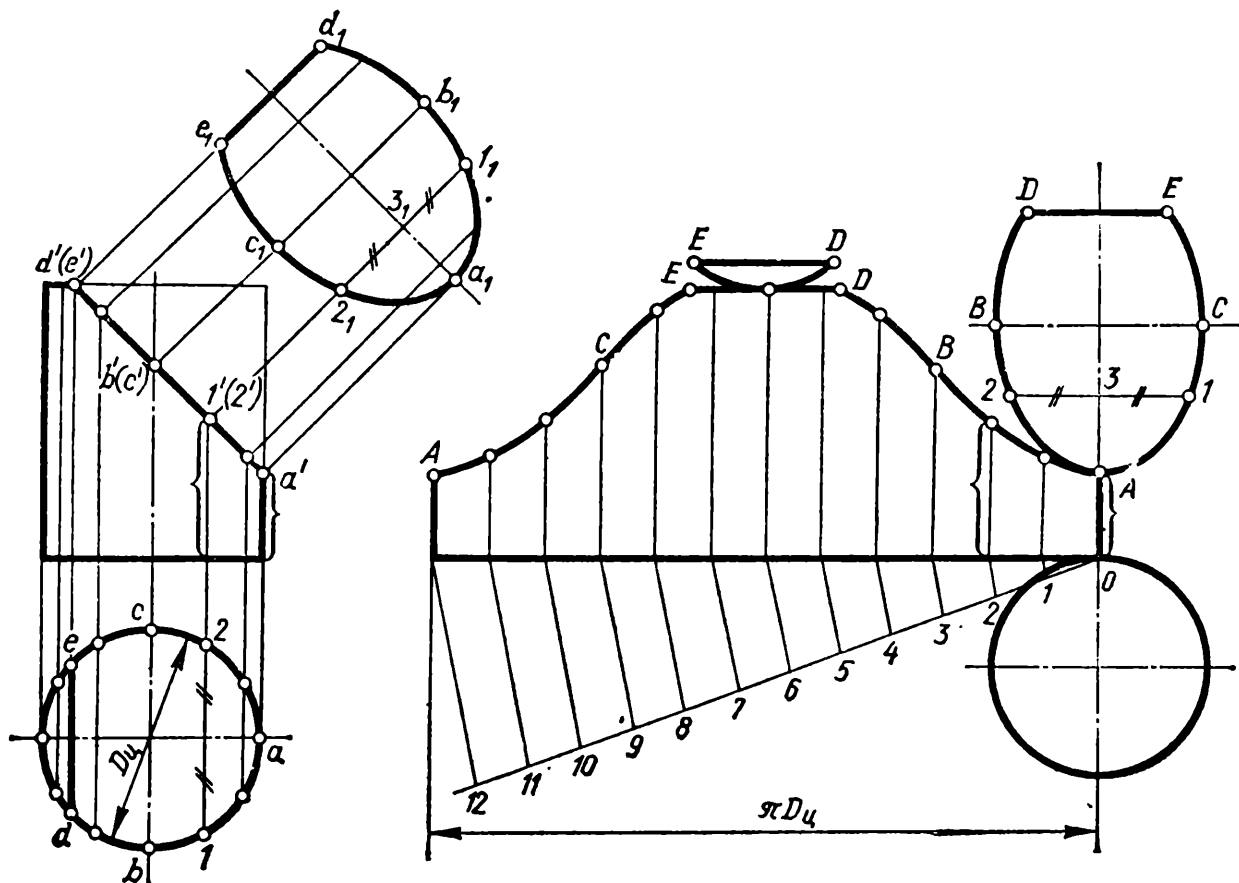


Рис. 272

цилиндра представляет собой прямоугольник со сторонами $\pi D_{\text{ц}}$ и h . Основания цилиндра — два круга диаметром $D_{\text{ц}}$ — изображают на развертке как окружности, касательные к сторонам прямоугольника, длиной $\pi D_{\text{ц}}$. Точки касания выбирают, исходя из свободного места на рабочем поле чертежа и общей композиции.

Построение развертки усеченного цилиндра. Рассмотрим построение полной развертки усеченного прямого кругового цилиндра (рис. 272), поверхность которого состоит из боковой цилиндрической поверхности, нижнего основания, части верхнего основания и фигуры среза — неполного эллипса. Для построения развертки необходимо определить только натуральную величину фигуры среза. Она получена на дополнительной плоскости H_1 , параллельной плоскости среза, — проекция $a_1 b_1 d_1 e_1 c_1$.

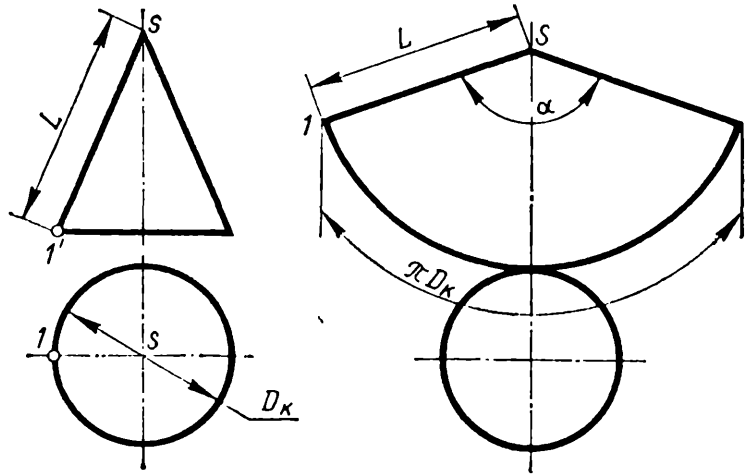


Рис. 273

Построение развертки начинают с изображения боковой поверхности целого цилиндра. Затем на развертке вычерчивают линию среза — лекальную кривую. Для этого на боковую поверхность цилиндра и ее развертку наносят 12 образующих на одинаковом расстоянии друг от друга. На образующих развертки откладывают их длину — отрезки, взятые с фронтальной проекции соответствующих образующих. Соединив последовательно концы усеченных образующих, получают линию среза.

К развертке боковой поверхности присоединяют нижнее основание (круг диаметра $D_{\text{ц}}$), часть верхнего основания и фигуру сечения — неполный эллипс. Контур эллипса строят на развертке с помощью хорд, например хорды $1-2=1_1-2_1$.

Построение развертки прямого кругового конуса. Полная развертка поверхности прямого кругового конуса (рис. 273) состоит из кругового сектора и круга. Круговой сектор (развертка боковой поверхности конуса) строят по его радиусу L (длина образующей конуса) и центральному углу $\alpha = 180^\circ D_{\text{к}}/L$, где $D_{\text{к}}$ — диаметр основания конуса.

Контрольные вопросы и упражнения. 1. Что называется разверткой? 2. Что представляет собой развертка боковой поверхности прямого кругового цилиндра, конуса? 3. Какой прием применяют для переноса на развертку многоугольника (четырех-, пятиугольника и т. д.) произвольной формы? 4. Постройте полную развертку усеченной призмы (см. рис. 253, б).

Большинство окружающих нас предметов представляет собой комбинацию простейших геометрических форм. Поверхности геометрических форм, ограничивающие предметы, сочетаются друг с другом путем касания или пересечения.

Поверхности касаются, если одна из них плавно переходит в другую. Линии касания поверхностей на предметах не видны, поэтому и на проекциях их не показывают (рис. 274).

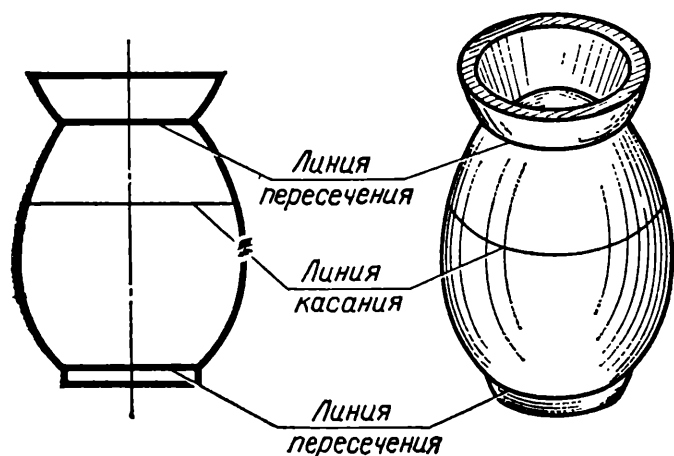


Рис. 274

При пересечении поверхностей получаются линии, называемые *линиями пересечения*. Эти линии обязательно изображают на проекциях. Линии пересечения могут быть как пространственными и плоскими кривыми, так и прямыми линиями. Форма линии пересечения зависит от вида пересекающихся поверхностей и их взаимного расположения. Поэтому перед построением линии пересечения любых поверхностей следует проанализировать проекции заданных геометрических тел (предметов, деталей).

Пересечение многогранников. Два многогранника пересекаются по ломаным замкнутым линиям. Вершинами ломаной линии являются точки пересечения ребер одного многогранника с гранями другого, а отрезками ломаной линии служат линии пересечения граней двух многогранников. Например, точка *1* — точка пересечения ребра *AB* одной призмы с гранью *II* другой призмы (рис. 275), а отрезок *1—3* — линия пересечения граней *I* и *II* двух призм.

Таким образом, задача на построение линии пересечения двух многогранников сводится к последовательному решению ряда задач на определение точки пересечения прямой (ребра) с плоскостью (гранью) или на построение линии пересечения двух плоскостей — граней многогранников (подобные задачи разобраны в § 38). Линии пересечения двух многогранников можно строить одним из указанных способов, выбирая каждый раз наиболее простое решение. Иногда удобно комбинировать оба способа.

Рассмотрим построение линии пересечения двух прямых призм (рис. 275). По проекциям устанавливаем, что боковые грани шестиугольной призмы перпендикулярны плоскости *H*, а треугольной — перпендикулярны плоскости *W*. Это значительно упрощает построение проекций линии пересечения поверхностей призм, так как ее горизонтальная и профильная проекции заданы. Они совпадают с проекциями боковых граней соответствующих призм

в пределах площади наложения проекций*. Следовательно, остается построить лишь фронтальную проекцию линии пересечения. Кроме того, обе призмы имеют общую плоскость симметрии T , параллельную плоскости W . Это позволяет рассмотреть построение одной половины линии пересечения, например, левой, а правую строить симметрично ей.

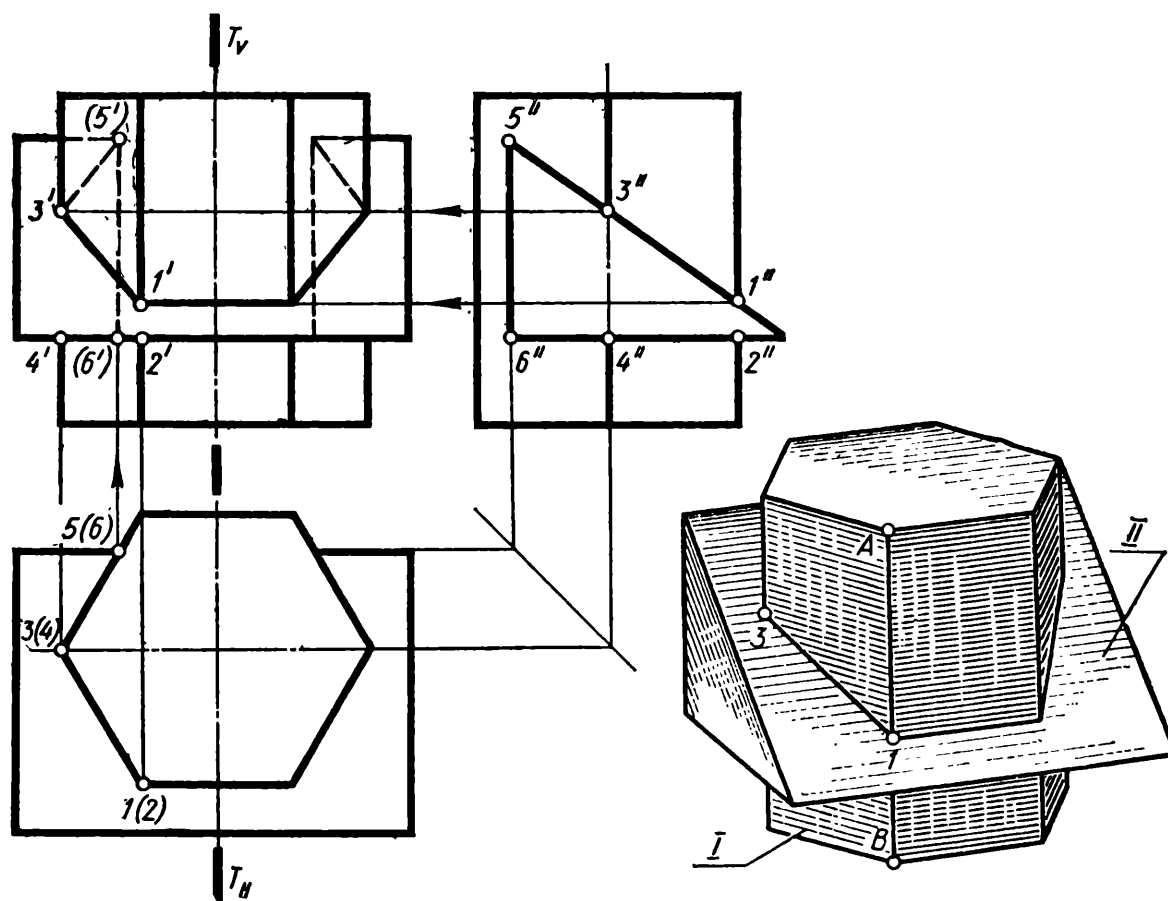


Рис. 275

Для построения фронтальной проекции линии пересечения необходимо отметить заданные проекции точек пересечения ребер каждой из призм с гранями другой призмы. По горизонтальной и профильной проекциям видно, что четыре ребра шестиугольной призмы пересекаются с двумя гранями треугольной призмы, а два боковых ребра треугольной призмы пересекаются с двумя гранями шестиугольной призмы. Для левой половины линии пересечения это точки 1, 2, 3, 4 и 5, 6. Фронтальные проекции точек 1...6 получают на пересечении линий связи, проведенных через точки 1''...6'' и 1(2), 3(4), 5(6). Построенные фронтальные проекции точек (1...6) последовательно соединяют отрезками прямых линий и отмечают видимость линии пересечения на плоскости V . Фронтальные проекции отрезков 3—5 и 5—6 линии пересечения невидимы, так как они расположены на задних гранях шестиугольной призмы.

* Площадью наложения проекций называют площадь, общую для одноименных проекций заданных фигур.

Задача на построение линии пересечения двух многогранников усложняется, если хотя бы один из них пирамида, так как ее боковые грани чаще всего занимают общее положение.

Построим линию пересечения поверхностей прямой треугольной призмы и правильной четырехугольной пирамиды (рис. 276).

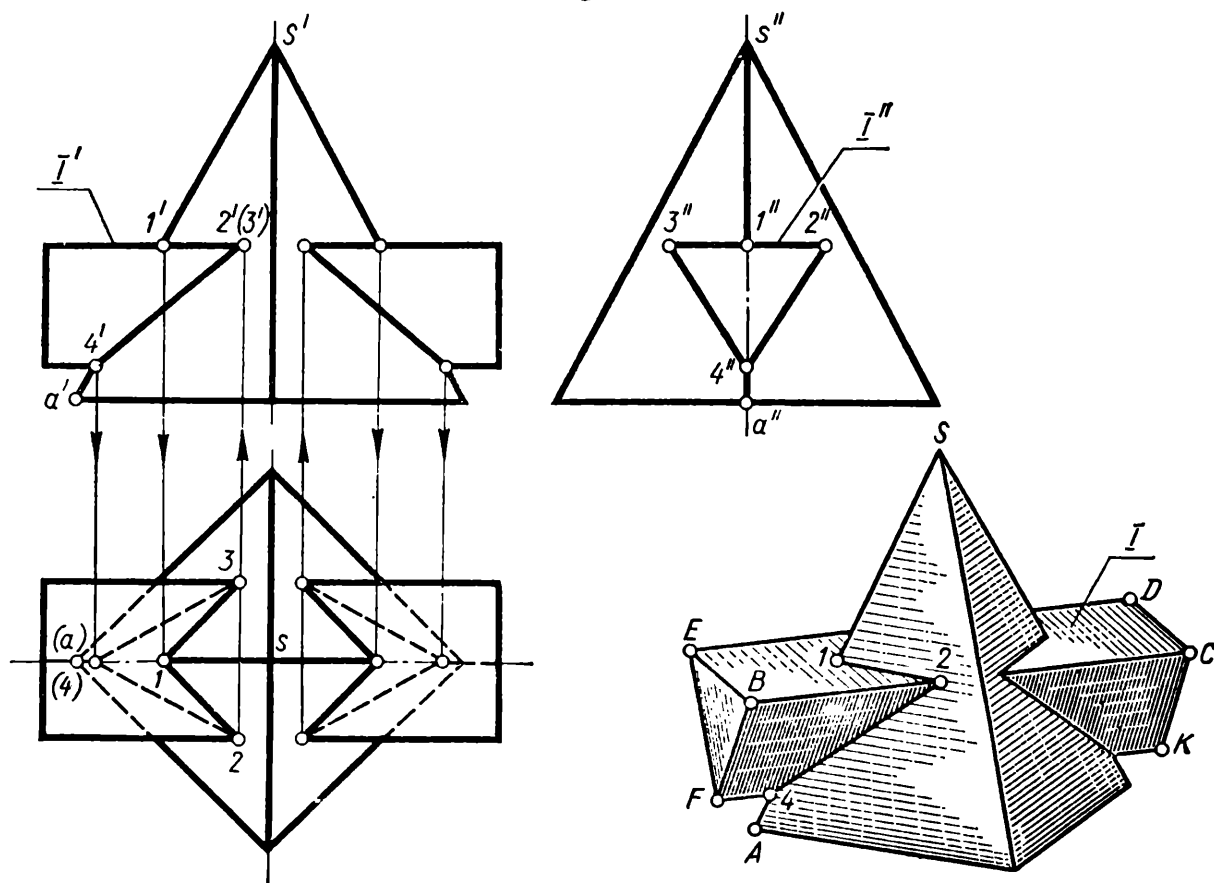


Рис. 276

Боковые грани призмы перпендикулярны плоскости W , поэтому профильная проекция линии пересечения совпадает с одноименной проекцией боковых граней призмы. Остается построить проекции линии пересечения поверхностей призмы и пирамиды на плоскостях H и V .

Линия пересечения пирамиды и призмы состоит из двух симметричных участков, поэтому дальнейшее объяснение дано только для левой ее части. Вначале строят линии пересечения боковой грани I призмы с гранями пирамиды. Грань I параллельна основанию пирамиды и, следовательно, пересекает грани пирамиды по линиям, параллельным ребрам ее основания. Ребро SA пирамиды пересекается с гранью I призмы в точке 1 . На фронтальной проекции отмечают точку $1'$. Через нее проводят линию связи и на пересечении с горизонтальной проекцией ребра SA получают горизонтальную проекцию точки 1 . Через точку 1 проводят прямые, параллельные ребрам основания пирамиды, и продолжают их до пересечения с проекциями верхних ребер BC и DE призмы (ребра обозначены только на аксонометрической проекции) в точках 2 и 3 . В точках 2 и 3 боковые ребра BC и DE призмы пересекаются

с гранями пирамиды. Фронтальные проекции точек 2 и 3 ($2'$ и $3'$) получают с помощью линии связи.

Чтобы получить линии пересечения нижних граней призмы с гранями пирамиды, строят проекции точки 4 — точки пересечения ребер призмы и пирамиды FK и SA . Вначале отмечают фронтальную проекцию $4'$ точки 4, затем с помощью линии связи определяют точки 4 и $4''$. Соединив прямыми проекции точки 4 с одноименными проекциями точек 2 и 3, получают искомые линии пересечения. В заключение выделяют видимые и невидимые участки линии пересечения.

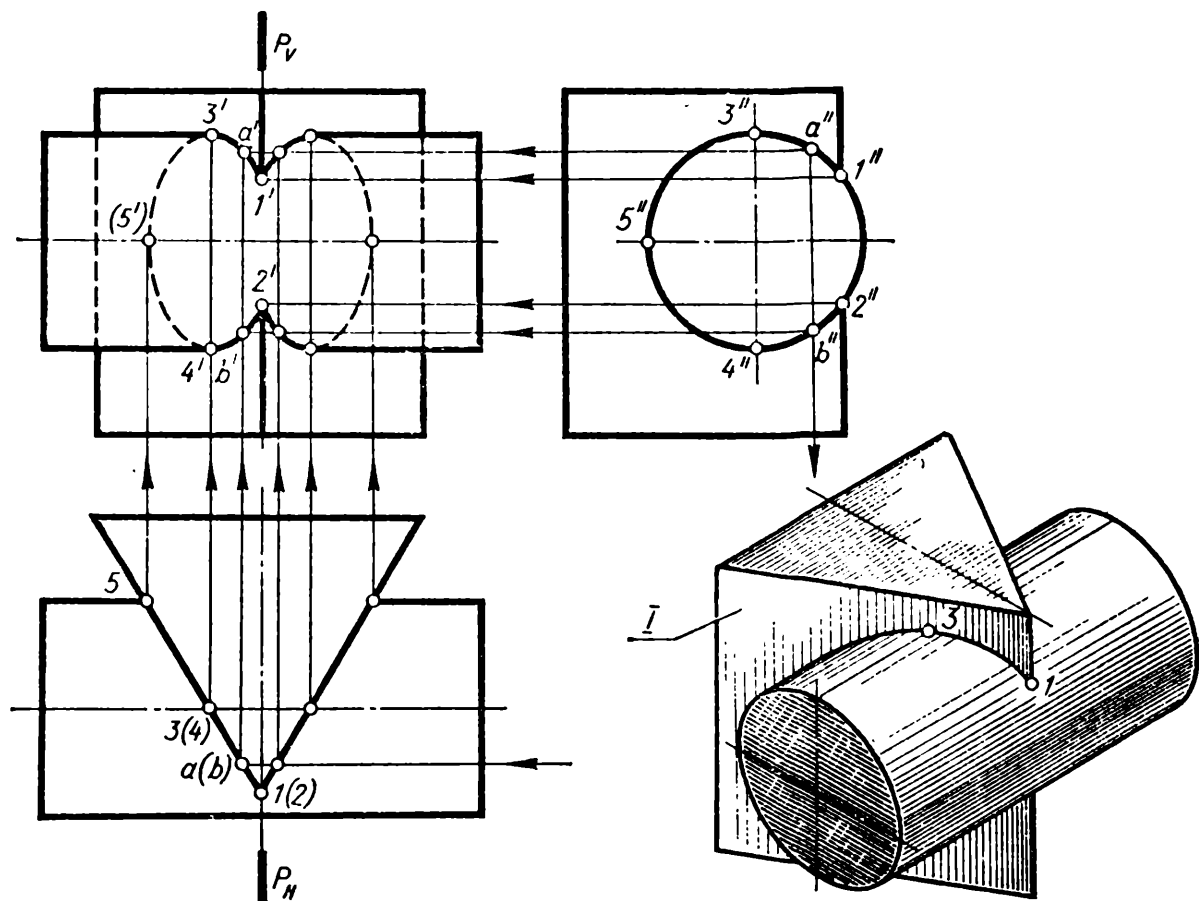


Рис. 277

Пересечение многогранника с поверхностью вращения. Пересечение многогранника с поверхностью вращения следует рассматривать как ряд задач на пересечение плоскостей (граней) с поверхностью вращения. Поэтому линии пересечения состоят из отдельных участков плоских кривых, а также отрезков прямых. Переход от одного участка линии пересечения к другому происходит в так называемых *точках излома*, которые расположены на ребрах многогранников, например точки 1 и 2 на рис. 277.

Точки линии пересечения делят на *опорные* и *промежуточные*. Опорные точки определяют пределы расположения и границы видимости линии пересечения относительно плоскостей проекций. К ним относятся: точки излома; точки наиболее удаленные и наиболее близкие к каждой из плоскостей проекций; точки, принадлежащие очерковым линиям поверхностей. Построение линии

пересечения многогранника с поверхностью вращения следует начинать с построения опорных точек, а затем переходить к промежуточным.

Рассмотрим построение линии пересечения поверхностей прямой треугольной призмы и цилиндра (рис. 277). Боковые грани призмы перпендикулярны плоскости H , а ось цилиндра — плоскости W , следовательно, горизонтальная и профильная проекции линии пересечения заданы. Линия пересечения на горизонтальную плоскость проецируется в виде двух отрезков, совпадающих с проекциями боковых граней призмы, а на профильную — в виде дуги окружности, совпадающей с проекцией боковой поверхности цилиндра. На горизонтальной проекции видно, что цилиндрическая поверхность пересекается с двумя боковыми гранями призмы, наклоненными к оси цилиндра. Следовательно, линия пересечения состоит из двух эллипсов (неполных), которые с искажением, но в виде эллипсов же проецируются на плоскость V . Два участка линии пересечения симметричны относительно профильной плоскости P , поэтому обозначения приведены только для построения фронтальных проекций точек одного участка, полученного при пересечении цилиндрической поверхности с боковой гранью I призмы.

К опорным точкам рассматриваемой линии пересечения относятся: а) точки излома 1 и 2 — точки пересечения переднего ребра призмы с поверхностью цилиндра. Их фронтальные проекции — точки $1'$ и $2'$ — определяют с помощью линий связи, проведенных через точки $1''$ и $2''$ до пересечения с фронтальной проекцией переднего ребра призмы; б) высшая точка 3 и низшая точка 4 . Эти точки одновременно являются концами большой оси эллипса и разграничивают видимые и невидимые участки линии пересечения на плоскости V . Точки 3 и 4 находят как точки пересечения верхней и нижней образующих цилиндра с гранью I призмы; в) крайняя правая точка 5 . Ее строят как точку пересечения наиболее близкой к плоскости V образующей цилиндра с гранью I .

Построение промежуточных точек линии пересечения показано на примере точек A и B . На горизонтальной или профильной проекции линии пересечения намечают положение промежуточных точек и с помощью линий связи строят их другие проекции. Например, на плоскости W наметим точки a'' и b'' . Затем, проводя через эти точки линию связи до пересечения ее с горизонтальной проекцией грани I , получим точки a и b . Фронтальные проекции промежуточных точек A и B находят по двум имеющимся их проекциям с помощью линий связи. Количество промежуточных точек определяется формой линии пересечения. Их должно быть столько, чтобы, соединив точки плавной линией, получить четкий контур кривой. Обычно для одного участка кривой достаточно 10—12 промежуточных точек.

Пересечение поверхностей вращения. Линиями пересечения поверхностей вращения чаще всего бывают пространственные кривые, но могут быть плоские кривые и прямые линии.

В общем случае для построения линии пересечения двух поверхностей вращения применяют вспомогательные плоскости. Положение их выбирают таким, чтобы они пересекали заданные поверхности по простейшим линиям — прямым и окружностям. Например, на рис. 278 использована вспомогательная плоскость P , которая пересекает цилиндр по прямоугольнику, а конус по кругу.

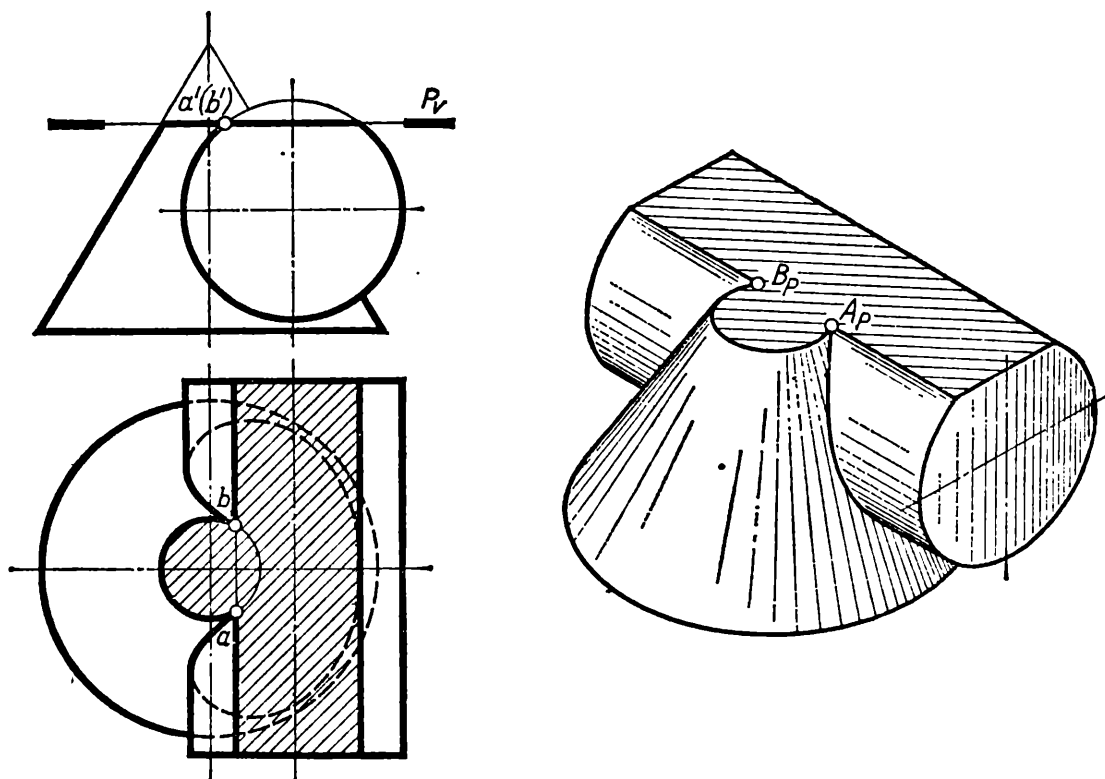


Рис. 278

Контуры фигур сечения пересекаются между собой в точках A и B . Поскольку точки A и B являются общими для пересекающихся поверхностей (цилиндрической и конической), то они принадлежат их линии пересечения. Для построения остальных точек линии пересечения указанный прием повторяют столько раз, сколько требуется, чтобы выявить характер линии пересечения поверхностей.

В частных случаях линия пересечения двух поверхностей вращения может быть построена без вспомогательных плоскостей, например, если образующие двух цилиндров занимают проецирующие положения (рис. 279). В этом случае горизонтальная и профильная проекции линии пересечения заданы. На плоскости W ее проекция совпадает с проекцией боковой поверхности цилиндра I , а на плоскости H — с двумя дугами окружности, представляющей собой проекцию боковой поверхности цилиндра II . Таким образом, остается построить только фронтальную проекцию линии пересечения.

Линия пересечения заданных цилиндров состоит из двух симметричных пространственных кривых, поэтому на проекциях даны обозначения только для одной кривой. Построение линии пересе-

чения начинают с определения ее опорных точек. К ним относятся: а) высшая точка 1 и низшая точка 2. Их определяют на пересечении левой образующей цилиндра II с верхней и нижней образующими цилиндра I; б) точки 3 и 4 — точки пересечения очерковых образующих цилиндра I для горизонтальной проекции с боковой поверхностью цилиндра II.

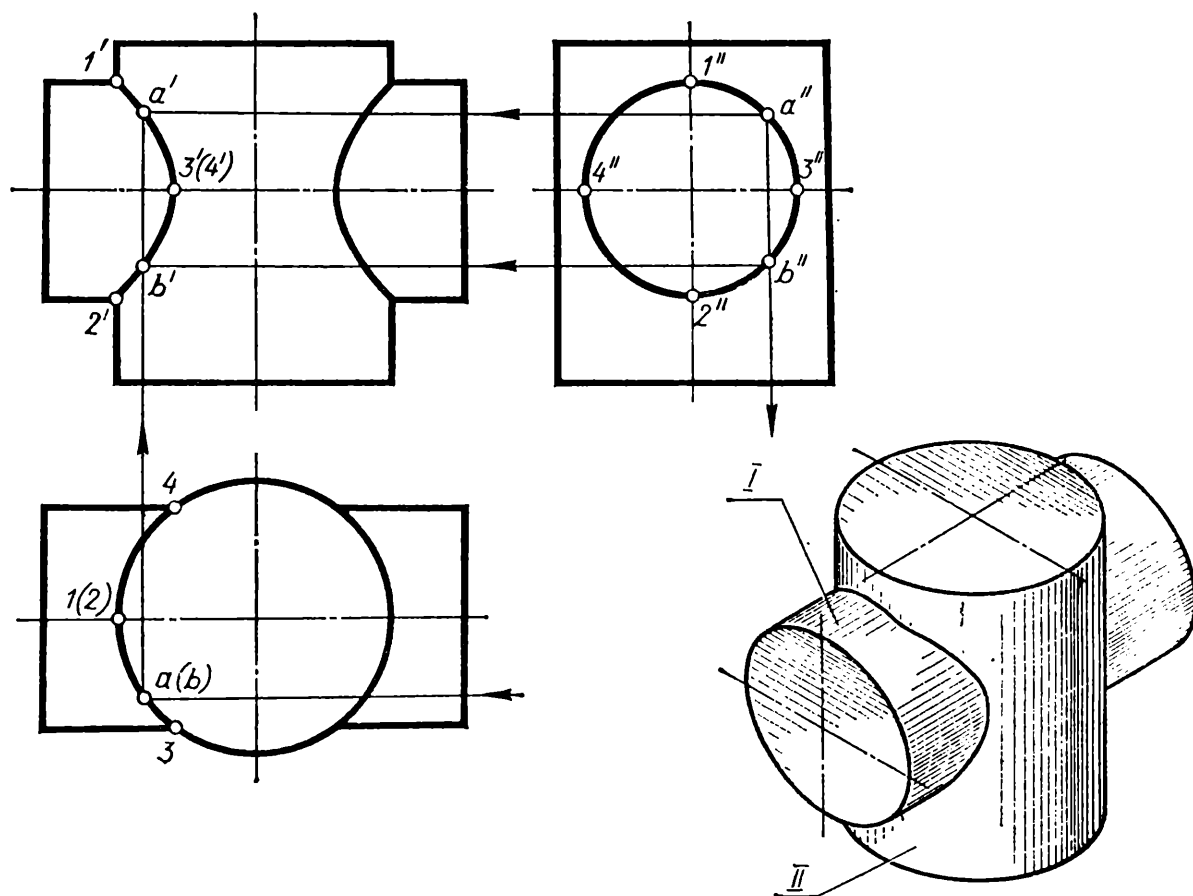


Рис. 279

Фронтальные проекции промежуточных точек, например точек *A* и *B*, строят с помощью линий связи по двум заданным проекциям. На одной из известных проекций линии пересечения, например на профильной, намечают положение точек a'' и b'' . Затем строят их горизонтальные проекции — точки a и b , а точки a' и b' получают на взаимном пересечении линий связи, проведенных через профильные и горизонтальные проекции точек *A* и *B*.

Контрольные вопросы. 1. В чем заключается способ построения линии пересечения поверхностей двух многогранников? 2. По каким линиям многогранник может пересекаться с цилиндрической поверхностью? 3. Какие точки линии пересечения называются точками излома? 4. Какие точки линии пересечения называются опорными точками?

§ 42. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Наглядность изображения детали зависит от вида аксонометрической проекции и ориентации детали относительно аксонометрических осей. Поэтому, если вид аксонометрической проекции не задан, то выбирают такой, который лучше всего выявит форму детали. С этих же позиций к детали присоединяют координатные оси.

Последовательность построения аксонометрической проекции детали во многом зависит от ее формы. Однако есть некоторые общие положения, которые изложены ниже.

Аксонометрические проекции деталей вычерчивают постепенно по отдельным плоским фигурам, их ограничивающим, или по геометрическим телам, из которых они состоят. Поэтому перед построением аксонометрической проекции любой детали следует представить себе ее форму и разобрать, из каких геометрических тел состоит деталь и какие поверхности ее ограничивают. Далее устанавливают последовательность построения отдельных частей детали. При этом надо иметь в виду, что аксонометрическая проекция детали более наглядна, если на ней нет невидимых линий. Кроме того, большое количество их часто приводит к ошибкам. Поэтому по возможности надо строить как можно меньше невидимых линий.

Вначале все построения выполняют тонкими линиями. Перед обводкой с аксонометрической проекции детали удаляют все вспомогательные линии. На законченной аксонометрической проекции обводят только видимые линии.

Рассмотрим вычерчивание аксонометрической проекции детали на примере построения изометрической проекции упора (рис. 280, а). Заданную деталь можно мысленно расчленить на два цилиндра, имеющих общую ось вращения: один цилиндр — диаметром D и длиной $L-l$ и другой — диаметром d и длиной l . Большой цилиндр имеет два плоских среза, параллельных его оси и параллельных между собой. Расстояние между плоскостями среза равно n .

Для получения более наглядного изображения упора целесообразно совместить с его осью вращения ось Y_P . Вначале строят изометрическую проекцию одного из цилиндров, например меньшего (рис. 280, б). Чтобы получить точки O_{1P} и O_{2P} — изометрические проекции центров оснований меньшего цилиндра, — по оси Y_P от точки O_P откладывают отрезок L и из полученной точки O_{1P} — отрезок l . Через точки O_{1P} и O_{2P} проводят оси овалов, заменяющих проекции оснований цилиндра, и строят эти овалы. Затем через концы больших осей овалов проводят очерковые образующие меньшего цилиндра.

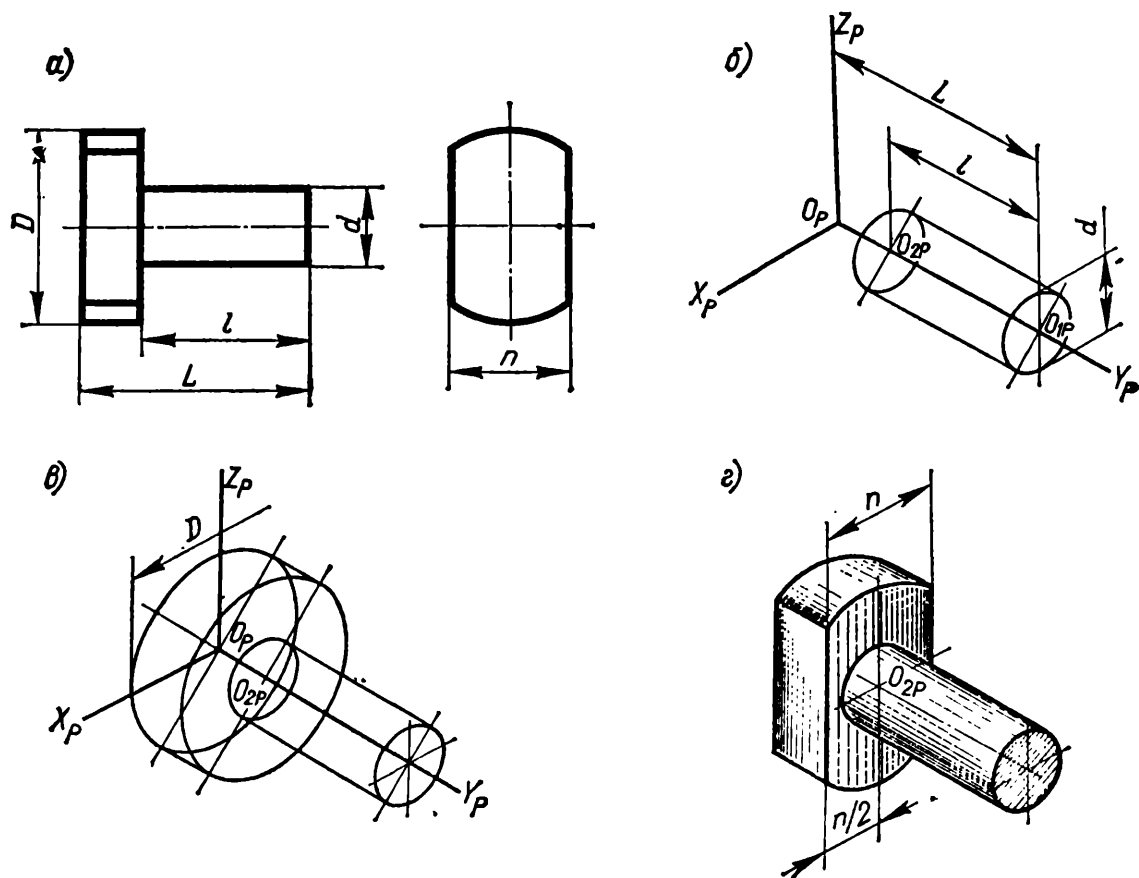


Рис. 280

Приступая к построению изометрической проекции большего цилиндра, вначале строят проекцию цилиндра, считая его целым (рис. 280, б). Затем выполняют срезы (рис. 280, в). Для этого в обе стороны от точки O_{2P} по прямой, параллельной оси X_P , откладывают отрезки $n/2$ и через их концы проводят прямые, параллельные оси Z_P , до пересечения с контуром овала. Далее строят линию среза на втором основании цилиндра. После окончания всех построений удаляют с изометрической проекции упора все лишние линии и обводят ее.

§ 43. ПОСТРОЕНИЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ С РАЗРЕЗАМИ

Если деталь полая или имеет отверстия и различные выемки, то в аксонометрической проекции такую деталь изображают с разрезами, чтобы показать ее внутренние формы. Под *разрезом* понимают такое изображение предмета (детали), которое получается в результате сечения его одной или несколькими проецирующими плоскостями, когда часть предмета, ближайшая к наблюдателю, отбрасывается и изображается только оставшаяся часть. (Подробное описание разрезов приведено в § 44).

Для выполнения разрезов в аксонометрических проекциях применяют плоскости, совпадающие с координатными, или им параллельные. Плоские фигуры, получающиеся при разрезе деталей, в аксонометрических проекциях должны быть заштрихованы. Для

определения наклона линий штриховки в разрезах берут отрезок произвольной длины l и откладывают его по всем аксонометрическим осям от точки O_p , учитывая при этом коэффициенты искажения по каждой из осей (рис. 281). Соединив концы отложенных отрезков, получают направление штриховки для всех координатных плоскостей. На рис. 281, *а* показано направление линий для штриховки разрезов в изометрической проекции, на рис. 281, *б* — в прямоугольной диметрической проекции и на рис. 281, *в* — во фронтальной диметрической проекции.

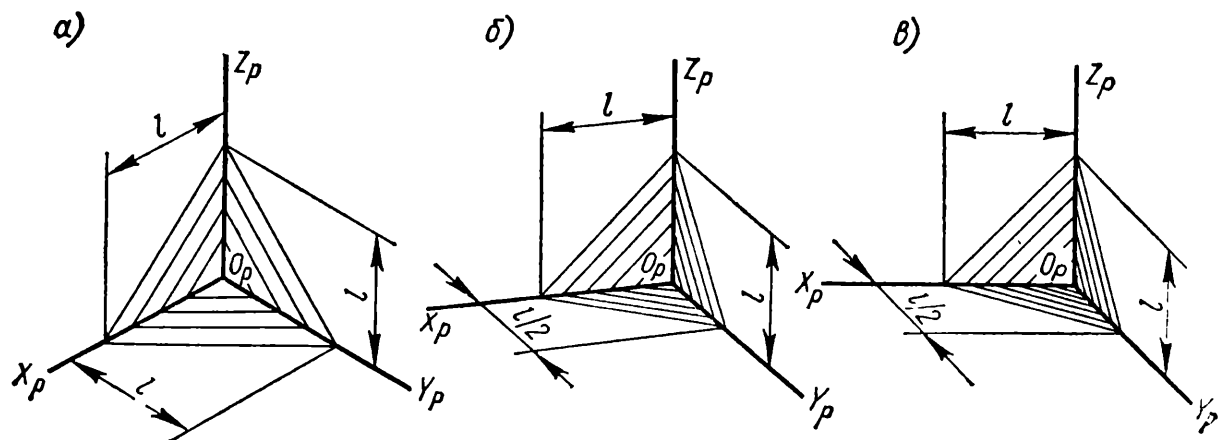


Рис. 281

Рассмотрим построение прямоугольной диметрической проекции детали, изображенной на рис. 282, *а*. Заданная деталь имеет две плоскости симметрии, с которыми удобно совместить плоскости координат XOZ и YOZ . Плоскость XOY совмещена с основанием детали. Наружную форму детали можно расчленить на две прямые четырехугольные призмы. Нижняя призма имеет длину a , ширину b и высоту h . На нее как бы поставлена вторая призма длиной, шириной и высотой соответственно e , b и $H-h$. Внутреннюю форму детали образуют сквозные цилиндрические отверстия: одно ступенчатое в центре детали (размеры d_1 , d_2 , n) и два гладких отверстия диаметром d_3 по бокам.

Построение диметрической проекции детали начинают с изображения ее наружных форм. Детали призматической формы удобно строить по ограничивающим ее плоским фигурам, т. е. по ее граням. Вначале изображают полностью видимую грань детали, например ее переднюю стенку (рис. 282, *б*). Для этого из точки O_p по оси Y_p откладывают отрезок $c/2$ (принимая во внимание сокращение по оси Y_p) и через полученную точку проводят одну прямую параллельно оси X_p и другую — параллельно оси Z_p . В плоскости этих прямых строят диметрическую проекцию передней стенки по размерам a , e , H и h .

Далее строят остальные видимые грани детали (рис. 282, *в*). Для этого через вершины полученного многоугольника, проводят прямые, параллельные оси Y_p , и на них откладывают от вершин отрезки, равные $b/2$. Последовательно соединив концы построенных

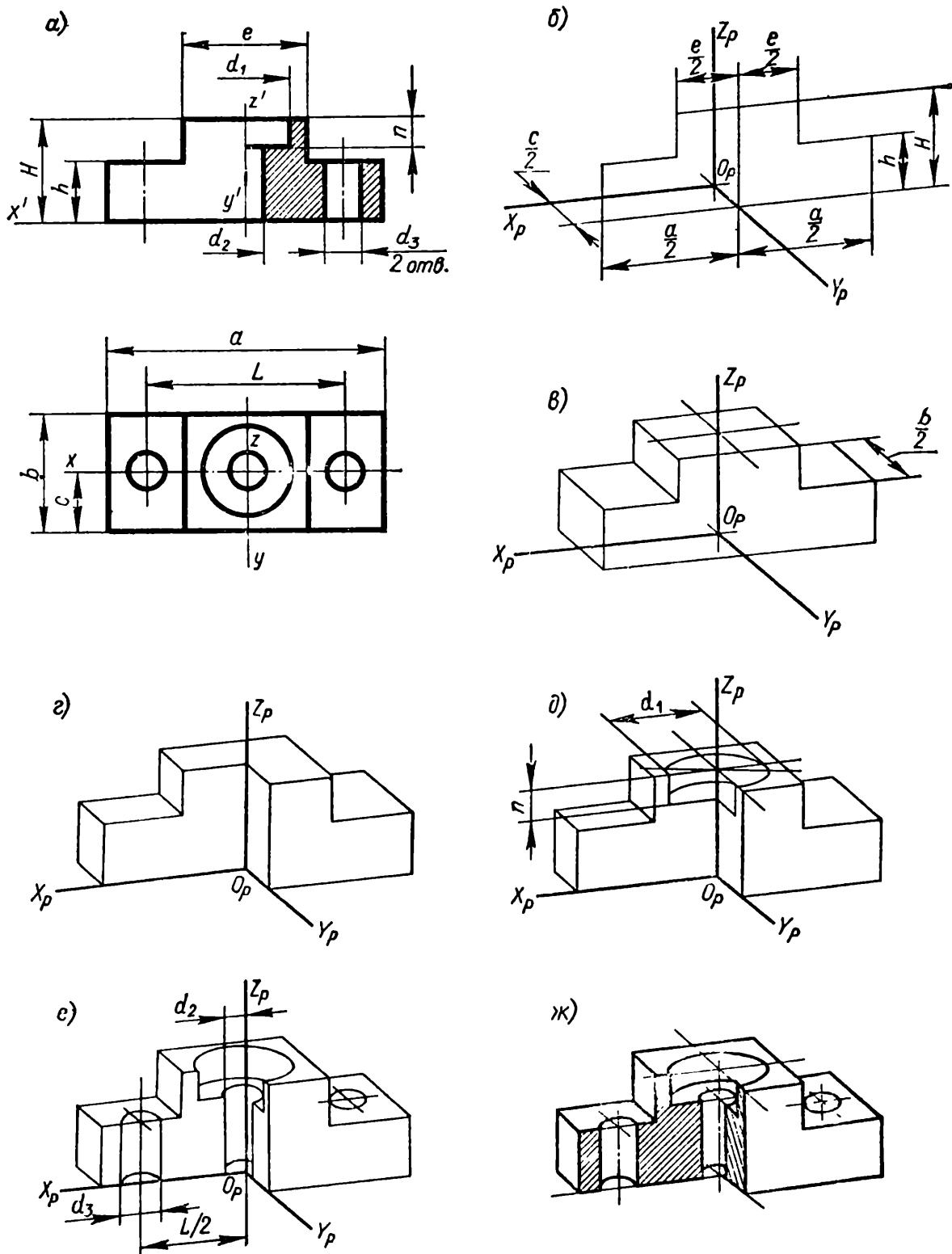


Рис. 282

отрезков прямыми линиями, получают очертания каружного контура детали.

Затем приступают к построению очертаний внутренних форм детали, т. е. отверстий. Чтобы показать их глубину, необходимо вырезать часть детали. При заданной форме детали удобно вырезать у нее одну четверть с помощью двух плоскостей, совпадающих с координатными плоскостями XOZ и YOZ (рис. 282, г).

Диметрические проекции отверстий следует строить после выполнения выреза, чтобы уменьшить количество лишних линий. В

данном примере проекции отверстий построены в следующем порядке. Вначале построена верхняя часть центрального отверстия по размерам d_1 и n (рис. 282, *д*), затем сквозное отверстие диаметра d_2 (рис. 282, *е*) и в последнюю очередь изображены два боковых отверстия диаметром d_3 .

Заканчивают построение диметрической проекции детали штриховкой плоских фигур, полученных в плоскостях разрезов (рис. 282, *ж*). Перед окончательной обводкой детали следует проверить правильность всех построений.

Если сравнить формы контура фигур, полученных в плоскости разреза XOZ на фронтальной и диметрической проекциях, то нетрудно увидеть, что они отличаются друг от друга только тем, что в первом случае между линиями контура прямые углы, а во втором они искажены. Совпадение формы контуров на обеих проекциях дает возможность строить аксонометрическую проекцию в другой последовательности, а именно: начинать с построения проекций контуров выреза, а затем постепенно пристраивать оставшиеся части детали. Такой порядок построения позволяет почти полностью избежать построений лишних линий. Однако начинать построение аксонометрической проекции детали с выреза можно рекомендовать только после того, как будут приобретены некоторые навыки в построении аксонометрических проекций, а также при условии свободного понимания формы детали по ее проекциям.

Глава 11

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ГРАФИЧЕСКОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Предметы (изделия) изготавливают по техническим чертежам. Такие чертежи выполняют по способу прямоугольного проецирования на две и большее число плоскостей, который благодаря применению в общем случае нескольких изображений (проекций) дает возможность получить сведения о форме и размерах изображаемого предмета. Правила выполнения и оформления технических чертежей установлены Государственным стандартом «Единая система конструкторской документации». В настоящей главе кратко изложены основные сведения о построении и чтении технических чертежей.

§ 44. ВИДЫ, РАЗРЕЗЫ И СЕЧЕНИЯ

Согласно ГОСТ 2.305—68, все изображения (проекции) на техническом чертеже в зависимости от их содержания делят на виды, разрезы и сечения.

Виды. *Видом называют изображение видимой части предмета, обращенной к наблюдателю.* При этом считают, что предмет расположен между наблюдателем и соответствующей плоскостью

проекций. За основные плоскости проекций принимают шесть граней куба, причем предполагается, что предмет помещен внутри куба (рис. 283, а). Грани куба совмещают с фронтальной плоскостью проекций, как показано на рис. 283, б. Грань, обозначенная цифрой 6, в совмещенном положении может быть расположена также рядом с гранью 4.

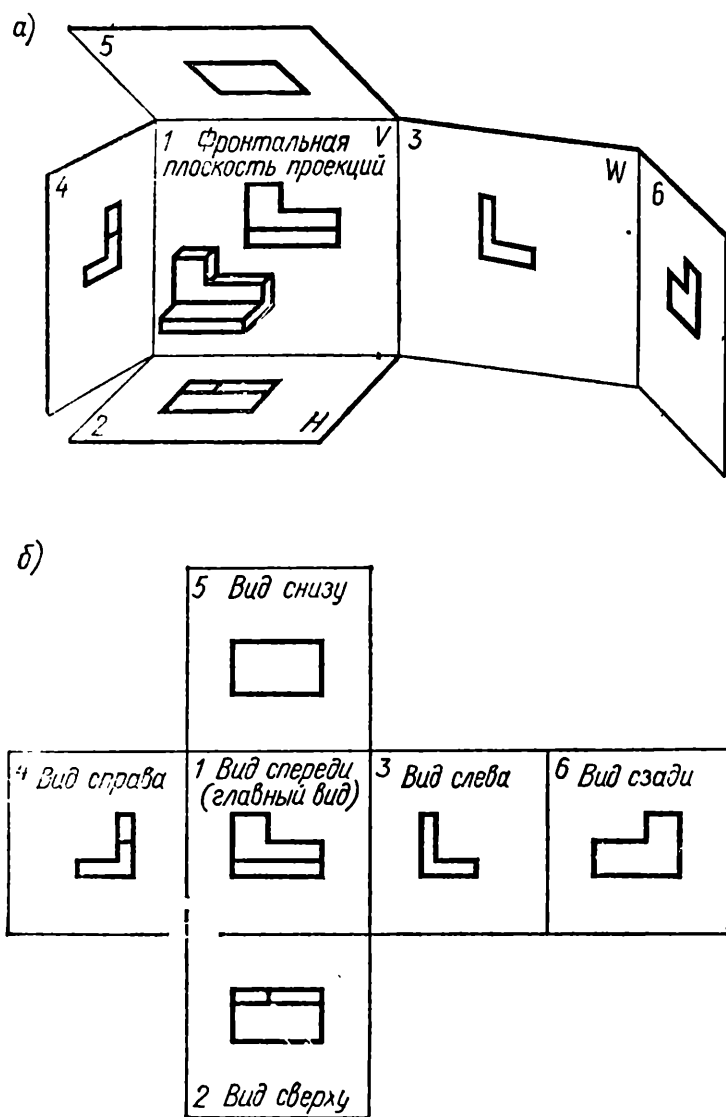


Рис. 283

Изображение предмета на фронтальной плоскости проекций принимают на чертеже за главное и называют *видом спереди* или *главным видом*. Такое изображение является главным потому, что предмет располагают относительно фронтальной плоскости так, чтобы изображение на ней давало наиболее ясное и полное представление о форме и размерах предмета. Изображение на горизонтальной плоскости проекций называют *видом сверху*, а на профильной — *видом слева*. Помимо названных видов ГОСТ 2.305—68 предусматривает еще три основных вида: вид справа, вид снизу и вид сзади.

Названия основных видов на чертежах не надписывают, если между ними сохранена проекционная связь. В тех случаях, когда основные виды смещены относительно главного или отделены от него другими изображениями, их необходимо на чертеже отмечать надписью по типу «Вид А», а направление взгляда указывать стрелкой с соответствующей буквой. Например, чтобы полностью раскрыть форму рычага (рис. 284), нужно четыре основных вида: вид спереди, вид сверху, вид слева и вид снизу. Вид снизу положено располагать над видом спереди, а на чертеже он помещен под видом слева и поэтому отмечен надписью «Вид А», а внизу у вида спереди поставлена стрелка с буквой А, указывающая направление взгляда.

При изображении деталей бывают случаи, когда какие-либо части деталей нельзя показать ни на одном из основных видов без искажения их формы и размеров. Тогда следует применять до-

полнительные виды, получаемые на плоскостях, не параллельных ни одной из основных плоскостей проекций (рис. 285). Дополнительный вид на чертеже отмечают надписью типа «Вид А», а у связанного с этим видом изображения предмета ставят стрелку с соответствующим буквенным обозначением (стрелка А), указывающую направление взгляда.

В тех случаях, когда на чертеже нужно показать узко ограниченное место детали, применяют местные виды. Такие виды на чертежах отмечают подобно дополнительным видам. Местный вид можно ограничивать линией обрыва (рис. 286, а) или не ограничивать (рис. 286, б).

Общее количество изображений одного предмета должно быть наименьшим, но полностью отражающим его форму.

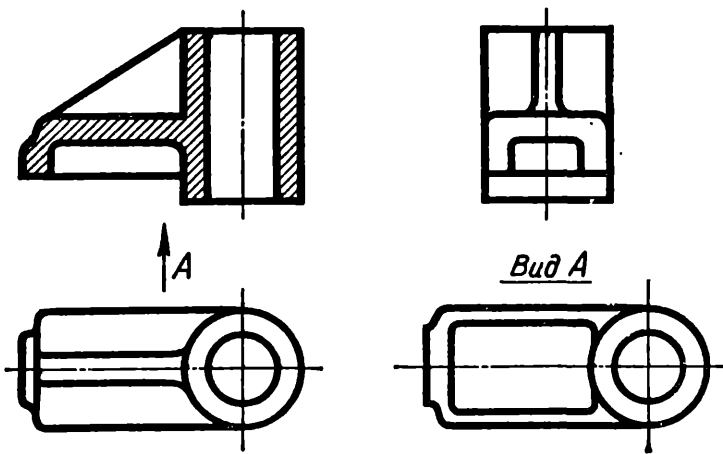


Рис. 284

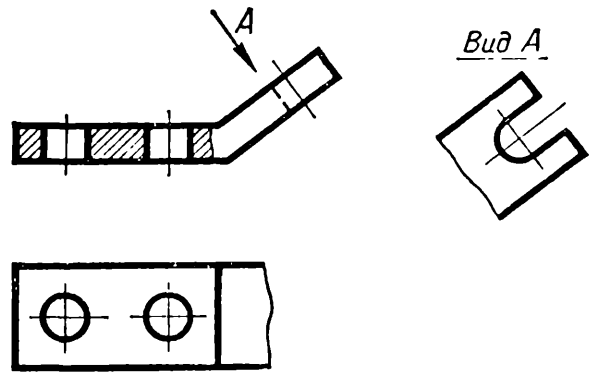


Рис. 285

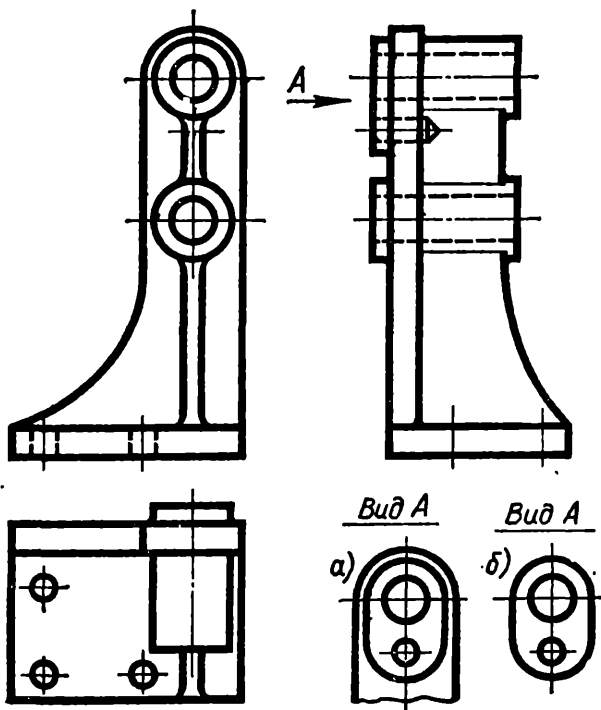


Рис. 286

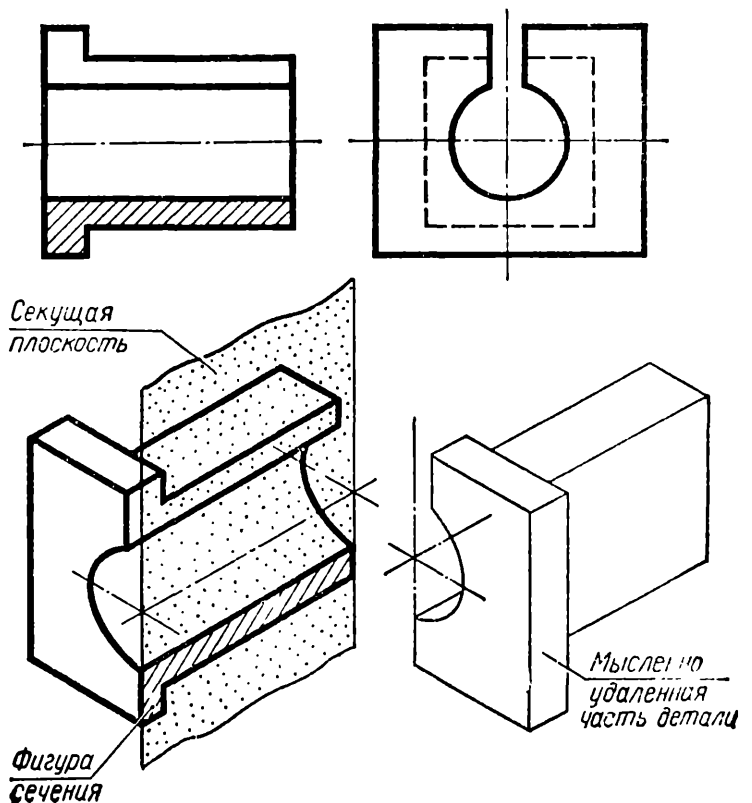


Рис. 287

Разрезы. Внутренние поверхности предметов (деталей) можно изобразить на видах с помощью штриховых линий. Однако большое количество штриховых линий затрудняет чтение чертежа. Это затруднение устраняется, если применить разрезы и сечения.

Разрезом называют изображение предмета, мысленно рассеченного одной или несколькими плоскостями, при этом мысленное рассечение предмета относится только к данному разрезу и не влечет за собой изменения других изображений того же предмета (рис. 287). При построении разреза часть детали, находящуюся между наблюдателем и секущей плоскостью, мысленно удаляют, а

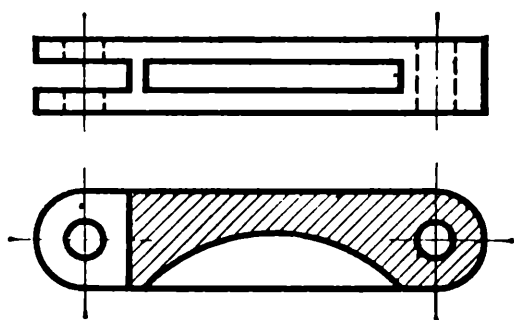


Рис. 288

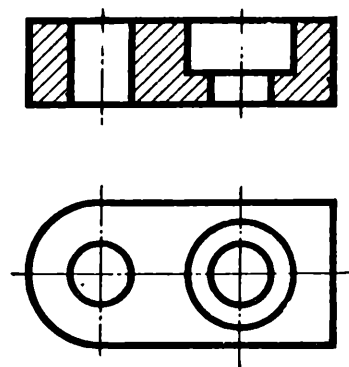


Рис. 289

на чертеже изображают очертания оставшейся части детали. Они состоят из одной или нескольких плоских фигур, полученных при сечении предмета плоскостью (на разрезе они заштрихованы), и очертаний той части предмета, которая расположена за секущей плоскостью.

В зависимости от положения секущей плоскости относительно плоскости H разрезы делят на горизонтальные, вертикальные и наклонные.

Горизонтальным называют разрез, образованный секущей плоскостью, параллельной плоскости H (рис. 288).

Разрез, образованный секущей плоскостью, перпендикулярной плоскости H , называют *вертикальным*. Если секущая плоскость параллельна плоскости V или W , то вертикальный разрез называют соответственно фронтальным (рис. 289) или профильным (рис. 290). Перечисленные разрезы, как правило, располагают на месте основных видов, а именно: фронтальный — на месте вида спереди или вида сзади; профильный — на месте вида слева или вида справа; горизонтальный — на месте вида сверху или вида снизу.

Наклонным называют разрез, образованный секущей плоскостью, составляющей с плоскостью H угол, отличный от прямого (рис. 291). Подобные разрезы применяют в тех случаях, когда требуется выявить форму части предмета, расположенной наклонно к плоскости H .

На чертежах положение секущей плоскости отмечают разомкнутой линией, называемой *линией сечения*. На расстоянии 2...3 мм от

внешних концов линии сечения и перпендикулярно ей наносят стрелки, указывающие направление взгляда (рис. 292). Рядом со стрелками и также с внешней стороны ставят одну и ту же прописную букву русского алфавита. Линия сечения не должна пересекать контур изображения. Толщина ее принимается равной от s до $1,5 s$, а длина — примерно $8 \dots 10$ мм. Линию сечения заканчивают стрелками, указывающими направление взгляда. Разрез на чертеже отмечают надписью по типу «А—А», которую помещают над разрезом и подчеркивают тонкой линией. Вертикальные разрезы, кроме фронтальных и профильных, а также наклонный располагают в соответствии с направлением, указанным стрелками по линии сечения.

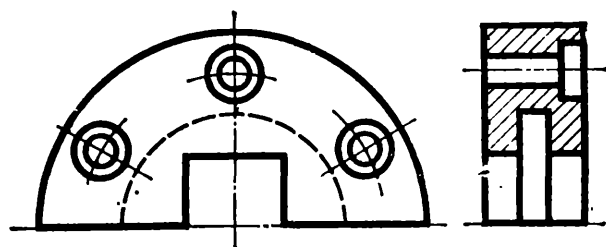


Рис. 290

В тех случаях, когда секущая плоскость совпадает с плоскостью симметрии предмета (например, у деталей на рис. 288, 289 и 290), то для горизонтальных, фронтальных и профильных разрезов на чертеже не отмечают положение секущей плоскости и изображение разреза не сопровождают надписью.

В зависимости от числа секущих плоскостей разрезы делят на простые и сложные. *Простым* называют разрез, выполненный с помощью одной секущей плоскости. Все разрезы, рассмотренные выше, являются простыми.

Если разрез выполнен с помощью нескольких плоскостей, то его называют *сложным*. Сложные разрезы могут быть ступенчатыми и ломаными. *Ступенчатым* называют разрез, образованный параллельными секущими плоскостями (например, двумя фронтальными плоскостями на рис. 293). При изображении ступенчатого

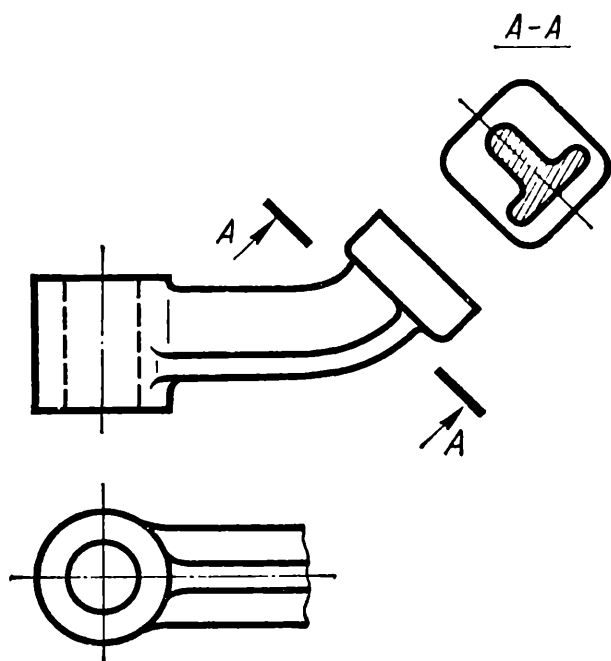


Рис. 291

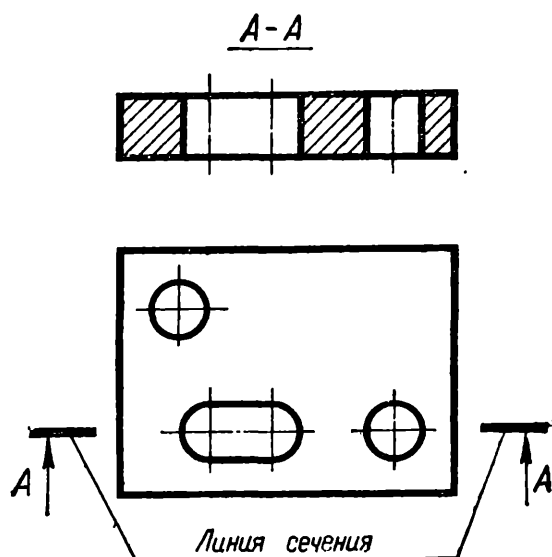


Рис. 292

разреза все секущие плоскости совмещают в одну и на разрезе их не разграничивают. При обозначении такого разреза линию сечения показывают не только у начала и конца разреза, но и в местах перегиба линии сечения. Буквы же ставят в начале и в конце разреза.

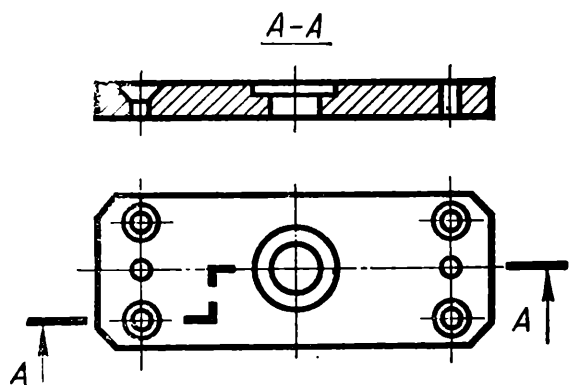


Рис. 293

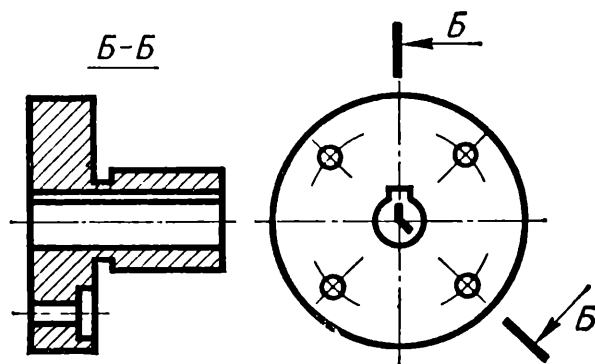


Рис. 294

Разрез называют *ломаным*, если секущие плоскости пересекаются (рис. 294). При изображении ломаного разреза секущие плоскости условно поворачивают до совмещения их в одну плоскость.

Для выявления внутренней формы предмета в узкоограниченном месте применяют местные разрезы (рис. 295). Местные разрезы на виде выделяют сплошной волнистой линией, толщиной от $s/2$ до $s/3$. Эта линия не должна совпадать с линией контура предмета или служить ее продолжением.

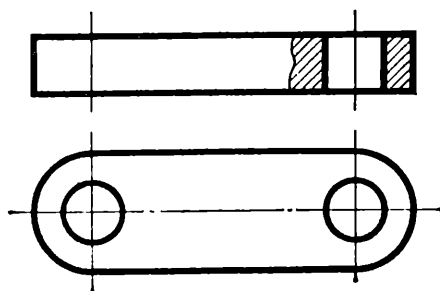


Рис. 295

На проекциях разрез можно соединить с видом, чтобы на одном изображении показать наружные и внутренние формы предмета. При этом, если вид и соответствующий разрез симметричны относительно одной и той же оси, то разделяю-

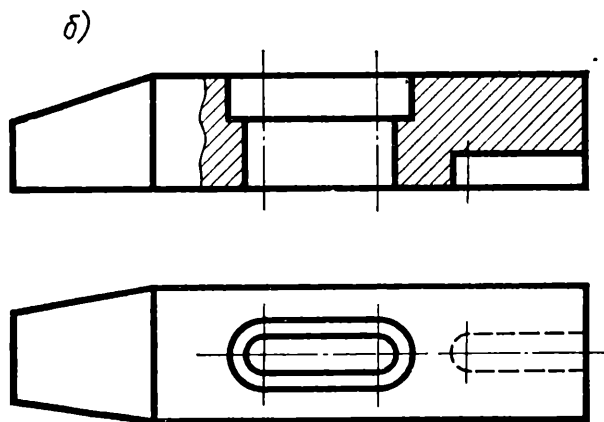
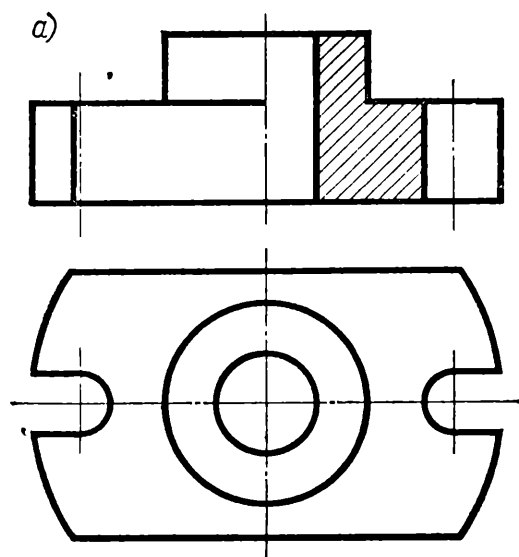


Рис. 296

щей их линией служит ось симметрии, т. е. тонкая штрихпунктирная линия (рис. 296, а). В остальных случаях вид и разрез разделяют сплошной волнистой линией (рис. 296, б).

Сечения. Сечением называют изображение фигуры, получающейся при мысленном рассечении предмета одной или несколькими плоскостями. На сечении показывают только то, что получается непосредственно в секущей плоскости. На рис. 297 изображены сечение (а) и разрез (б), полученные при сечении детали одной и той же плоскостью. Сравнивая оба изображения, можно заключить, что сечение является составной частью разреза и представляет собой самостоятельное изображение.

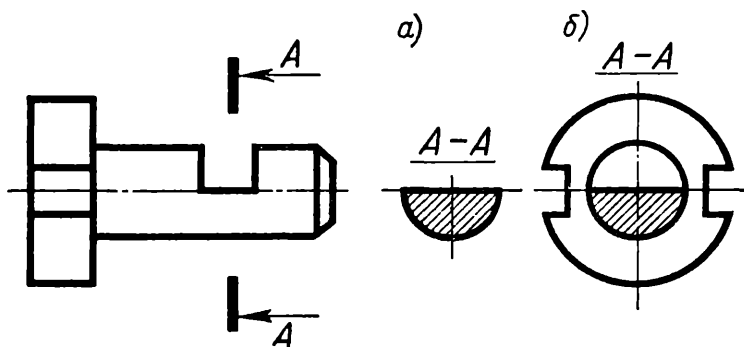


Рис. 297

Сечения, не входящие в состав разреза, разделяют на два вида: *вынесенные* (рис. 298, а, г) и *наложенные* (рис. 298, б, в). При выполнении чертежа всегда следует отдавать предпочтение вынесенным сечениям перед наложенными.

На чертежах для вынесенного сечения приняты те же обозначения и надписи, что и для разрезов (см. рис. 297), а его контур изображают сплошными основными линиями. Если же вынесенное сечение имеет ось симметрии и расположено на ее продолжении, то линию сечения не проводят и сечение не обозначают (рис. 298, а). Для контура наложенного сечения применяют сплошную тонкую линию толщиной от $s/2$ до $s/3$, причем линии, изображающие контур детали, в месте расположения сечения не прерывают (рис. 298, в). Наложённые сечения на чертежах не обозначают, но если они имеют несимметричную форму, то проводят линию сечения и стрелками указывают направление взгляда (рис. 298, в).

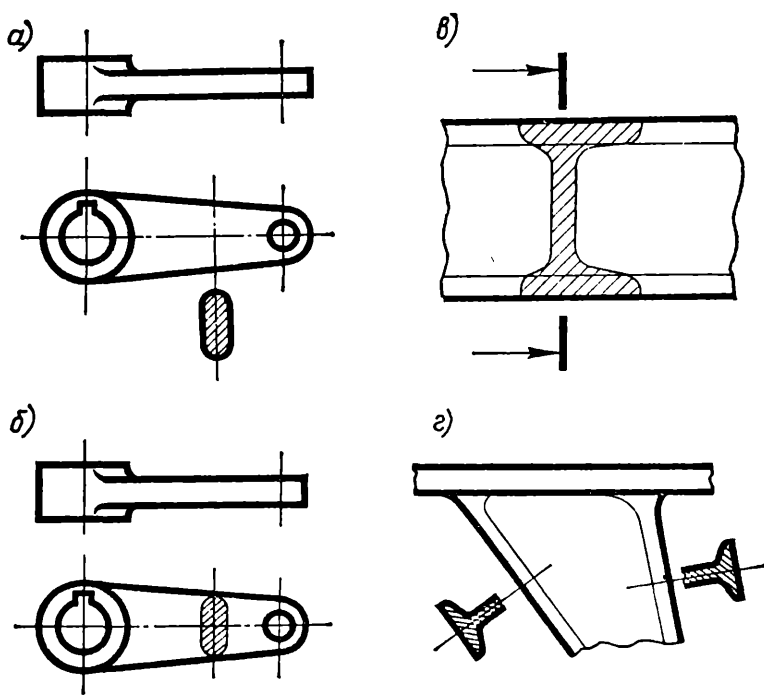


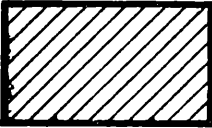

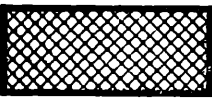

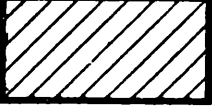

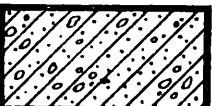


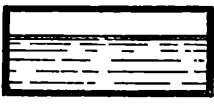

Рис. 298

При построении сечения секущие плоскости следует располагать перпендикулярно осям и ребрам, чтобы получить нормальное поперечное сечение (рис. 298, г).

§ 45. ГРАФИЧЕСКОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ В СЕЧЕНИЯХ

На технических чертежах материал в сечениях, согласно ГОСТ 2.306—68, условно обозначают штриховкой, которую выполняют тонкими линиями (сплошными или прерывистыми). Тип штриховки (табл. 2) зависит от материала, из которого изготовлено изделие. Параллельные наклонные прямые линии проводят под углом 45° к линиям рамки чертежа. Если линии штриховки совпадают с линиями контура или осевыми линиями, то их проводят под углом 30° или 60° .

Таблица 2

Штриховка	Материал	Штриховка	Материал
	Металлы		Древесина поперек волокон
	Неметаллические материалы, за исключением указанных далее		Древесина вдоль волокон
	Кирпич строительный		Стекло и другие прозрачные материалы
	Бетон армированный		Бетон неармированный
	Фанера		Жидкости
			Грунт

Линии штриховки могут иметь наклон влево или вправо, но в одну и ту же сторону на всех разрезах и сечениях, относящихся к данной детали. Расстояние между линиями штриховки выбирают в пределах от 1 до 10 мм с учетом площади штриховки и необходимости разнообразия штриховки смежных деталей. Принятое расстояние между линиями штриховки для данной детали должно быть одинаковым на всех сечениях и разрезах этой детали, выполняемых в одном масштабе.

Штриховку фанеры, древесины, стекла и других прозрачных материалов, неармированного бетона и грунта выполняют от руки. Если на чертеже имеются узкие площади сечений (шириной 2 мм и менее), то независимо от материала детали их допускается показывать зачерненными.

§ 46. УСЛОВНОСТИ И УПРОЩЕНИЯ НА ЧЕРТЕЖАХ

В ряде случаев при выполнении чертежей деталей по ГОСТ 2.305—68 допускаются условности и упрощения, которые позволяют упростить изображение деталей, не ухудшая ясности чертежа.

1. Если деталь (предмет) имеет ряд одинаковых равномерно расположенных элементов (отверстий, зубьев и т. п.), то рекомендуется полностью вычерчивать только один-два таких элемента, а остальные показывать упрощенно или условно (рис. 299).

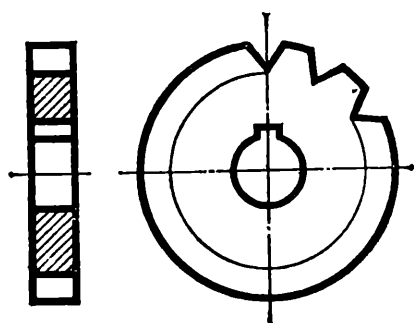


Рис. 299

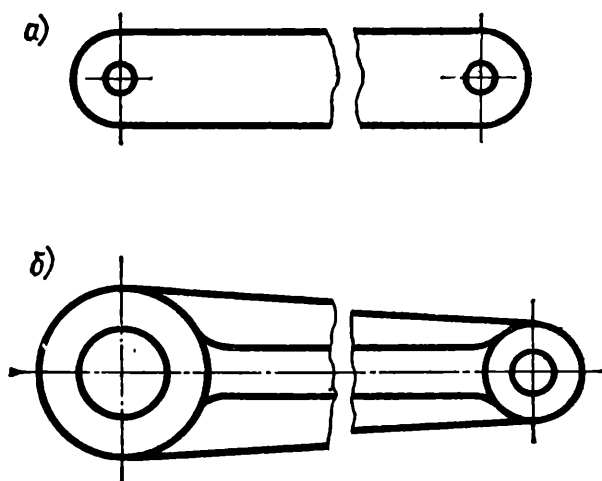


Рис. 300

2. При вычерчивании длинных деталей, имеющих одинаковое (рис. 300, а) или равномерно изменяющееся по всей длине поперечное сечение (рис. 300, б), их можно изображать с разрывом. При этом среднюю часть детали удаляют, а концы ее сближают. Границы обрыва указывают сплошными волнистыми линиями толщиной от $s/2$ до $s/3$.

3. Если изображают линию пересечения поверхностей и по условиям производства точного построения ее не требуется, то допускается на видах и разрезах линию пересечения показывать упрощенно. Например, участки лекальных кривых линии пересечения можно заменять дугами (рис. 301, а) или прямыми линиями (рис. 301, б). Кроме того, если на детали имеется плавный переход от одной поверхности к другой, то на чертеже его можно показывать

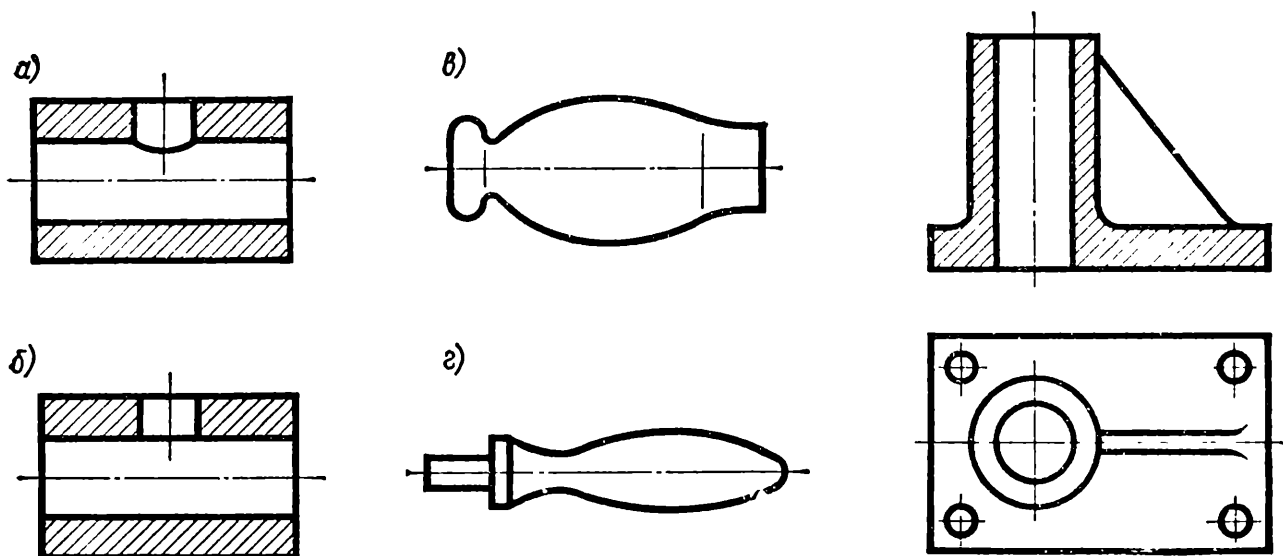


Рис. 301

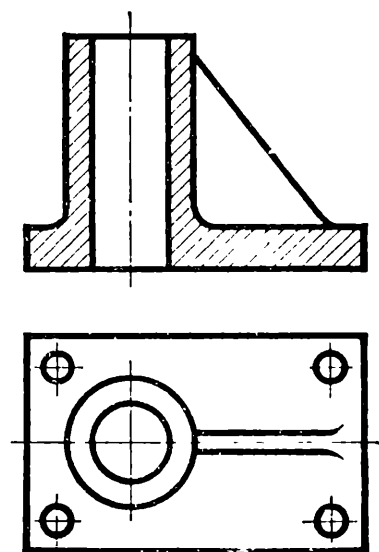


Рис. 302

схематично, чаще всего прямой линией (рис. 301, в) или совсем не показывать (рис. 301, г).

4. Если при выполнении разреза секущая плоскость проходит по оси непустотелых деталей, имеющих цилиндрическую форму (штифты, заклепки, валы и т. п.), а также вдоль длинных ребер или тонких стенок, то на чертеже такие детали или элементы деталей не заштриховывают. Например, на рис. 302 на разрезе не заштриховано ребро детали, так как вертикальная секущая плоскость проходит вдоль него.

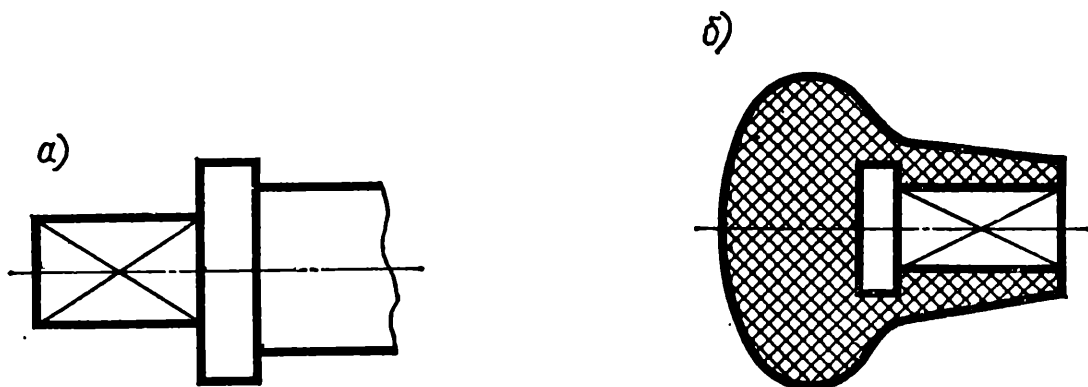


Рис. 303

5. Для выделения на чертеже плоских граней, например квадратного стержня (рис. 303, а) или отверстия (рис. 303, б), рекомендуется проводить на них диагонали сплошными тонкими линиями.

Контрольные вопросы. 1. Какое изображение предмета на чертеже называется его видом? Перечислите названия основных видов. 2. Что называется разрезом? 3. Какие разрезы называются простыми и какие сложными? 4. Что называется сечением? 5. Какая разница между наложенным и вынесенным сечением?

Глава 12

ЧЕРТЕЖИ И ЭСКИЗЫ ДЕТАЛЕЙ

Всякое изделие*, как правило, состоит из отдельных частей — деталей. *Деталью* называют такую часть изделия, которая при изготовлении не требует сборочных операций. Чтобы изготовить деталь, необходимо знать не только ее форму и размеры, но и способ изготовления, данные о качестве поверхности, точности формы детали, свойствах ее материала и ряд других технических требований.

Все сведения о детали, необходимые для ее изготовления и контроля, помещают на рабочем чертеже. На рабочем чертеже эти сведения представлены в графической форме (изображения детали), в виде условных обозначений и текста.

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

Деталь на рабочем чертеже изображается в таком виде, в каком она должна поступить на сборку. Рабочий чертеж одной детали выполняют на отдельном листе стандартного формата с помощью чертежных инструментов. Деталь на чертеже рекомендуется изображать в натуральную величину, т. е. в масштабе 1:1. Исключение делается для особо мелких или, наоборот, крупных деталей, которые вычерчивают с увеличением или уменьшением в соответствии с ГОСТ. 2.302—68.

На учебных чертежах ряд сведений, касающихся технической характеристики детали, можно не помещать. Обычно в учебных условиях ограничиваются только выявлением формы детали и ее размеров.

§ 47. НАНЕСЕНИЕ РАЗМЕРОВ НА ЧЕРТЕЖАХ ДЕТАЛЕЙ

Правильно нанесенные размеры значительно облегчают и ускоряют чтение чертежей, а в процессе изготовления деталей дают возможность рабочему с наименьшей затратой времени определить по чертежу нужные ему размеры. Поэтому при выполнении чертежей деталей на нанесение размеров следует обращать особое внимание.

Общие правила нанесения размеров на чертежах установлены ГОСТ 2.307—68. Основные положения о нанесении размерных линий и чисел на чертежах изложены в § 6. В настоящем параграфе приведены только дополнительные сведения о нанесении размеров на чертежах деталей.

1. При нанесении размеров в большинстве случаев следует руководствоваться технологическим процессом изготовления детали, т. е. способом и последовательностью изготовления детали.

2. При нанесении размеров, относящихся к одному и тому же элементу детали, рекомендуется их концентрировать в одном месте, располагая размеры на том изображении, на котором этот элемент показан наиболее отчетливо. Например, на рис. 304 показана деталь, имеющая прямоугольный паз. Наглядное представление о его форме дает главный вид. Поэтому размеры, определяющие форму паза, следует наносить на главном виде.

3. Размеры по возможности надо располагать вне контура проекции детали. Если на одной проекции детали соединены вид с разрезом, то размеры внешней и внутренней форм следует располагать по разные стороны от оси симметрии детали. Например, на рис. 305 размеры, определяющие наружную форму детали на главном виде, нанесены со стороны вида, т. е. слева, а размеры, определяющие отверстие, нанесены со стороны разреза, т. е. справа.

4. При изображении предмета, имеющего ось симметрии, когда вид и разрез разграничены этой осью, размерную линию, указывающую на размеры внутренних полостей, проводят несколько дальше оси симметрии. Например, у детали на рис. 305 размерные линии для указания диаметров d_1 и d_2 отверстий продолжены за ось симметрии детали.

5. Размеры одинаковых элементов предмета (например, отверстий пазов и т. п.) следует наносить на чертеже один раз и для одного элемента с указанием количества таких элементов. Например, на фланце (рис. 306) для его крепления имеются четыре одинаковых отверстия, а нанесен размер только одного отверстия и указано их количество.

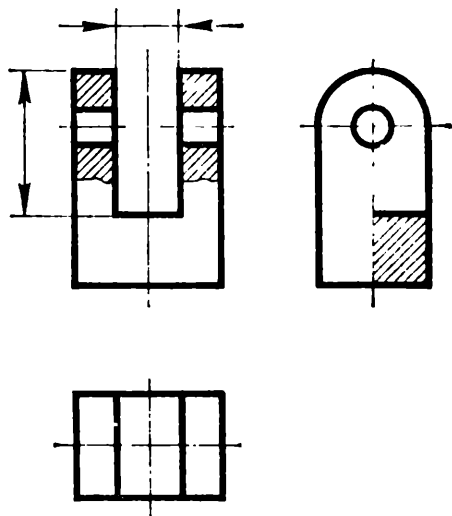


Рис. 304

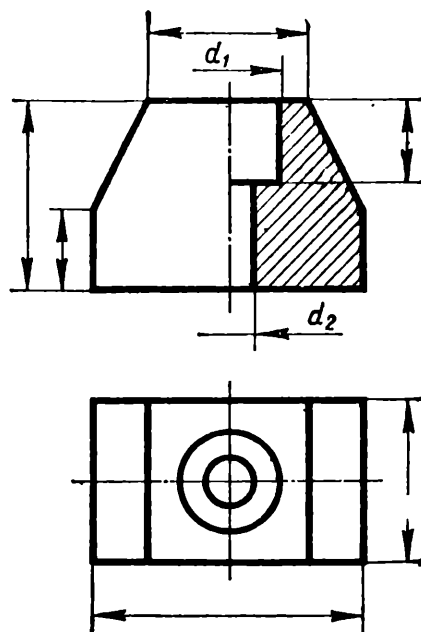


Рис. 305

6. При нанесении размеров на тела вращения и отверстия следует указывать размер диаметра, а не радиуса (рис. 307).

7. Если изображение детали выполнено с разрывом, то размерную линию не прерывают (рис. 307).

8. При указании фасок под углом 45° их размер наносят, как показано на рис. 308, а. Для фасок же под другими углами размеры наносят по общим правилам, т. е. указывают отдельно линейный и угловой размер (рис. 308, б).

9. Когда центр дуги окружности показывать не требуется, размерная линия радиуса может быть оборвана (рис. 309). Если же

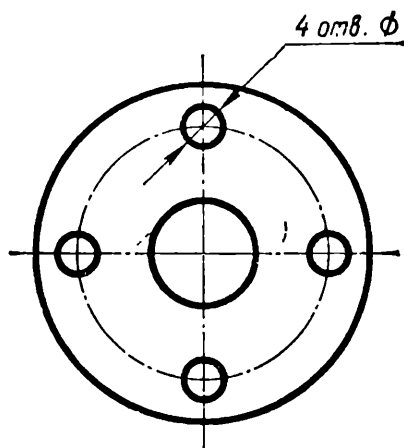


Рис. 306

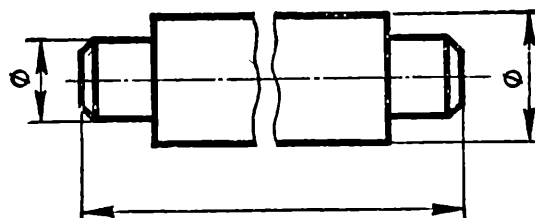


Рис. 307

центр дуги из-за отсутствия места или вследствие большой величины радиуса не может быть указан в пределах чертежа без нарушения масштаба, а показать положение центра необходимо, то для его координирования размерную линию радиуса следует изображать с изломом под углом 90° (рис. 310).

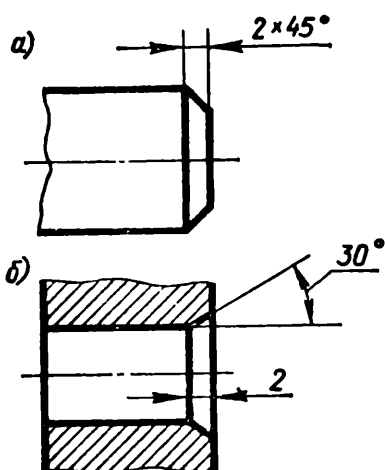


Рис. 308

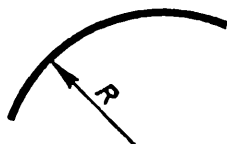


Рис. 309

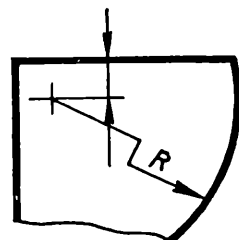


Рис. 310

§ 48. ПРИЕМЫ ОБМЕРА ДЕТАЛЕЙ

Обмер деталей необходим при выполнении эскиза, а также для контроля изготавливаемых деталей на производстве. Для обмера деталей применяются разнообразные измерительные инструменты. Рассмотрим несколько приемов измерения деталей с помощью простейших измерительных инструментов, таких, как стальная линейка, кронциркуль, нутромер и штангенциркуль.

Стальную линейку используют для измерения линейных размеров с точностью до 0,5 мм. Линейкой можно измерить габаритные размеры детали, размеры срезов и выступов, глубину внутренних полостей и т. п. При измерении стальную линейку прикладывают к детали так, чтобы она расположилась вдоль измеряемого ребра (рис. 311, а) или вдоль прямолинейной образующей (рис. 311, б). Линейкой можно грубо замерить диаметры отверстий, выходящих наружу детали; расстояния между центрами отверстий, если отверстия расположены в одной плоскости измерения (рис. 311, в). В последнем случае линейкой замеряют расстояние между ближайшими точками отверстий (размер l), диаметр каждого из отверстий (размеры d_1 и d_2) и по формуле $L = l + (d_1 + d_2)/2$ подсчитывают расстояние между центрами заданных отверстий.

Штангенциркуль — наиболее распространенный измерительный инструмент, позволяющий производить обмеры с точностью до 0,1 мм. Им можно замерить диаметры валиков (рис. 312), диаметры отверстий, ширину пазов и прорезей (рис. 313), глубину отверстий и различных выемок (рис. 314) и т. п. Штангенциркуль (рис. 315, а) состоит из двух основных частей: линейки (штанги) и охватывающей линейку рамки. На линейке нанесена миллиметровая шкала. Рамка имеет шкалу, называемую нониусом. Эта шкала имеет 10 делений, цена каждого из них равна 1,9 мм. К

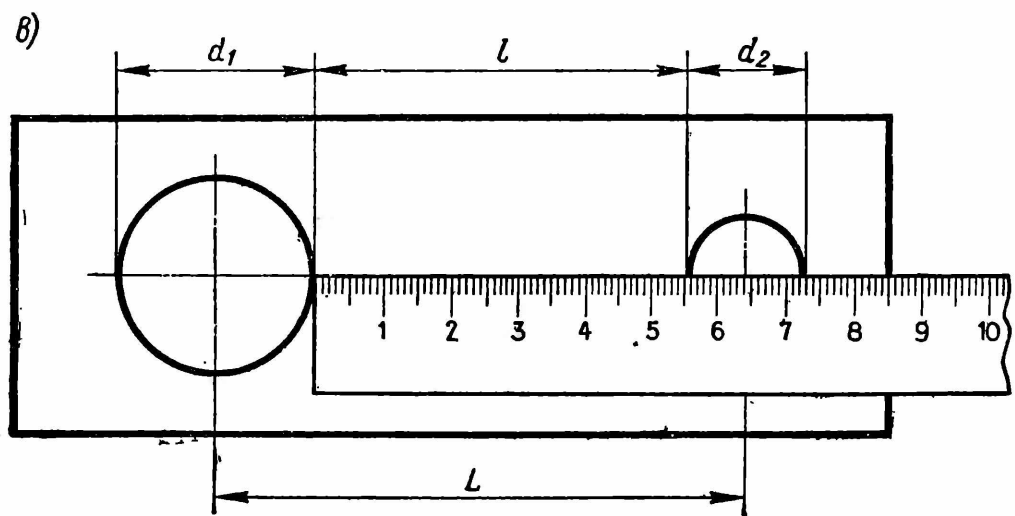
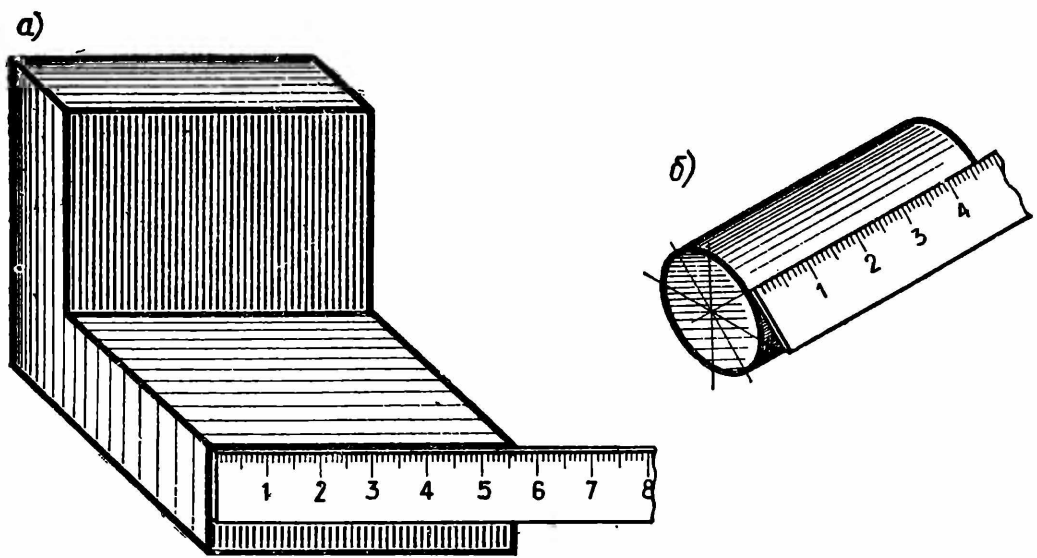


Рис. 311

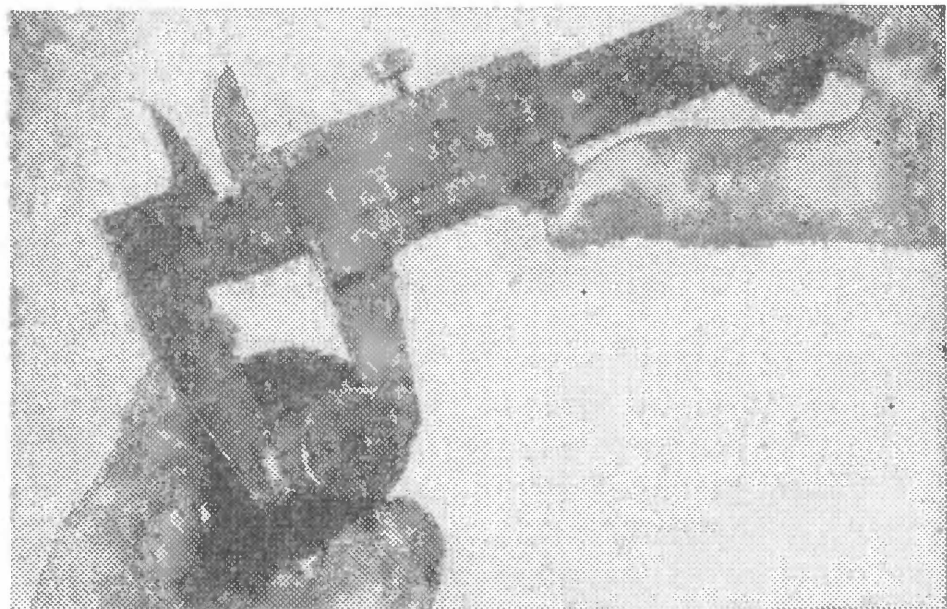


Рис. 312

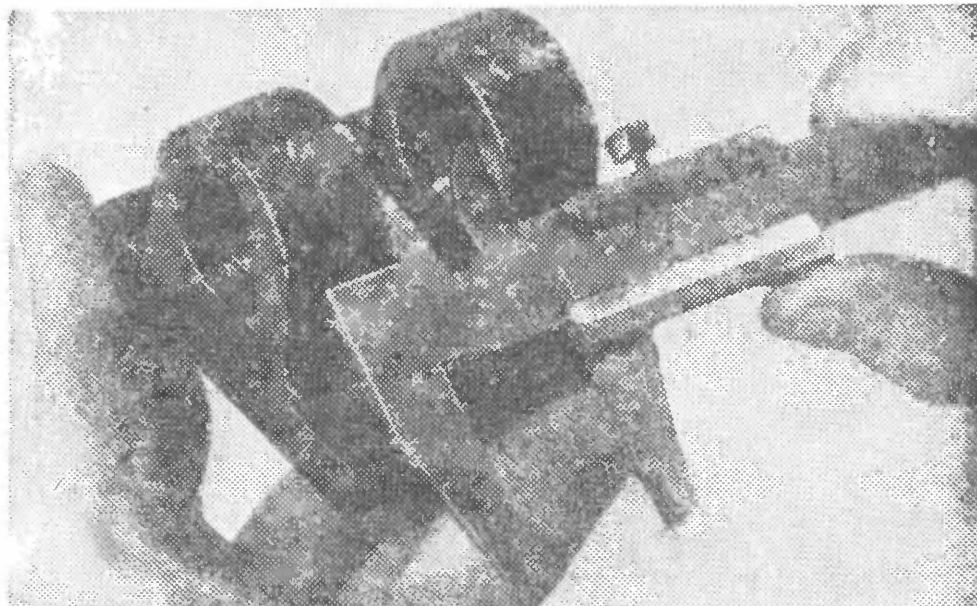


Рис. 313

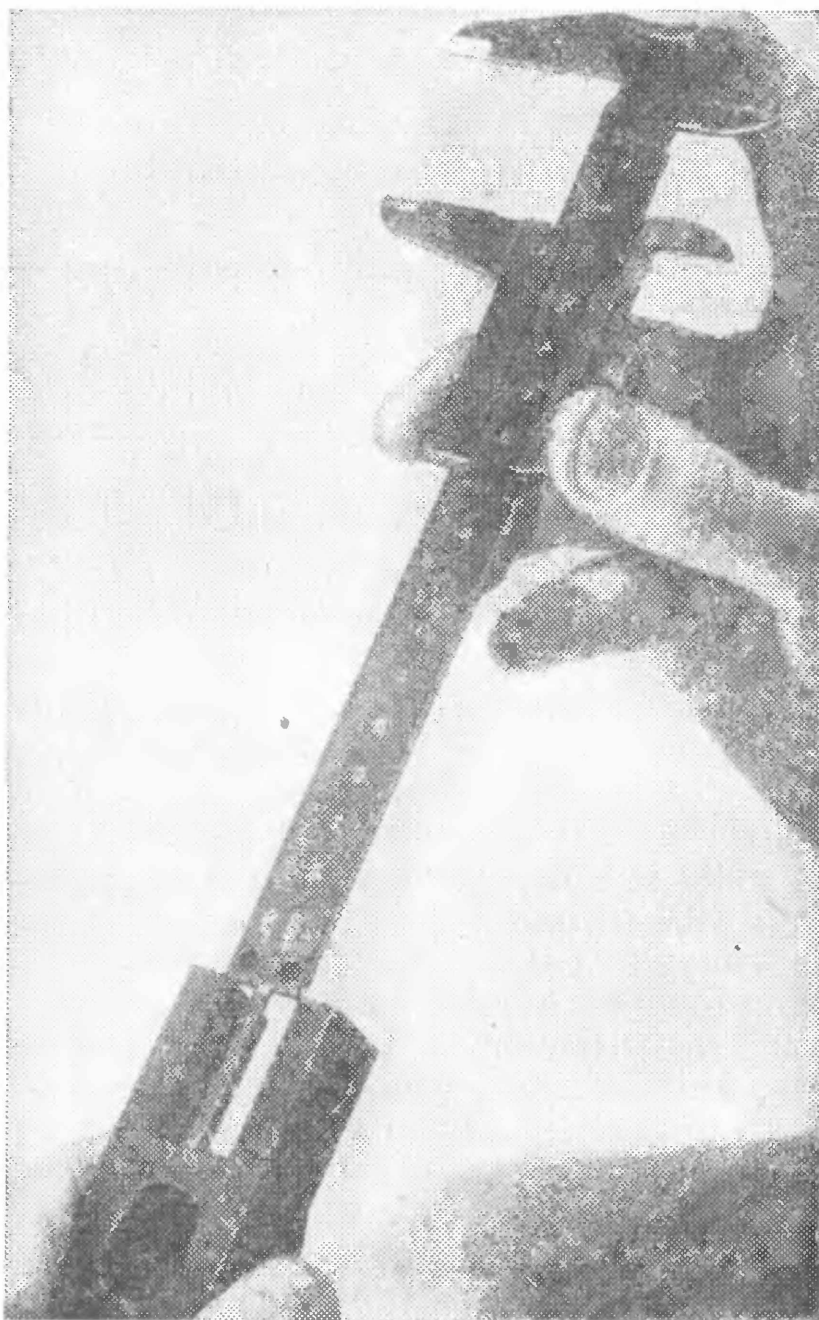


Рис. 314

рамке наглухо приделана узкая линейка — глубиномер. Рамка с глубиномером может свободно передвигаться относительно штанги, а также быть зафиксированной в любом положении с помощью зажимного винта. Как штанга, так и рамка имеют по две губки, позволяющие производить наружные (нижние губки) и внутренние (верхние губки) замеры. В любом положении рамки относительно штанги расстояния между рабочими кромками верхних и нижних губок равно длине выдвинутой части глубиномера.

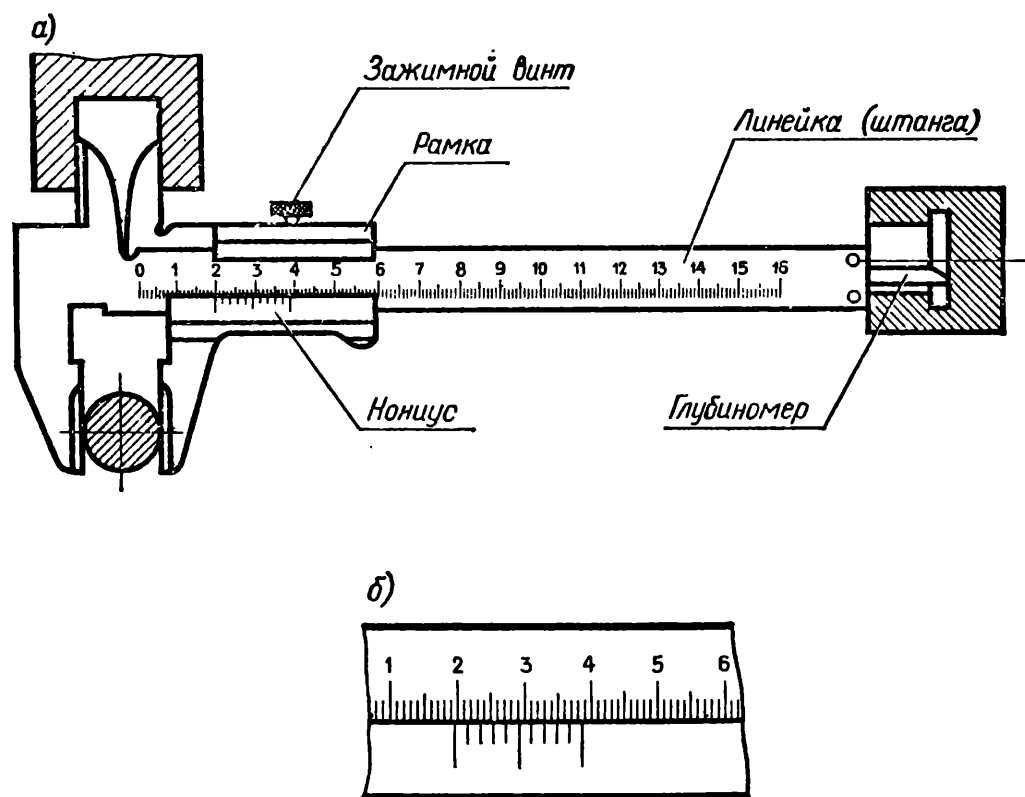


Рис. 315

Для установления измеряемого штангенциркулем размера нужно прочесть по линейке число целых миллиметров, уложившихся до левого крайнего деления нониуса (нулевой штрих нониуса). Затем определить, какой по порядку штрих нониуса совпадает со штрихом шкалы линейки, что и соответствует числу десятых долей миллиметра. В нашем примере относительное положение шкал линейки и нониуса, выделенных на рис. 315, б, соответствует размеру 19,6 мм.

Кронциркуль и нутромер применяют для измерения наружных и внутренних диаметров тел (рис. 316, а), когда не требуется точность, превышающая 0,5 мм. Отсчет обмера кронциркулем и нутромером производится по стальной линейке (рис. 316, б).

В практике обмера деталей могут иметь место случаи, когда для измерения размера необходимо использовать два измерительных инструмента. Например, при измерении толщины стенки полый детали (рис. 316, в) невозможно произвести обмер толщины стенки только одним кронциркулем, так как кронциркуль нельзя вынуть после измерения, не раздвигая его ножек. Поэтому для опре-

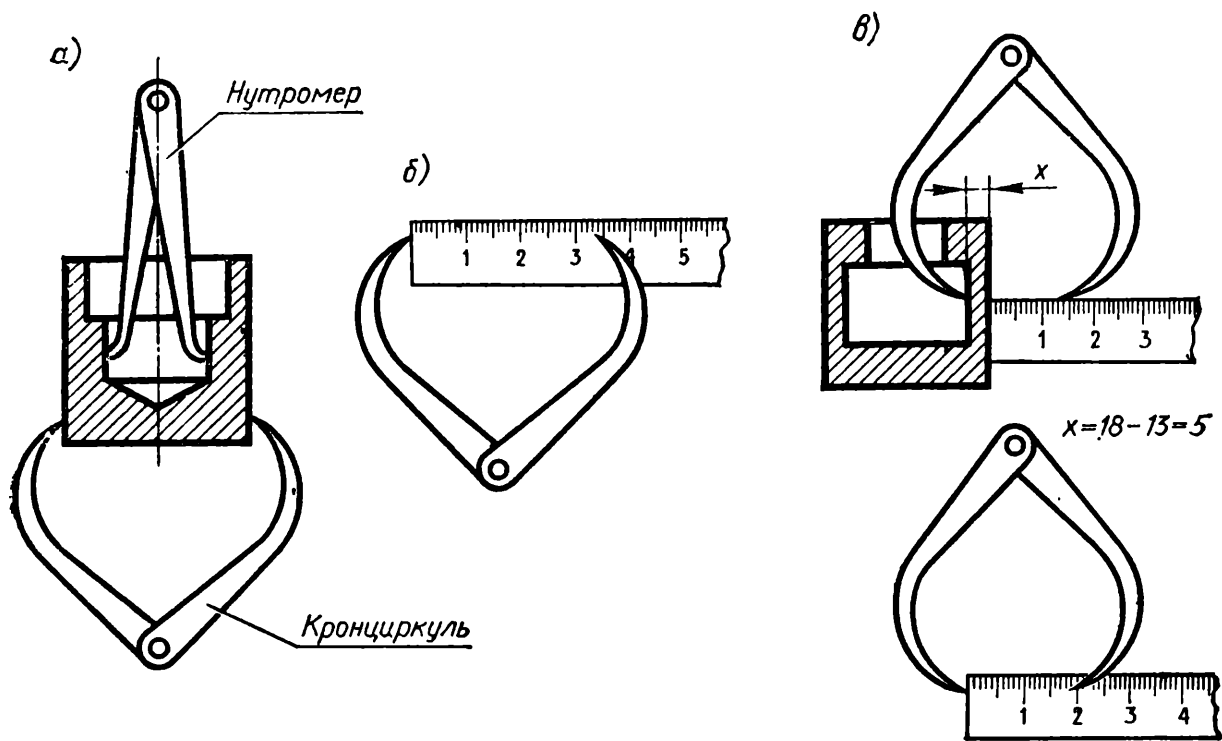


Рис. 316

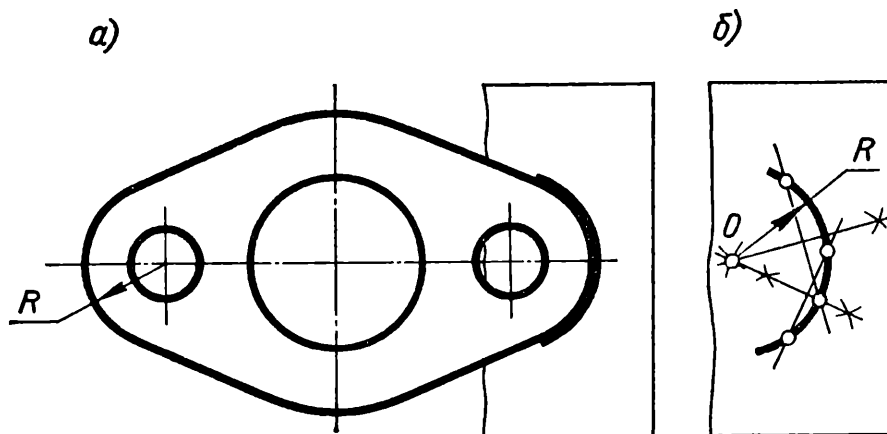


Рис. 317

деления размера толщины стенки применяют прием, показанный на рис. 316, в.

Для приблизительного определения размеров наружных скруглений больших радиусов у детали можно воспользоваться приемом, указанным на рис. 317. Деталь кладут на лист бумаги и очерчивают контур измеряемого скругления тонко заточенным карандашом (рис. 317, а). Затем рядом проб циркулем выясняют величину радиуса R скругления. Можно также определить центр скругления с помощью двух хорд, как показано на рис. 317, б.

§ 49. ЭСКИЗЫ ДЕТАЛЕЙ

Эскизом называют чертеж, выполненный от руки с соблюдением на глаз пропорций изображаемой детали. По эскизу выполняют чертеж детали или изготавливают ее. Поэтому эскизы необходимо выполнять четко и аккуратно с соблюдением всех правил, установленных стандартами ЕСКД для чертежей деталей.

Эскизы рекомендуется выполнять на клетчатой бумаге мягким карандашом. Деталь на эскизе проще изображать приблизительно в натуральную величину. Однако большую или очень маленькую деталь следует изображать в произвольно уменьшенном или соответственно увеличенном виде.

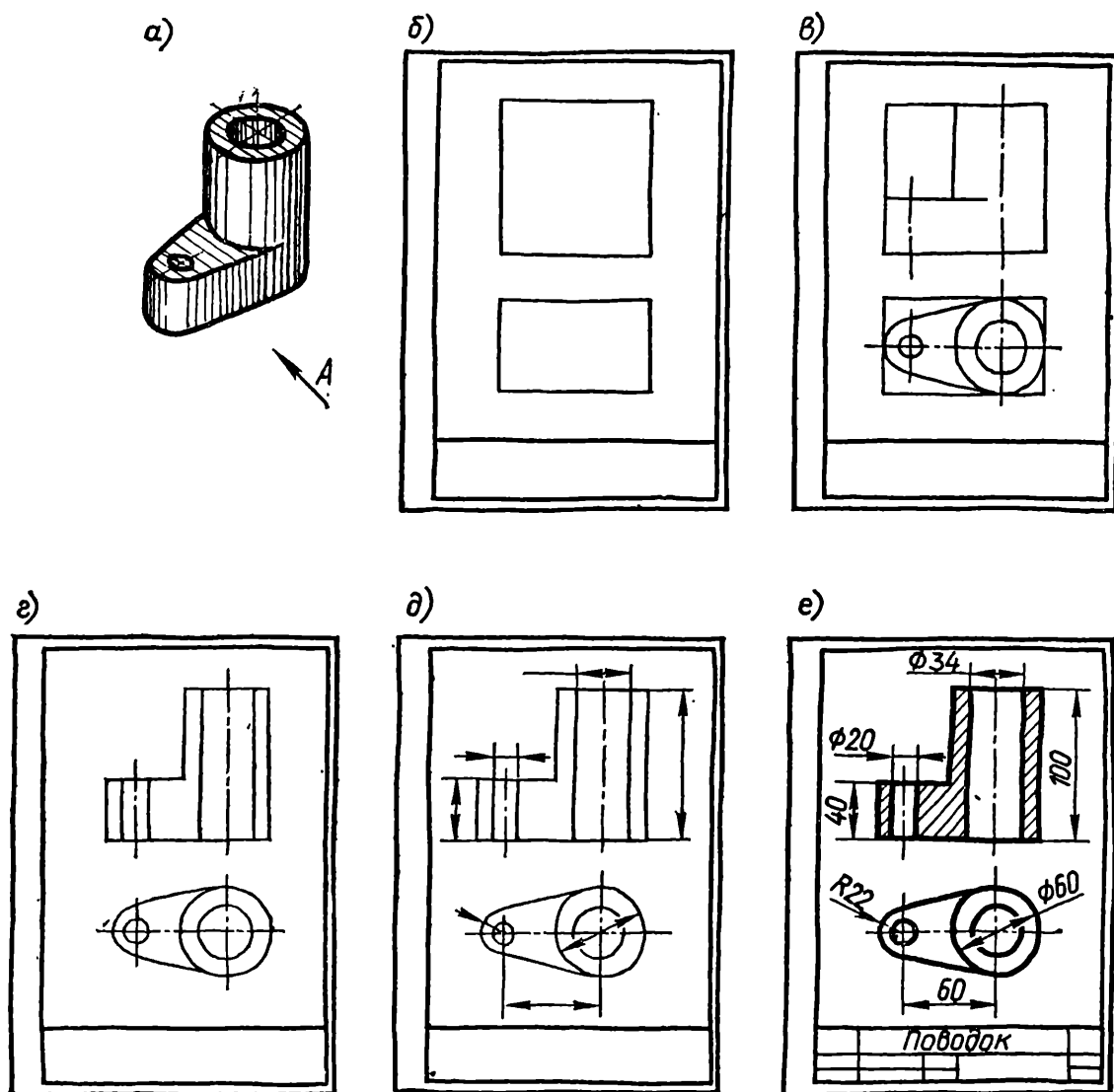


Рис. 318

Последовательность выполнения эскиза разберем на примере детали, изображенной на рис. 318. Прежде чем приступить к эскизированию детали, следует проанализировать ее форму, чтобы определить количество видов для ее изображения и выбрать главный вид детали. В данном случае для изображения детали достаточно двух проекций. За главный вид принят вид детали, указанный стрелкой *A* (рис. 318, *a*).

Выполнение эскиза начинают с изображения внутренней рамки чертежа и контура рамки основной надписи (рис. 318, *б*). Затем определяют на глаз соотношение габаритных размеров детали и на рабочем поле эскиза тонкими линиями намечают положение будущих видов. Вначале их изображают в виде прямоугольников, стороны которых приблизительно равны габаритным размерам детали. При размещении видов следует учитывать общую компонов-

ку эскиза и оставлять место для нанесения размеров. Далее на глаз устанавливают соотношение размеров элементов, определяющих форму детали, чтобы сохранить эти пропорции при ее изображении. После этого в намеченные прямоугольники тонкими линиями вписывают видимые контуры детали, предварительно нанеся осевые и центровые линии (рис. 318, в). Контур детали следует рисовать постепенно по отдельным ее элементам. Каждый элемент изображают на всех видах, затем переходят к изображению следующего. Такая последовательность выполнения видов позволяет избежать пропусков при изображении мелких элементов детали.

Далее переходят к изображению внутренних форм детали. В данном случае их можно показать, выполнив разрез на главном виде (рис. 318, г). Закончив выполнение вида и разреза, проверяют, полностью ли отображена на эскизе форма детали. Затем на проекциях наносят выносные и размерные линии (рис. 318, д) и тоже проверяют, не пропущены ли какие-либо размеры. После чего приступают к обводке и штриховке изображений детали. Далее обмеряют деталь и наносят размерные числа. В последнюю очередь вычерчивают и заполняют основную надпись (рис. 318, е) и удаляют лишние линии.

§ 50. ЧЕРТЕЖИ ДЕТАЛЕЙ

Чертеж детали в учебных условиях выполняют по эскизу или по ее проекциям. В последнем случае деталь может быть изображена в аксонометрической проекции или задана чертежом, кото-

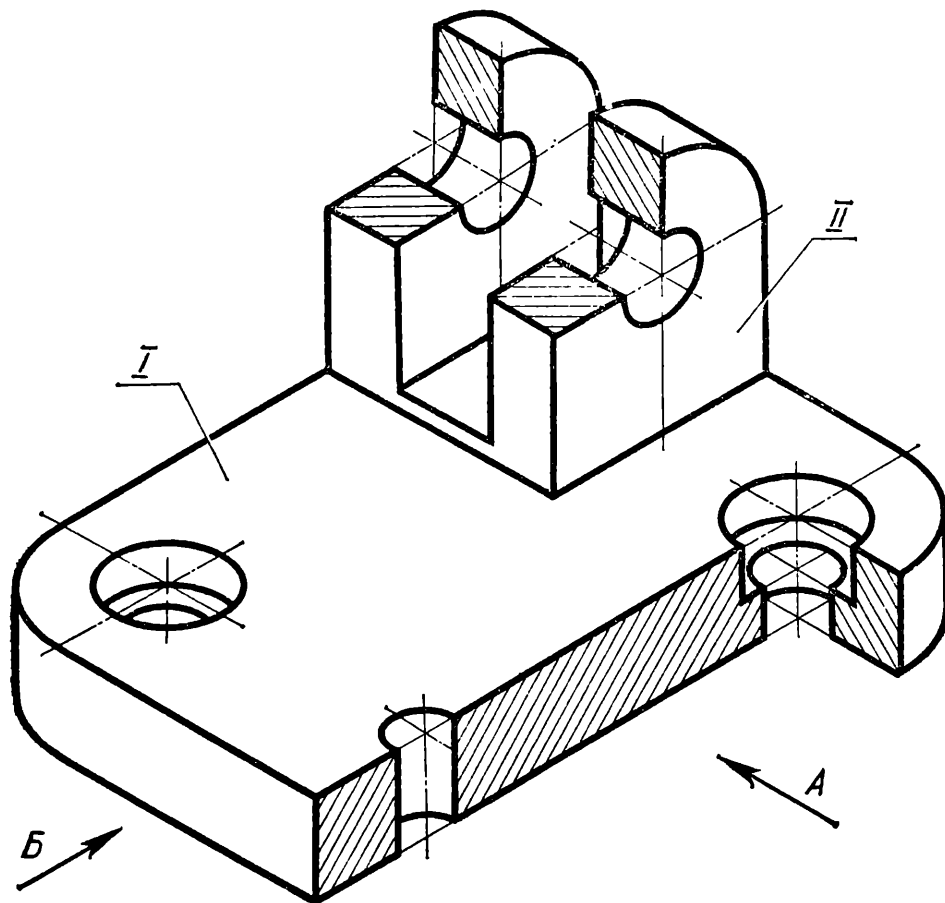
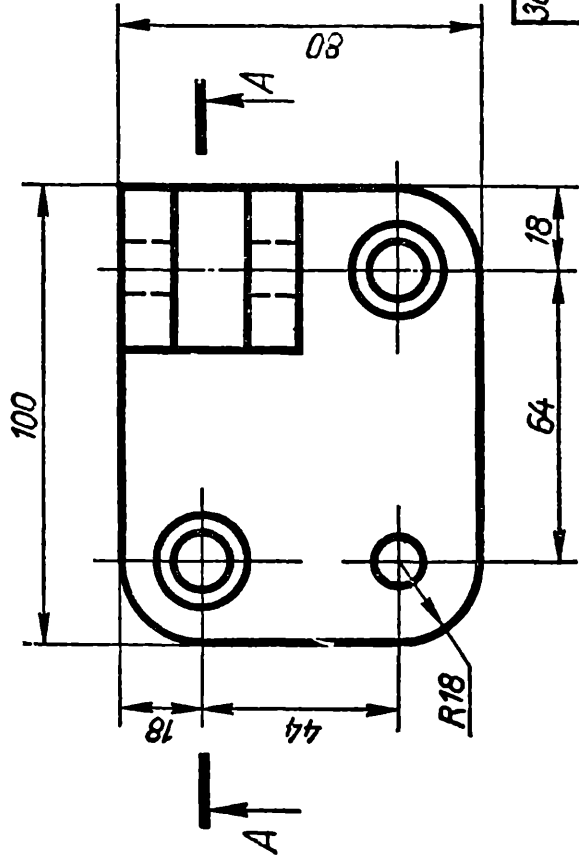
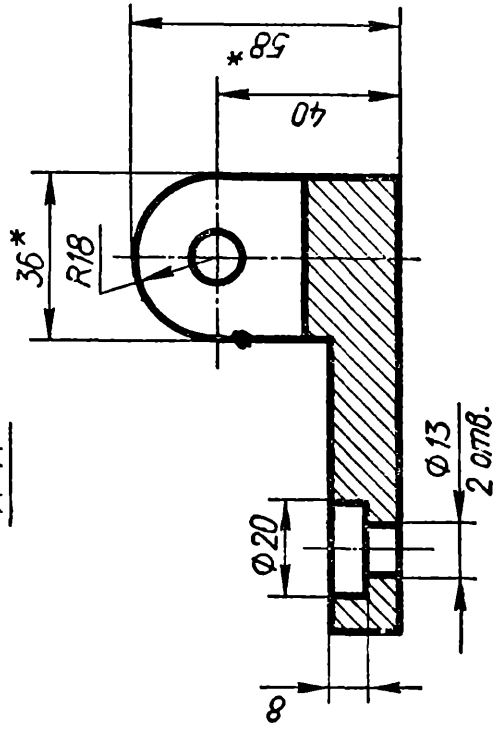
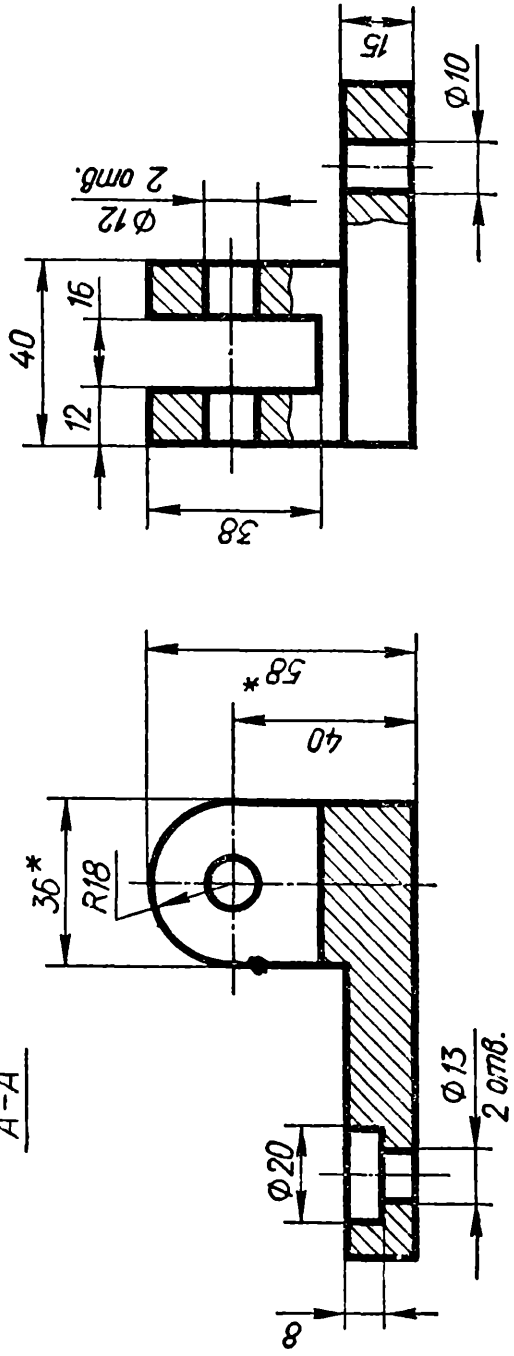


Рис. 319

A-A



* Размеры для справок

Задание №	Основание			М1:1
Чертил	Петров	10.2.81	МХПУ	Гр. 1
Принял			им. Калинина	Ткачук

рый требует определенной доработки. Последовательность выполнения чертежа детали такая же, как и эскиза.

Рассмотрим выполнение чертежа детали, изображенной на рис. 319. Вначале определяют количество проекций, достаточных для того, чтобы полностью отобразить форму и размеры детали. Количество проекций зависит от вида и взаимного расположения геометрических элементов, определяющих форму детали. Поэтому деталь мысленно расчлениют на основные составные части: плиту *I* и стойку *II*. Чтобы выявить наружную форму плиты, а также форму и положение трех сквозных отверстий, имеющих в ней, достаточно двух проекций. Форма же стойки *II* более сложная и для ее изображения необходимы три проекции. Следовательно, и всю деталь надо чертить в трех проекциях.

Главный вид детали может быть принят по направлению стрелки *A* или *B*. Однако заполнение рабочего поля чертежа будет более равномерным, если за главный вид детали принять вид, указанный стрелкой *A*.

Ниже приведен перечень основных этапов выполнения чертежа данной детали (рис. 320): 1) по габаритным размерам детали выбирают размер стандартного формата (в данном примере выбран формат 12 размером 297×420 мм); 2) чертят наружные и внутренние рамки чертежа и основной надписи; 3) намечают положение трех проекций детали; 4) вычерчивают на всех проекциях контуры наружных форм детали (сначала плиты *I*, затем стойки *II*); 5) на всех проекциях штриховыми линиями вычерчивают внутренние формы детали (три отверстия в плите *I* и два отверстия в стойке *II*); 6) выполняют фронтальный разрез *A—A* и местные разрезы на виде слева; 7) наносят выносные и размерные линии; 8) выполняют штриховку на разрезах детали и обводят чертеж; 9) наносят размерные числа, выполняют необходимые надписи и заполняют основную надпись.

Раздел третий

ТЕХНИЧЕСКОЕ РИСОВАНИЕ

Глава 13

РИСОВАНИЕ ПЛОСКИХ ФИГУР, ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ И ТЕХНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Под техническим рисованием понимают способ наглядного изображения предметов (деталей) на глаз от руки, т. е. без помощи чертежных инструментов. Технический рисунок — наглядное изображение предмета (объекта), выполненное от руки в глазомерном масштабе, в котором раскрыта техническая идея объекта, правильно передана его конструктивная форма и верно найдены пропорциональные отношения. Технический рисунок служит для технических и производственных целей. Он широко применяется при конструировании новых промышленных товаров народного потребления, а также машин, станков и разных сложных агрегатов.

В зависимости от характера объекта и поставленной задачи технический рисунок выполняют по-разному: по правилам, аксонометрических проекций, по законам линейной перспективы, по специальным правилам, например рисунок кружева или модели одежды.

Таким образом, при создании нового какого-либо изделия творческая идея конструктора проходит несколько стадий: от рисунка к чертежу и от чертежа к изготовлению изделия в материале на предприятии. При изучении курса черчения технический рисунок

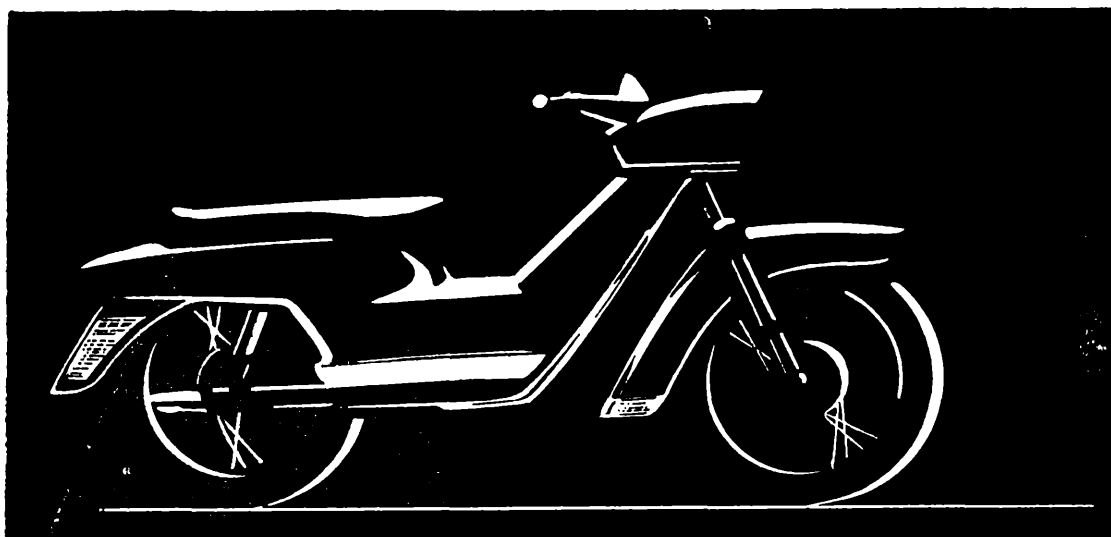


Рис. 321

чаще всего выполняют по правилам стандартных аксонометрических проекций (ГОСТ 2.317—69). Отличительной особенностью технического рисунка от аксонометрического чертежа является то, что рисунок выполняют от руки, и контурные линии рисунка имеют разную толщину, т. е. в одном случае на рисунке контур может быть толстым и ярким, в другом — на том же рисунке — тонким и кое-где едва заметным или вообще отсутствовать, как показано на рис. 321.

Рисунки рекомендуется выполнять карандашами твердости Т, ТМ. Необходимые навыки и умение в рисовании приобретаются исключительно путем систематических упражнений.

§ 51. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ УПРАЖНЕНИЯ

Деление отрезка на две и четыре равные части (рис. 322, а). Определим на глаз середину отрезка и поставим точку $\frac{1}{2}$. Проверку деления сделаем с помощью карандаша. Для этого приложим его к отрезку AB так, чтобы конец карандаша находился в точке A . Затем отметим большим пальцем на карандаше точку деления $\frac{1}{2}$ и сравним размеры отрезков $A - \frac{1}{2}$ и $\frac{1}{2} - B$. Если точка $\frac{1}{2}$ получилась не в середине, то ее надо переместить влево или вправо, пока обе части отрезка не окажутся равными.

Чтобы разделить отрезок на четыре равные части, нужно сначала разделить его на две равные части, а затем каждую половину разделить еще раз пополам и сравнить полученные отрезки.

Деление отрезка на три и шесть равных частей. На отрезке AB отметим две точки C и D (рис. 322, б), отстоящие примерно на равном расстоянии от точек A и B и друг от друга. Разделив каждый из полученных отрезков пополам, получим шесть равных частей.

Деление отрезка на пять равных частей. Сначала отрезок AB разделим в точке 3 на две неравные части (рис. 322, в), так чтобы левая часть его $A - 3$ была в полтора раза больше правой $3 - B$. Затем отрезок $A - 3$ разделим на три равные части, а отрезок $3 - B$ — пополам (рис. 322, г).

Рисование углов. Углы 30° и 120° . Проведем горизонтальную прямую (рис. 323, а) и зададим на ней точку O . Вправо от этой точки отложим на прямой пять равных между собой отрезков произвольной длины. Через точку 5 проведем перпендикуляр, на котором отложим от точки 5 вверх и вниз три таких же отрезка. Затем соединим прямой точку O с верхней точкой 3 . Прямая $O - 3$ имеет угол наклона, примерно равный 30° . Если соединить точку O с точкой 3 , расположенной внизу, то прямая $O - 3$ также имеет наклон 30° . Продолжив обе прямые $O - 3$ одну вверх, а другую вниз, получим

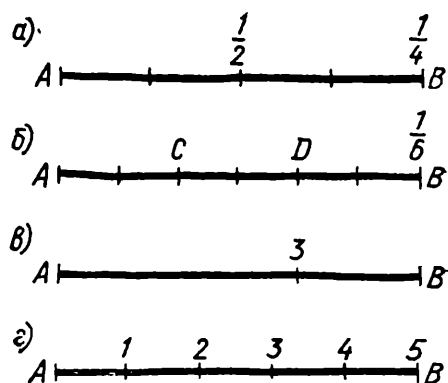


Рис. 322

смежные углы, равные 120° и 60° , т. е. рисунки искомых углов.

Рисунки углов 30° и 120° можно выполнить и другим способом. Нарисуем две взаимно перпендикулярные прямые (рис. 323, б). От точки O пересечения перпендикуляров отложим в трех направлениях произвольные, но равные отрезки OA , OB и OC . Через точки A , B , C можно провести полуокружность. Для более точного построения полуокружности наметим еще две промежуточные точки

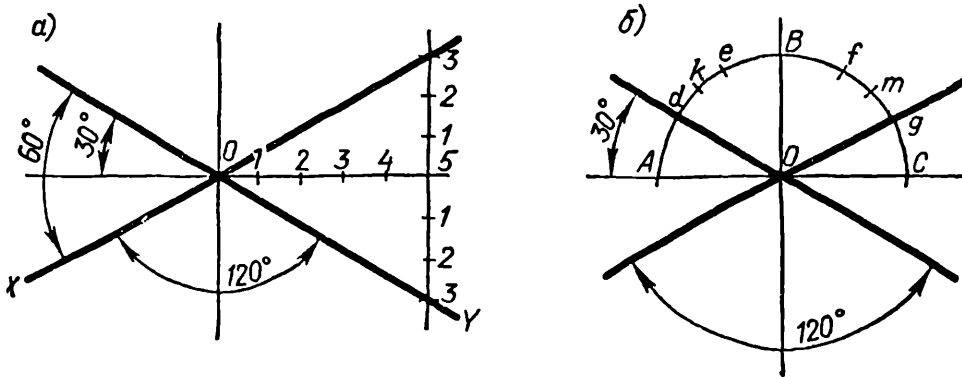


Рис. 323

k , m . Эти точки поставим на глаз примерно на биссектрисе каждого прямого угла так, чтобы расстояние от каждой точки до точки O было равно отрезку AO . Затем тонкой линией нарисуем полуокружность, проходящую через все точки A , k , B , m , C . Далее левую и правую четверти окружности разделим на три равные части точками d , e , f и g . Через точку O проведем две прямые, пересекающие полуокружность в точках d и g . Продолжив прямые вниз, получим приближенное направление сторон искомых углов 30° и 120° .

Рассмотренные способы рисования углов 30° и 120° применяют при рисовании плоских фигур в изометрической проекции.

Углы 7° и 41° . Первый способ. Проведем две взаимно перпендикулярные прямые. Обозначим точки их пересечения буквой O (рис. 324, а). Вправо от точки O отложим на прямой восемь одинаковых отрезков произвольной длины. Через точку 8 проведем к горизонтальной прямой перпендикуляр и отложим на нем вниз от

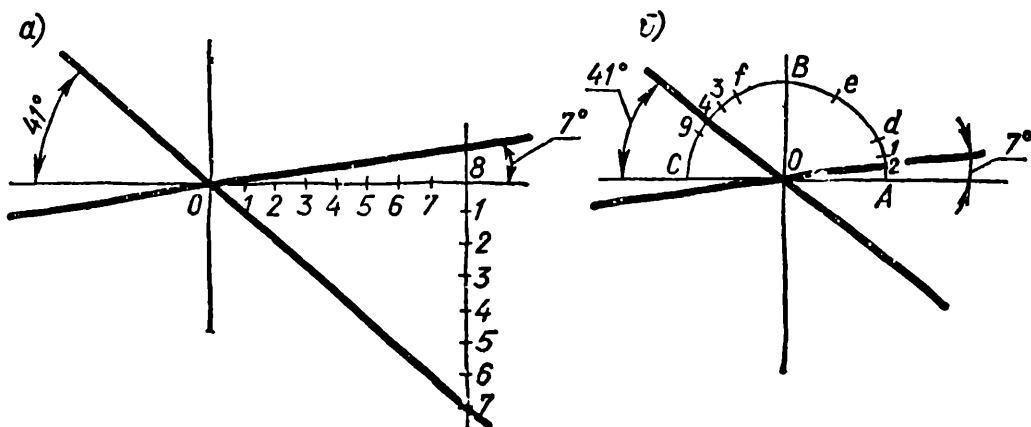


Рис. 324

точки 8 семь таких же отрезков. Затем через точки 7 и O проведем прямую, которую продолжим вверх. Прямая 7— O пойдет под углом примерно равным 41° . Для построения угла 7° отложим на перпендикуляре вверх от точки 8 отрезок 8—1, равный одному делению, и проведем прямую через точки 1 и O . Прямая 1— O направлена под углом 7° .

Второй способ. Проведем две взаимно перпендикулярные прямые (рис. 324, б) и выполним рисунок полуокружности произвольным радиусом OA . Левую и правую четверти окружности разделим на три равные части точками d, e, f, g . Для определения стороны угла 7° разделим дугу Ad пополам в точке 1, затем дугу $A—1$ разделим также пополам в точке 2. Искомое направление стороны угла 7° определится прямой, проходящей через точки 2 и O . Если разделить дугу fg на три равные части точками 3, 4 и провести прямую $O—4$, то эта прямая имеет направление, примерно равное углу 41° .

§ 52. ПОСТРОЕНИЕ РИСУНКОВ ПЛОСКИХ ФИГУР

Квадрат. Нарисуем прямой угол (рис. 325, а), на сторонах которого от вершины A отложим одинаковые отрезки AB и AD , равные стороне заданного квадрата. Через точки B и D проведем прямые, параллельные сторонам прямого угла, на пересечении которых получим вершину C . Прежде чем обвести квадрат ярко, необходимо проверить размеры его сторон и углы. Обнаруженные неточности следует исправить, не стирая контуров рисунка. Затем удаляют лишние линии резинкой.

Рассмотрим построение квадрата $ABCD$ в изометрической проекции при условии, что он лежит в плоскости H и стороны его параллельны осям X и Y . Нарисуем изометрические оси X и Y (рис. 325, б) и отложим на них от точки O отрезки $O—1, O—2, O—3, O—4$, равные половине стороны квадрата. Полученные на осях точки 1, 2, 3, 4 последовательно соединим тонкими прямыми линиями. В результате получим прямоугольник, симметричный относительно вертикальной и горизонтальной прямых. Через вершины прямоугольника проведем прямые, параллельные осям X и Y , которые при пересечении определяют вершины ромба $ABCD$, представляющего собой изображение квадрата в изометрии. Рисунок квадрата в изометрии можно выполнить и без вспомогательного

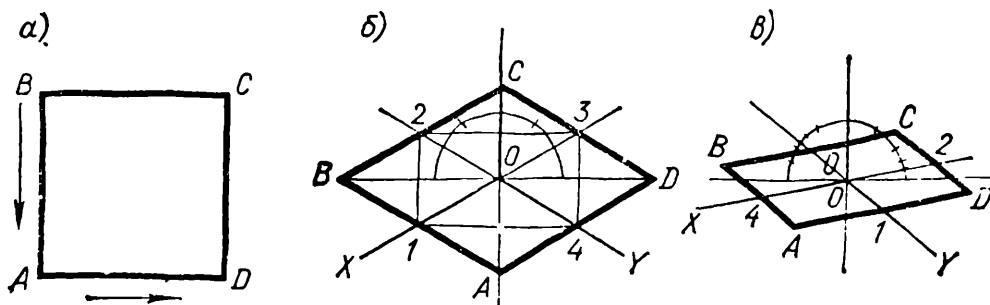


Рис. 325

четырехугольника $1\ 2\ 3\ 4$, но рассмотренный способ дает возможность нарисовать квадрат в изометрии более точно.

Рисунок квадрата $ABCD$ в прямоугольной диметрической проекции имеет вид параллелограмма (рис. 325, в). Для построения рисунка параллелограмма наметим оси X и Y . Отложим по оси X от точки O вверх и вниз отрезки $O-4$ и $O-2$, равные $1/2$ стороны квадрата. Затем по оси Y отложим отрезки $O-3$ и $O-1$, равные $1/4$ стороны квадрата. Через точки 2 и 4 проведем прямые, параллельные оси Y , а через точки $1...3$ — прямые, параллельные оси X . На пересечении этих прямых получим вершины параллелограмма.

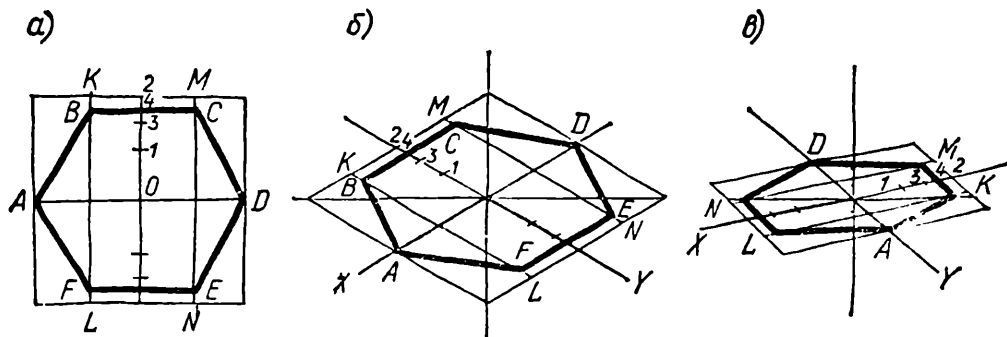


Рис. 326

Правильный шестиугольник. Нарисовать правильный шестиугольник довольно трудно, поэтому воспользуемся дополнительными построениями, с помощью которых можно выполнить рисунок шестиугольника более точно. Сначала нарисуем квадрат (рис. 326, а). Через середины его сторон проведем две тонкие взаимно перпендикулярные прямые, пересекающиеся в точке O . Горизонтальная прямая AD является диагональю шестиугольника. Далее левую и правую части квадрата разделим пополам вертикальными прямыми KL и MN . Затем разделим вертикальный отрезок, проходящий через середину верхней стороны квадрата и точку O , на две равные части, т. е. получим $O-1$ и $1-2$. Отрезок $1-2$ в точке 3 разделим еще на две равные части и, наконец, отрезок $2-3$ также разделим пополам в точке 4 . Через точку 4 проведем горизонтальную прямую, которая пересечет прямые KL и MN в точках B и C . Соединив прямыми точки A, B и C, D , получим рисунок верхней половины правильного шестиугольника. Затем дорисуем нижнюю половину шестиугольника точно в таком же порядке и получим все вершины шестиугольника $ABCDEF$.

Рисунки шестиугольника $ABCDEF$ прямоугольной изометрии и прямоугольной диметрии выполним также с помощью дополнительных построений. Нарисуем изометрические оси X, Y (рис. 326, б). Построим рисунок квадрата в изометрии (ромб) и проведем в нем прямые KL и MN . Определим точки $1, 2, 3, 4$ точно в такой же последовательности, в какой они находились при построении рисунка шестиугольника, после чего проведем через точку 4 прямую, параллельную оси X , до пересечения с прямыми KL и MN в точках B и C . Соединив прямыми точки A, B, C и D , полу-

чим рисунок половины шестиугольника. Аналогичным образом нарисуем вторую половину шестиугольника. На рис. 326, в показано построение шестиугольника $ABCDEF$ в прямоугольной диметрии.

Окружность. Рисунок окружности построим по восьми точкам. Проведем две взаимно перпендикулярные осевые линии (рис. 327, а). От точки O пересечения осей отложим четыре отрезка OA , OB , OC и OD , равных заданному радиусу окружности. Затем наметим промежуточные точки E , F , M и N . Эти точки разместим примерно на биссектрисах центральных углов на расстоянии

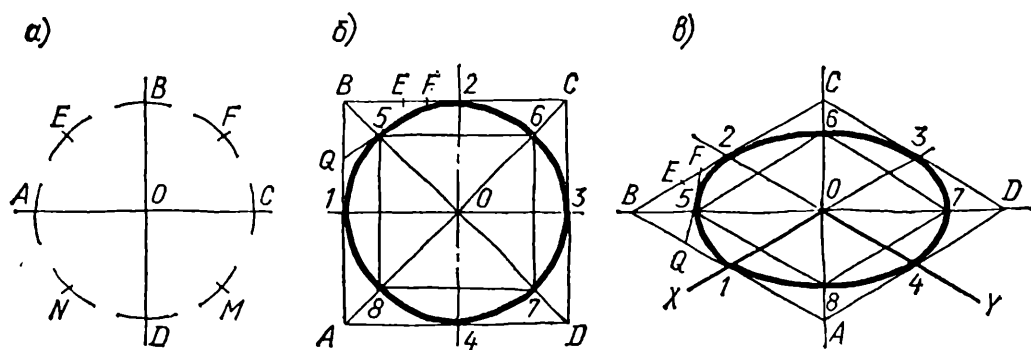


Рис. 327

радиуса OA от центра O . Через каждую точку проведем тонкую небольшую дугу. Полученные восемь дуг как бы наметят форму окружности. Очерковая кривая, т. е. окружность, должна пройти, коснувшись всех восьми точек. Чтобы убедиться в правильности изображения рисунка окружности, отодвинем от себя рисунок на расстояние вытянутой руки и посмотрим на него издали. Затем внесем поправки и обведем рисунок контурной линией.

В практике применяют и другой способ изображения рисунка окружности также по восьми точкам. Нарисуем квадрат $ABCD$ (рис. 327, б) и проведем две тонкие взаимно перпендикулярные оси $1-3$ и $2-4$, которые являются диаметрами окружности. Для определения промежуточных точек окружности разделим отрезок $B-2$ точкой E пополам. Затем отрезок $E-2$ разделим точкой F также пополам. Далее разделим отрезок $B-1$ на две равные части в точке Q и соединим прямой точку Q с точкой F . Прямая QF пересечет диагональ BD в точке 5 . Точка 5 удалена от центра квадрата на расстояние радиуса окружности. Через точку 5 проведем горизонтальную прямую до пересечения ее с диагональю AC в точке 6 . Две другие промежуточные точки 7 и 8 расположатся в нижней половине квадрата симметрично точкам 5 и 6 . Итак, получив все восемь точек, нарисуем окружность.

В аксонометрии окружность изобразится в виде эллипса. Рисунок окружности построим в прямоугольной изометрии. Для этого наметим изометрические оси X и Y (рис. 327, в) и построим рисунок квадрата $ABCD$. В квадрате определим промежуточные точки 5 , 6 , 7 , 8 и нарисуем эллипс.

В прямоугольной диметрии получаются два вида рисунков эллипсов: широкий и узкий. Принцип построения рисунка широкого

эллипса (рис. 328, а) не отличается от только что рассмотренного построения рисунка эллипса в изометрии. Разница только в том, что стороны квадрата имеют угол наклона не 30° , а 7° .

При выполнении рисунка узкого эллипса можно обойтись без дополнительных построений. Рисунок эллипса в таком случае выполняется по четырем точкам A, B, C, D . Как известно, в прямоугольной диметрии большая ось эллипса $AB = 1,06D$, а малая ось $CD = 0,35D$, т. е. упрощенно соотношение равно $1:3$. Проведем две перпендикулярные прямые (рис. 328, б). От точки пересечения

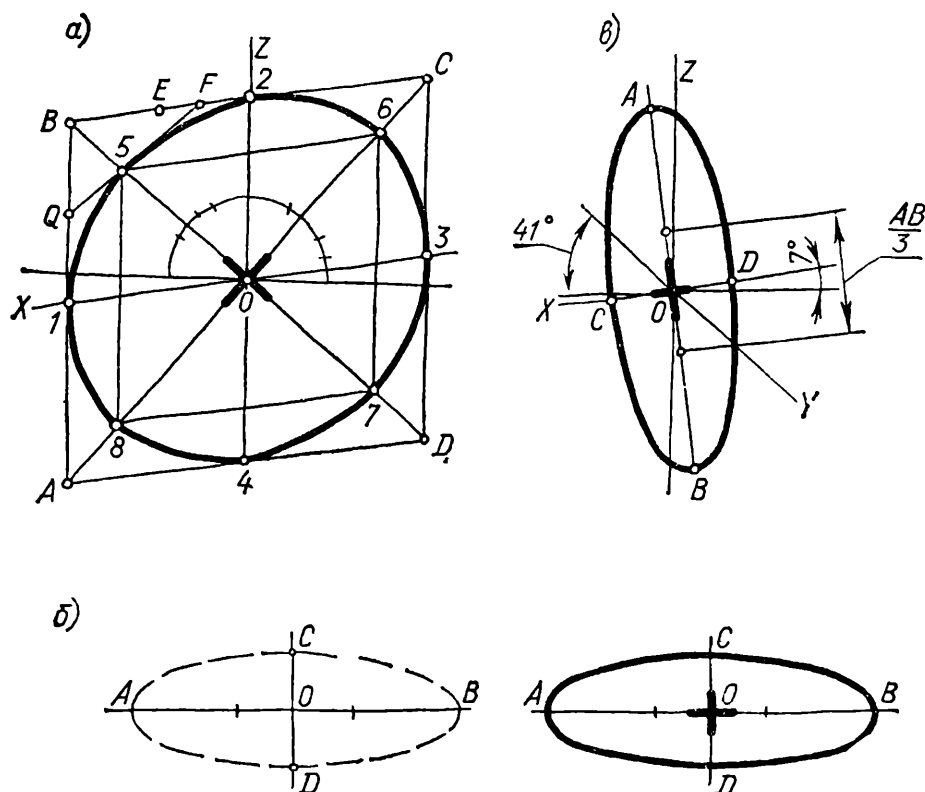


Рис. 328

этих прямых отложим на горизонтальной прямой влево и вправо половину большой оси AB . Ось AB возьмем равной диаметру окружности. Разделим ось AB на три равные части. Малая ось CD должна быть равна одной трети AB . Построение рисунка эллипса начнем с рисования малых дуг, проходящих через точки A и B , а затем наметим общую очерковую кривую эллипса. На рис. 328, в показано построение эллипса, большая ось которого перпендикулярна оси X .

Упражнения в рисовании плоских фигур являются хорошей подготовкой к рисованию геометрических тел, так как построение рисунков геометрических тел основывается на умении выполнять рисунки плоских фигур.

§ 53. ПОСТРОЕНИЕ РИСУНКОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ

Куб. Нарисуем изометрические оси X, Y, Z (рис. 329, а) и построим по заданной стороне куба его верхнее основание, представляющее собой форму ромба. Затем из каждой вершины ромба

проведем вниз вертикальные прямые, на которых отложим длину ребер куба. Соединим прямыми линиями полученные точки и проверим точность построения рисунка (рис. 329, б). После чего сотрем резинкой невидимые ребра, а видимые обведем контурной линией.

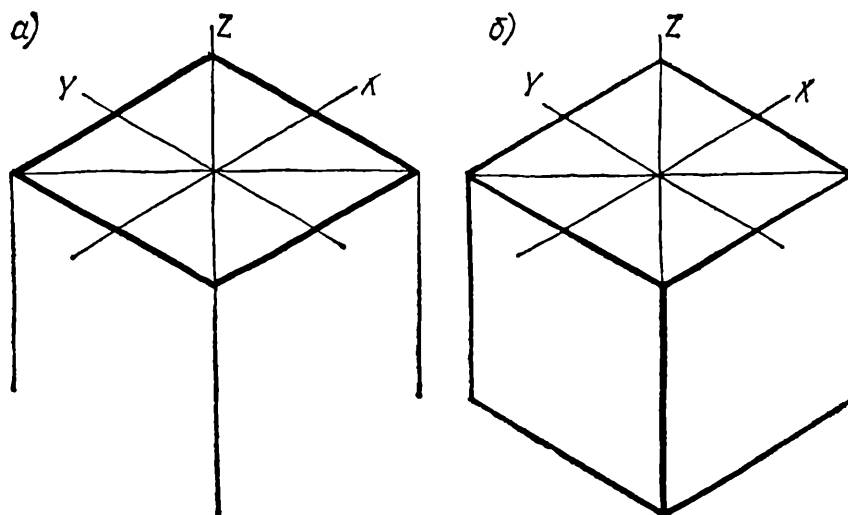


Рис. 329

Последовательность выполнения рисунка куба в прямоугольной диметрической проекции аналогична построению его в изометрии.

Призма. Пусть требуется нарисовать правильную шестиугольную призму, стоящую вертикально. Рисунок призмы выполним с помощью дополнительных построений: нарисуем прямоугольную изометрию квадрата — ромб (рис. 330, а) — и врисуем в него шестиугольник. Из каждой вершины шестиугольника проведем вниз вертикальные прямые и отложим на них длину ребер призмы. Соединим полученные точки прямыми и проверим точность построения рисунка.

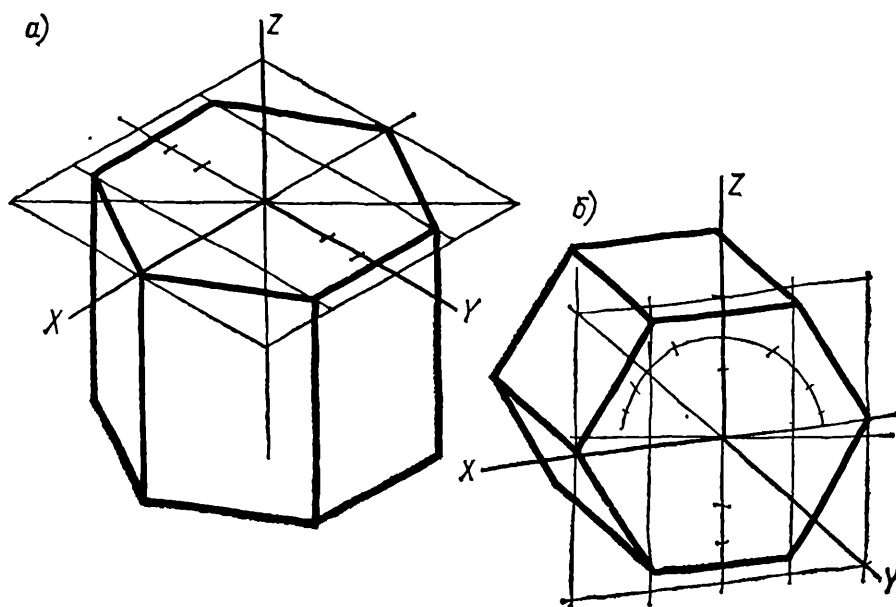


Рис. 330

При расположении ребер призмы параллельно оси Y рисунок призмы в прямоугольной диметрии должен строиться, как показано на рис. 330, б.

Пирамида. Допустим, что необходимо нарисовать правильную шестиугольную пирамиду $SABCDEF$, стоящую вертикально, в прямоугольной изометрии. Нарисуем изометрические оси X, Y, Z (рис. 331) и выполним рисунок квадрата (ромб), с помощью которого построим шестиугольник $ABCDEF$, т. е. изометрию основания пирамиды. От точки O отложим по оси Z вверх размер h , т. е. высоту пирамиды: $h = OS$. Из точки S проведем прямые SA, SB, SC, SD, SE, SF и проверим точность построений.

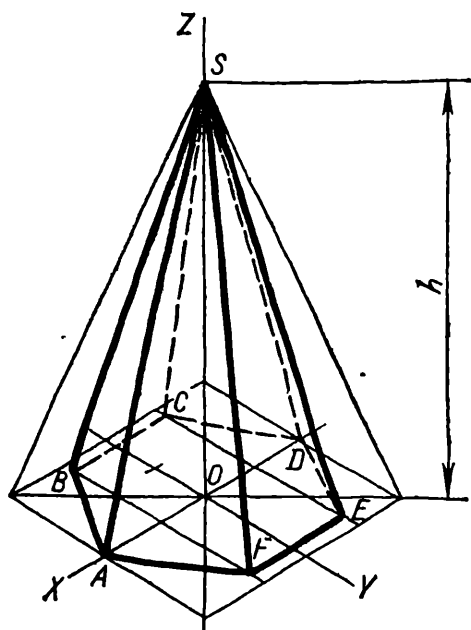


Рис. 331

Цилиндр. На рисунке 332, а показаны три стадии построения рисунка цилиндра в прямоугольной диметрии. Построение рисунков цилиндра в прямоугольной изометрии изображено на рис. 332, б.

Конус. Предположим, что требуется нарисовать прямой круговой конус, стоящий вертикально, в прямоугольной изометрии. Нарисуем изометрию окружности (рис. 333) — эллипс. По оси Z от точки O отложим заданный размер h — высоту конуса: $h = OS$. Из точки S проведем две касательные к основанию конуса.

Шар. Шар в изометрии изображается в виде окружности. При выполнении ри-

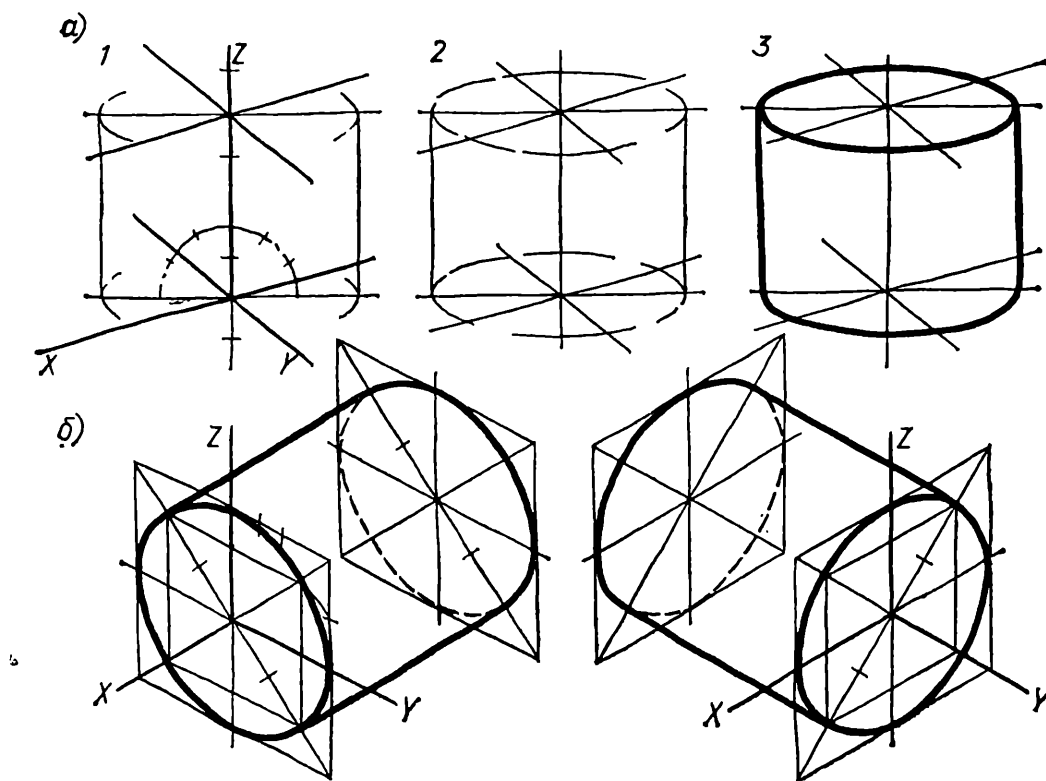


Рис. 332

сунка шара в аксонометрии для наглядности покажем на шаре экватор. Построим рисунок шара в прямоугольной диметрии. Для этого нарисуем окружность по восьми точкам (рис. 334, а). Диаметр окружности примем равным заданному диаметру шара. Так как в прямоугольной диметрии соотношение большой и малой осей принято брать упрощенно, т. е. 1 : 3, то разделим горизонтальный диаметр шара на три равные части. Одна треть диаметра составляет размер малой оси CD . Нарисуем с помощью четырех точек A, B, C, D эллипс (экватор), а затем удалим резинкой вспомогательные линии.

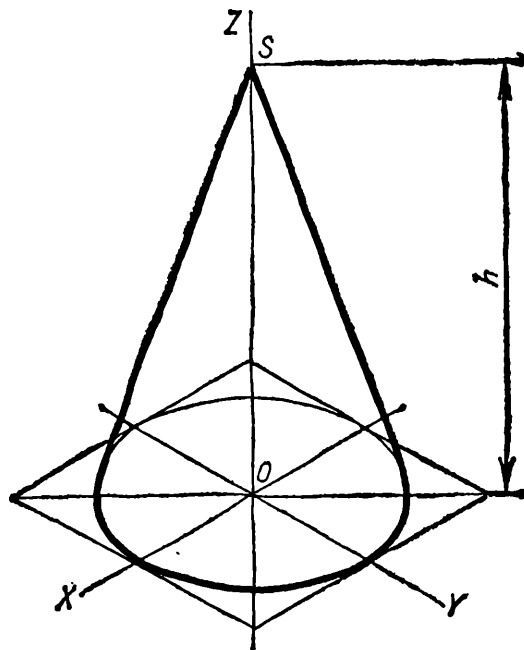


Рис. 333

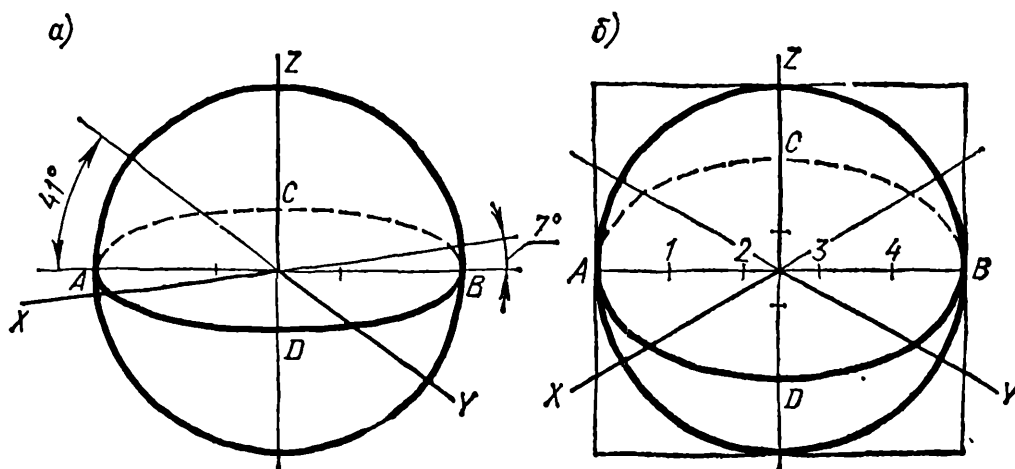


Рис. 334

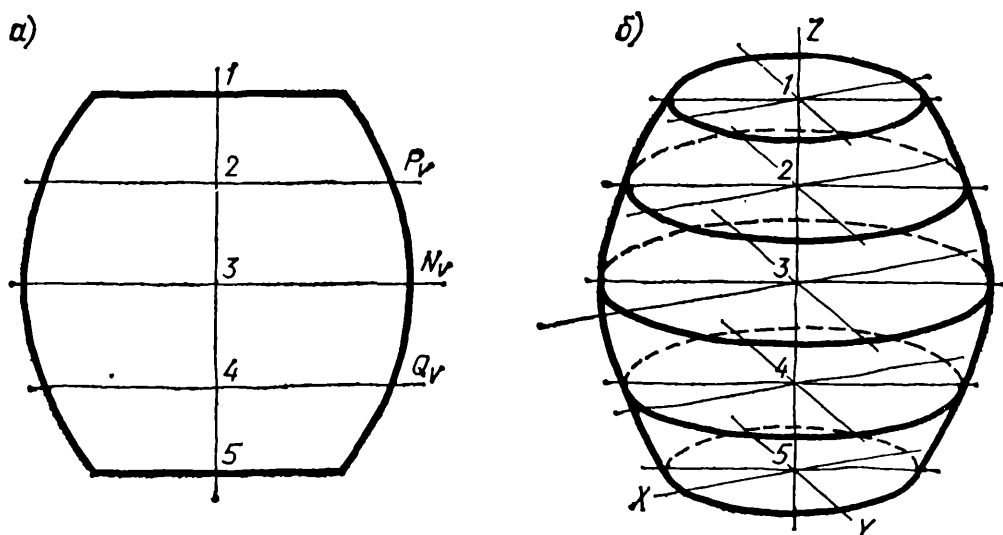


Рис. 335

На рис. 334, б показано построение шара в прямоугольной изометрической проекции. Экватор шара (эллипс) нарисован с помощью четырех точек A, B, C и D . Большая ось AB в данном примере разделена на пять равных частей (точки $1, 2, 3, 4$), а малая CD на три части.

Тор. Рассмотрим построение рисунка тора в прямоугольной диметрии по заданному его профилю (рис. 335, а). Рассечем профиль тора горизонтальными плоскостями P, N и Q . Плоскость N проведем в самой широкой части тора, а две другие плоскости P и Q — в произвольном месте, но на равном расстоянии от плоскости N . Отметим цифрами $1, 2, 3, 4, 5$ точки пересечения вертикальной оси с горизонтальными плоскостями. Построим диметрические оси X, Y, Z (рис. 335, б). От точки пересечения осей X, Y отложим вверх отрезок $5-1$, равный высоте тора. На отрезке $5-1$ отметим точки $2, 3, 4$, расстояния между которыми должны быть соответственно равны расстояниям на заданном профиле. Таким образом, определим пять центров эллипсов. Нарисуем сначала два крайних эллипса с центрами в точках 1 и 5 , затем самый широкий эллипс центром в точке 3 , а потом два промежуточных с центрами в точках 2 и 4 . Далее к эллипсам слева и справа проведем очерковые кривые, касательные ко всем пяти эллипсам.

Глава 14

ОТТЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБЪЕМНЫХ ТЕЛ

§ 54. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Для придания рисунку большей наглядности и выразительности в техническом рисовании применяют условные средства передачи объема с помощью оттенков — светотени. Светотенью называется распределение света на поверхностях предмета. Светотень играет главную роль при восприятии объема предмета. Освещенность предмета зависит от угла наклона световых лучей. Когда лучи падают на предмет перпендикулярно, то освещение достигает наибольшей силы. В задачу рисующего входит определение степени освещенности различных поверхностей предмета.

В техническом рисовании условно принято считать, что источник света находится сверху слева и сзади рисующего. Световые лучи составляют угол наклона к горизонту примерно 45° . Таким образом, при выявлении объема предмета характерной особенностью технического рисунка является условное направление лучей света, т. е. свет всегда находится слева, а тень справа, независимо от того, как рисуется предмет — с натуры или по чертежу. Выпуклость рисунка предмета достигается путем градации света и тени: наиболее освещенные поверхности отневаются светлее, чем поверхности, удаленные дальше от света. Кроме того, технический рисунок выполняется изолированно от окружающей обстановки,

т. е. всегда на монохромном (одноцветном) фоне, что значительно упрощает его построение.

Прежде чем приступить к нанесению светотени, необходимо тщательно проверить построение рисунка, т. е. параллельность вертикальных, горизонтальных и наклонных линий. В противном случае, светотень не сгладит допущенных ошибок и рисунок получится искаженным.

§ 55. СПОСОБЫ ОТТЕНЕНИЙ

Светотень состоит из следующих элементов: собственной тени, падающей тени, рефлекса, полутона, блика и света. Поскольку технический рисунок носит в основном условный, прикладной характер, то падающие тени на нем чаще всего не показывают.

Светотень наносят на линейный рисунок различными способами: штриховкой, шраффировкой, точками, отмывкой, напылением краски аэрографом. Два последних способа не рассматриваются.

Штриховка. Способ оттенения штриховкой в отличие от других способов является самым простым и наиболее распространенным.

Оттенение штриховкой поверхностей многогранников. Поверхности многогранников заштриховывают параллельными прямыми по форме предмета. Все вертикальные плоскости штрихуют вертикальными прямыми, горизонтальные плоскости — прямыми, параллельными аксонометрическим осям X и Y , наклонные плоскости — прямыми, параллельными углу наклона плоскости. Расстояние между штрихами принимают от 1 до 3 мм. Толщину штрихов выполняют неодинаковой. Так, например, выступающее ребро призмы (рис. 336, *a*) оттеняют наиболее ярким и толстым штрихом, а последующие штрихи — с постепенным ослаблением яркости и толщины.

Перед тем как наносить штриховку, надо определить на рисунке сначала самые темные и светлые поверхности, а затем слабо освещенные. Все горизонтальные поверхности должны оттеняться светлее, чем вертикальные, так как свет падает на предмет сверху слева.

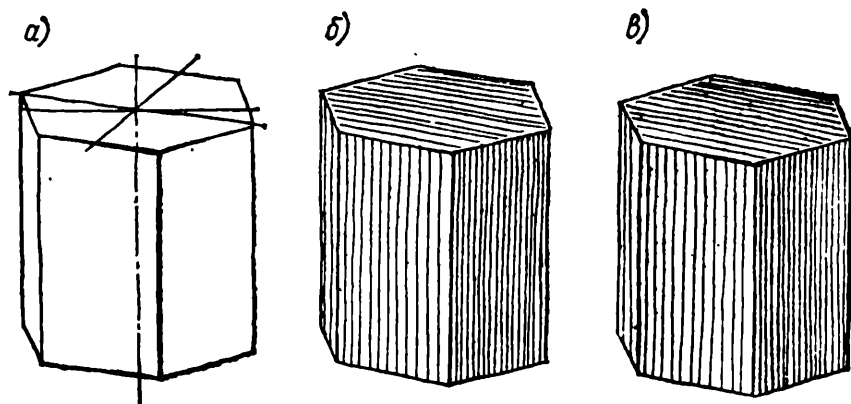


Рис. 336

Оттенивание на все поверхности многогранника наносят тонкими параллельными прямыми линиями (рис. 336, б). После этого проверяют параллельность линий штриховки. Далее повторно обводят штрихи более яркими линиями различной толщины (рис. 336, в). В теневой части предмета штрихи должны быть ярче и чаще, чем на свету. При оттенении верхних оснований многогранников следует закрыть чистой бумагой остальную часть рисунка, чтобы не смазать рисунок.

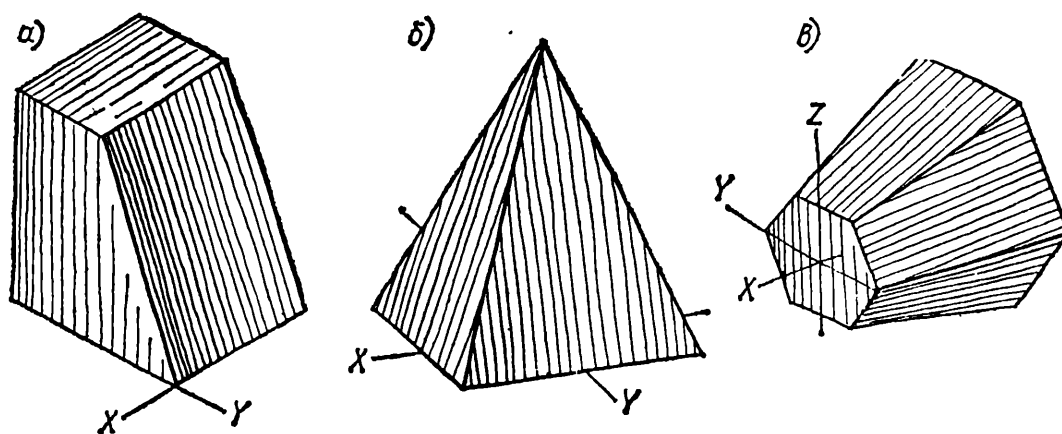


Рис. 337

В каждом законченном рисунке должны быть четко выделены поверхности многогранника, причем так, чтобы контуры предмета не выделялись, а сливались с поверхностью. На рис. 337 а, б, в показаны примеры оттенков штриховкой различных предметов.

В дальнейшем при достаточном опыте рисования штриховку можно выполнять без предварительного нанесения тонких линий (штрихов), а начинать оттенение с проведения ярких штрихов в самом темном месте предмета.

На поверхностях вращения нет резких переходов от света к тени, как на поверхностях многогранников. На круглых телах свет мягко и постепенно переходит в полутон, а затем в тень. Поэтому, чтобы правильно нанести светотень, надо хорошо понять условно принятую схему распределения светотени на круглых телах, таких, как цилиндр, конус, шар.

Распределение светотени на цилиндре. На цилиндрической поверхности штриховку наносят в виде образующих различной толщины. Наметим схему распределения светотени. Видимую поверхность цилиндра разделим на три равные части точками 3, 4 (рис. 338, а) и через намеченные точки проведем образующие. Левую часть эллипса А—3 и правую 4—В разделим также на три части точками 1, 2, 3, 4, 5, 6 (рис. 338, б). Затем через все шесть точек проведем образующие, которые определяют места расположения светотени на цилиндре. После этого приступим к нанесению штриховки. Штриховку начинают с самой темной части предмета, т. е. с того места, где на рис. 338, б указано слово «тень». Затем наносят штриховку в тех местах, где должны быть помещены реф-

лекс и свет, оставив не заштрихованным лишь место для блика. Далее в теневой части цилиндра рисуют яркие штрихи с постепенным ослаблением их в местах для полутонов, а также света и рефлекса (рис. 338, в).

На рис. 338, г показано распределение светотени для других положений цилиндра.

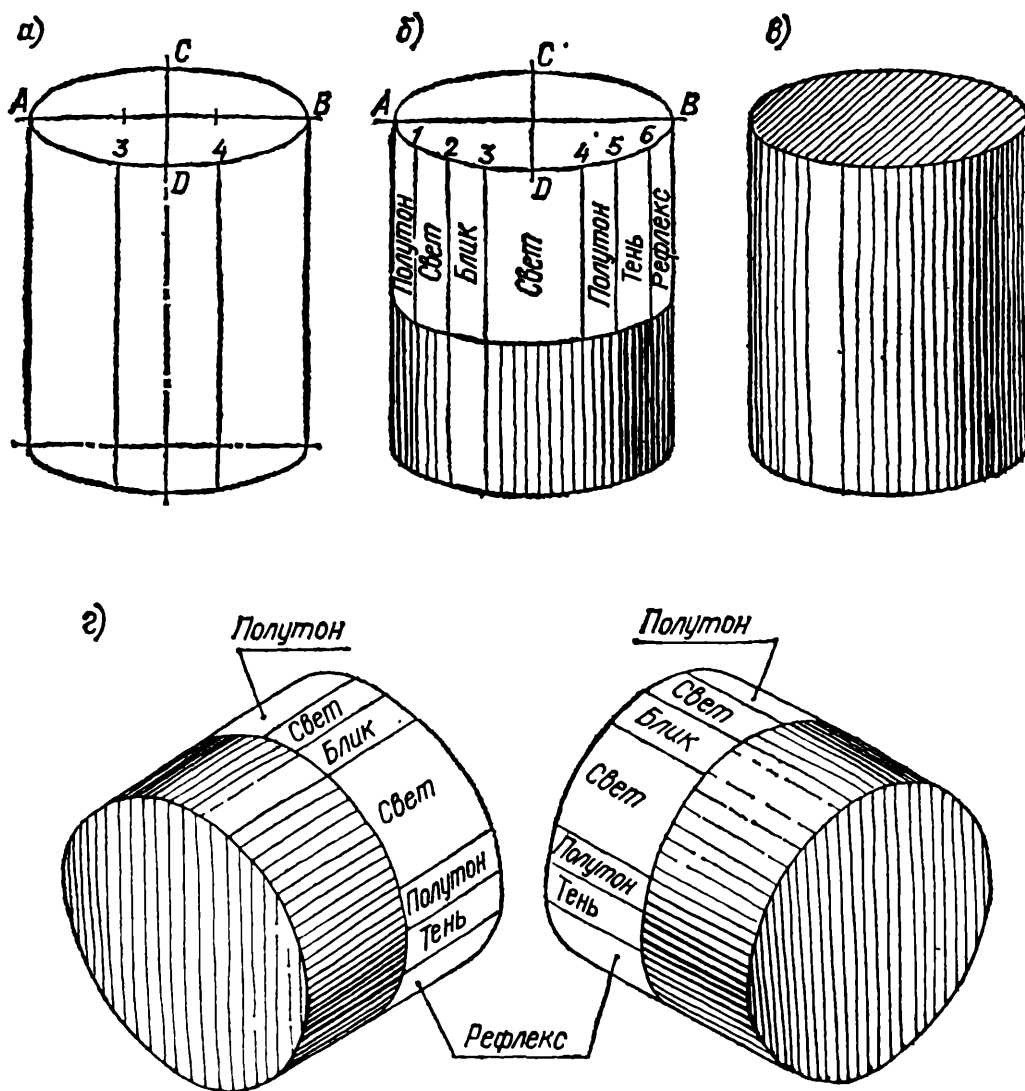


Рис. 338

Распределение светотени на конусе. На коническую поверхность штриховку наносят в виде образующих, как показано на рис. 339, а. Сначала делят выступающую часть конуса на три равные части точками 3 и 4, а затем левую и правую части поверхности конуса делят еще на три равные части точками 1, 2 и 5, 6, через которые проводят образующие. При нанесении штриховки надо стремиться, чтобы штрихи у вершины конуса не сливались (рис. 339, б).

Распределение светотени на шаре. Через центр шара (рис. 340, а) проводят два взаимно перпендикулярных диаметра AB и CD , наклоненных к горизонтальной прямой под углом 45° . Диаметр AB делят на четыре равные части точками 4 и 9 и рисуют эллипс по четырем точкам $C, D, 4$ и 9 . Затем делят верхнюю поло-

вину диаметра AB на восемь равных частей точками $1, 2, \dots, 8$. Отрезок $9-B$ делят на три равные части точками 10 и 11 . Рисуют тонкой линией эллипс, проходящий через точки C, D и 11 . Этот эллипс определяет границу рефлекса. Далее рисуют еще три эллипса, малые оси которых равны отрезкам $1-3, A-5, 1-8$. Через середины этих отрезков проводят тонкими линиями перпендикуляры, на которых откладывают размеры больших осей эллипсов.

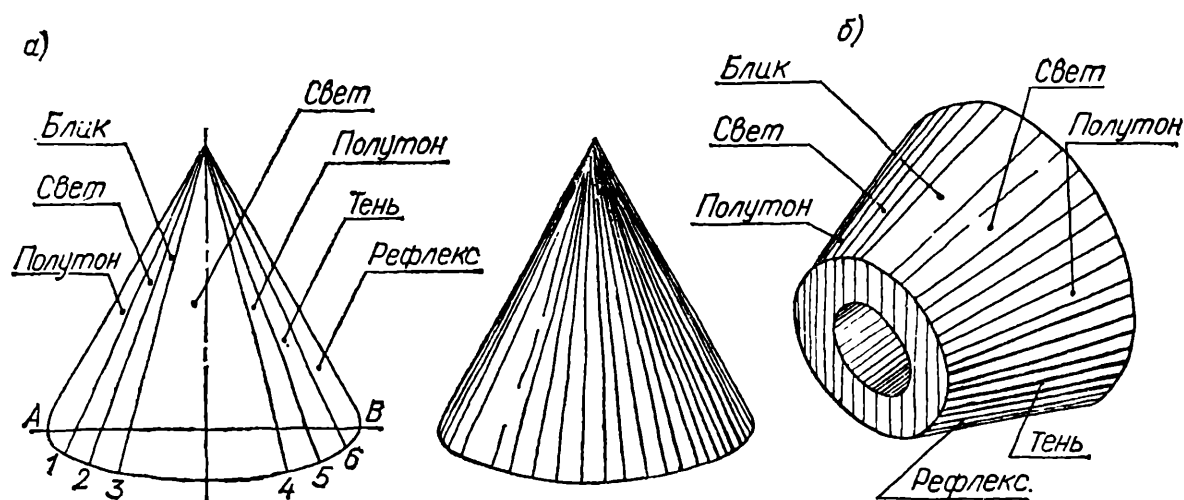


Рис. 339

Соотношение размеров между большой и малой осями должно быть равно $2:1$, т. е. большие оси в два раза больше малых. Затем рисуют каждый эллипс по четырем точкам.

Между нарисованными пятью эллипсами выполняют на глаз рисунки нескольких промежуточных эллипсов так, чтобы расстояние между ними было примерно $1...2$ мм. Блик на шаре расположится в точке 2 . В теневой части шара рисуют эллипсы яркими штрихами с постепенным ослаблением их в более светлых местах (рис. 340, б).

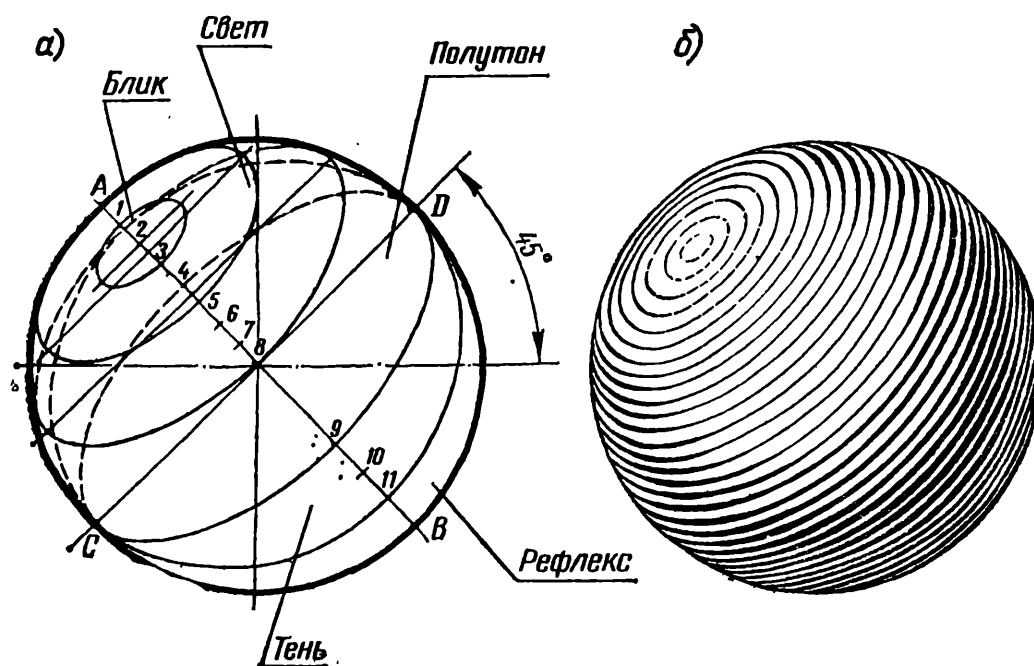


Рис. 340

Шраффировка. Шраффировка — это штриховка сеткой, или двойная штриховка. На многогранниках и поверхностях вращения шраффировку наносят по форме предмета аналогично штриховке. Оттенение способом шраффировки требует от рисующего большой аккуратности, внимательности и точности исполнения.

Оттенение многогранников шраффировкой выполняют сначала наклонными штрихами, параллельными осям X и Y (рис. 341, а).

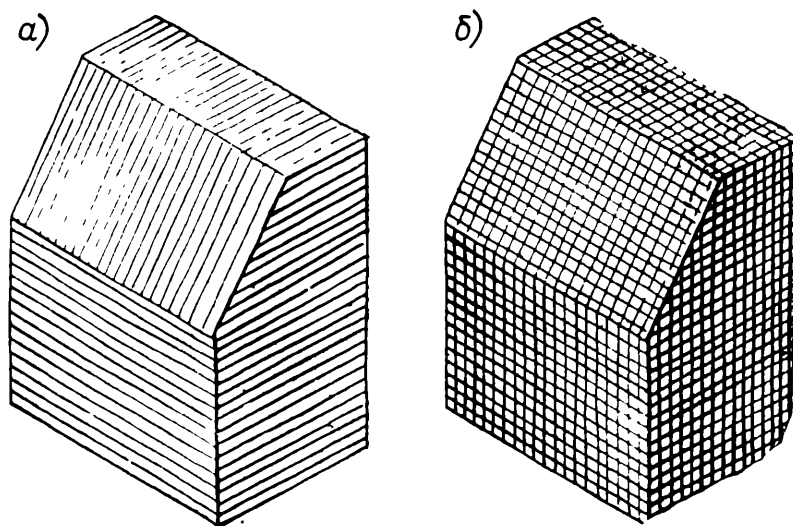


Рис. 341

Потом рисуют вертикальные штрихи, а затем штрихи обводят более ярко с постепенным переходом к светлым местам предмета. Горизонтальные поверхности должны быть светлее вертикальных, расположенных в теневых местах предмета (рис. 341, б). Наклонные плоскости заштриховывают прямыми, параллельными наклонной плоскости.

На *цилиндре и конусе* оттенение шраффировкой выполняют сначала горизонтальными штрихами в виде эллипсов, касательных к образующим (рис. 342, а, б), затем проводят вертикальные и наклонные штрихи.

Для *оттенения шраффировкой сферической поверхности* сначала наносят наклонную штриховку в виде меридианов шара, касательных к общей очерковой окружности (рис. 343, б). Затем рисуют горизонтальные штрихи — параллели (рис. 343, а). Горизонтальные штрихи наносят по тому же принципу, что и наклонные. Разница заключается лишь в том, что для нанесения горизонтальных штрихов необходимо делить не наклонный, а вертикальный диаметр шара (см. рис. 343, а). Промежуточные эллипсы (см. рис. 343, б) врисовывают на глаз между основными.

Оттенение шара шраффировкой наиболее сложно, поэтому рисуют все штрихи, как наклонные, так и горизонтальные, тонкими линиями. Затем определяют все элементы светотени и, начиная с самого темного места, рисуют яркие штрихи с постепенным ослаблением их в более светлых местах.

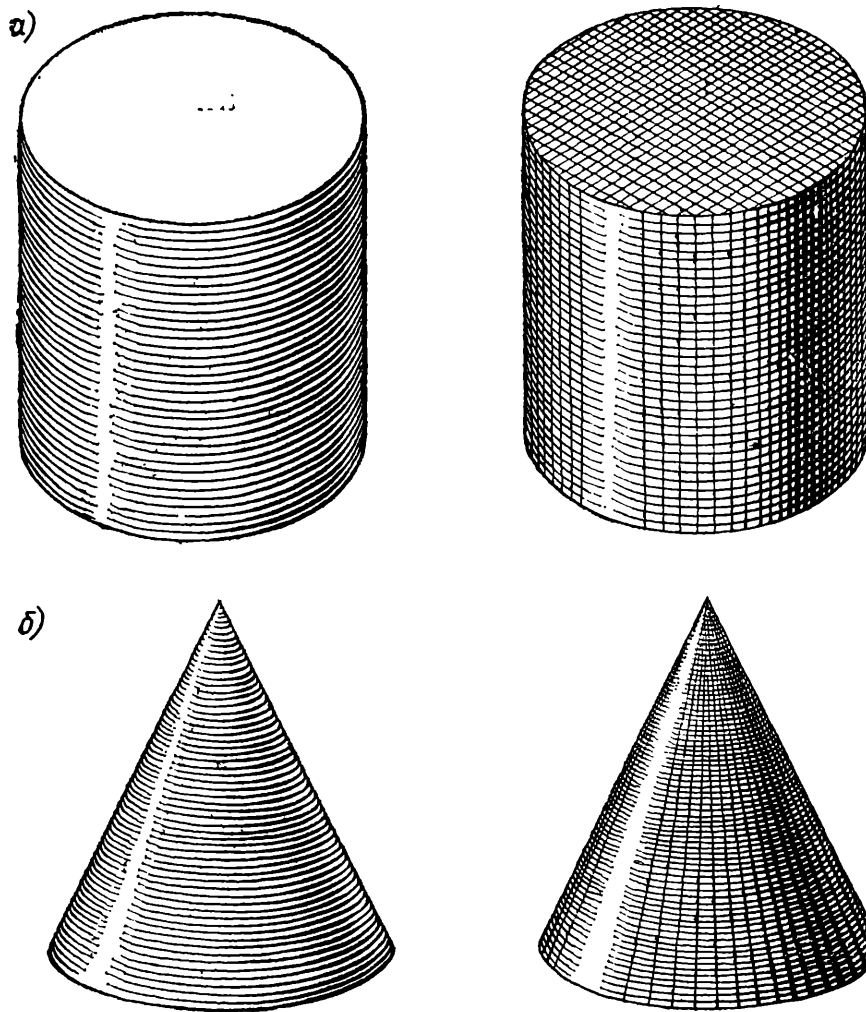


Рис. 342

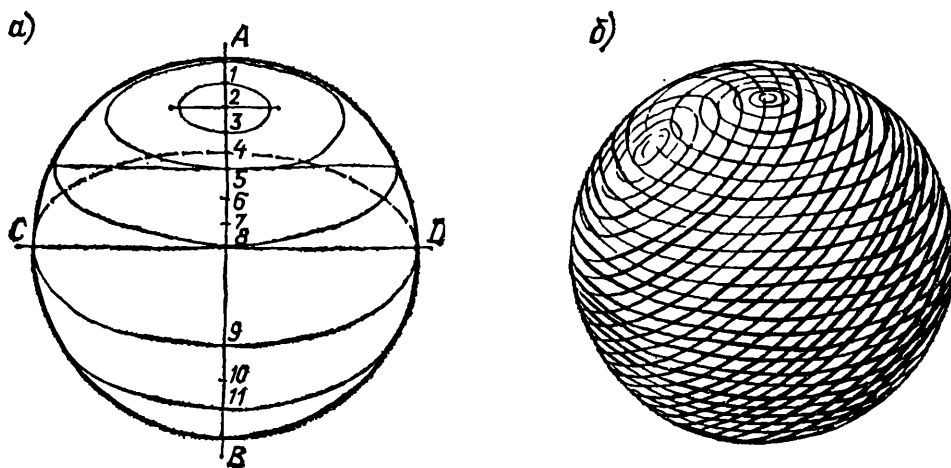


Рис. 343

В процессе работы над рисунком отдельные штрихи иногда получаются слишком яркими или нарисованными неточно. Яркость штрихов можно уменьшить с помощью мягкой резинки. Резинку следует прикладывать к рисунку как промокашку, но не тереть ею, так как иначе рисунок может получиться смазанным. Перед тем как приложить резинку к бумаге, необходимо потереть ее о чистый лист и приложить к ненужной линии, затем снова потереть и снова приложить к рисунку. Так проделать несколько раз, пока

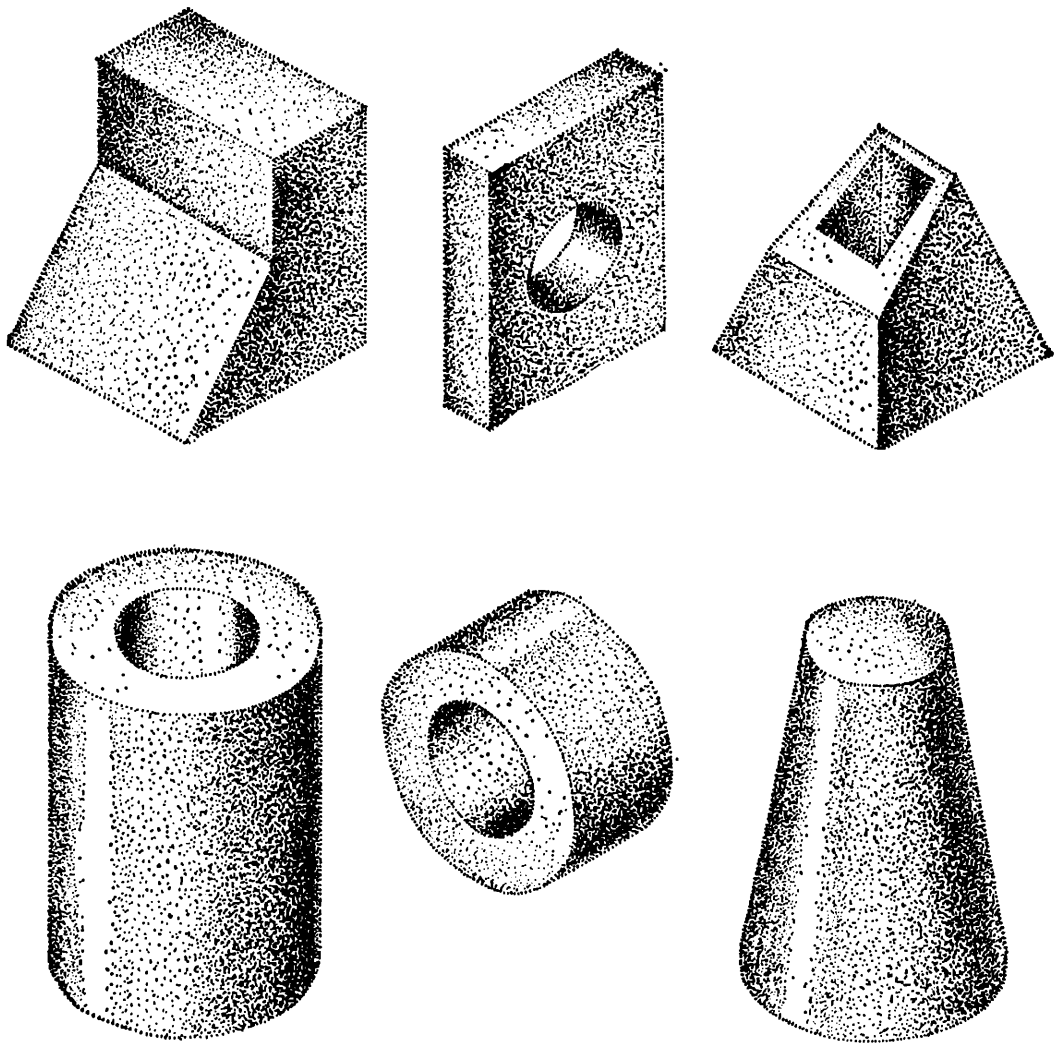


Рис. 344

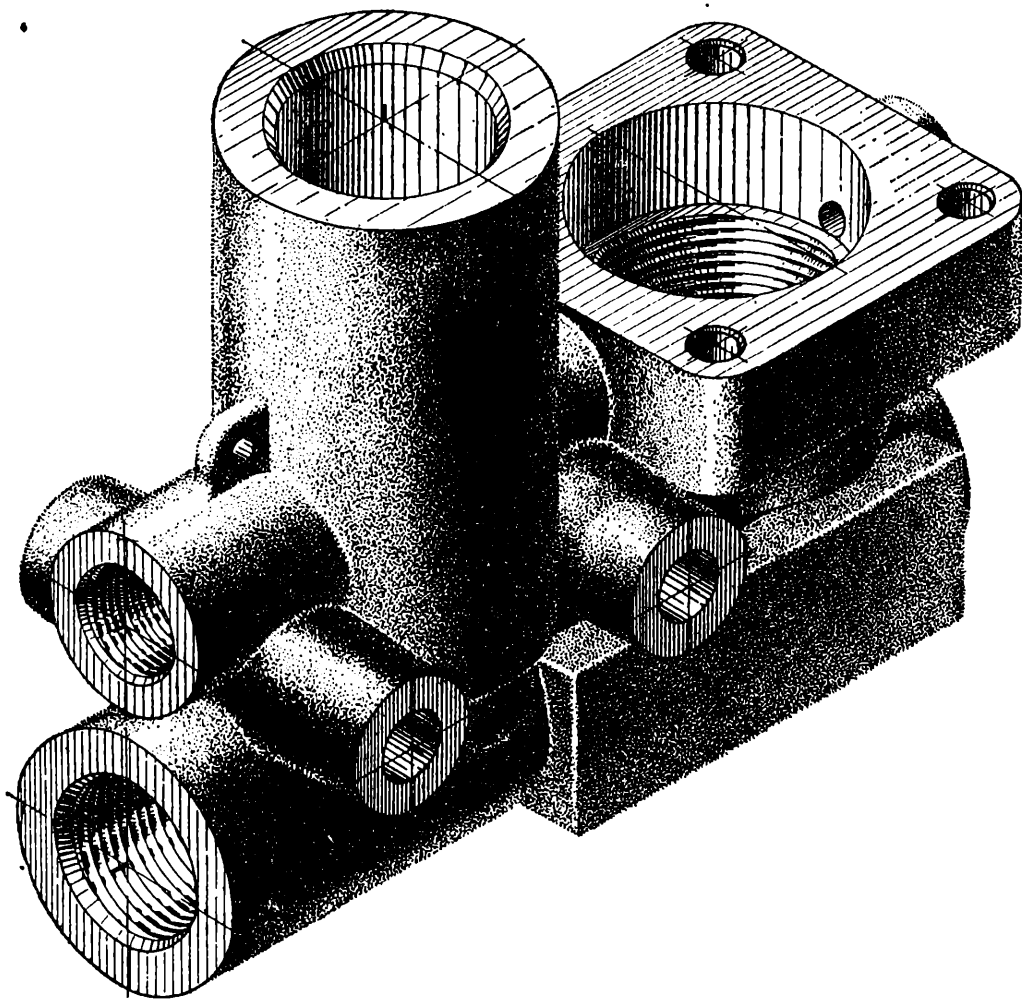


Рис. 345

яркость линий получится соответствующего тона. Если такой прием для стирания отдельных линий не поможет, то следует применить чернильную резинку с острым углом и стереть линию обычным способом.

Оттенение точками. Выявление объема предмета способом нанесения точек основывается на том, что светотень наносят не штрихами, а точками. Схема распределения светотени на предметах при этом такая же, как и для других способов оттенения. В теневой части предмета точки располагают близко друг к другу, в слабоосвещенных местах — реже, на освещенной поверхности — совсем редко. Примеры оттенения точками различных поверхностей показаны на рис. 344. На рис. 345 приведен пример оттенения технической детали корпуса. Следует сказать, что литые поверхности и детали оттеняются чаще всего точками, а обработанные — штрихами.

Глава 15

РИСОВАНИЕ ПРЕДМЕТОВ (ДЕТАЛЕЙ) С НАТУРЫ И ПО ЧЕРТЕЖУ

§ 56. РИСОВАНИЕ ПРЕДМЕТОВ С НАТУРЫ

Этот вид рисования носит условный характер, так как рисунок выполняется не так, как видит предмет рисующий в натуре, а по правилам аксонометрических проекций.

Цель рисования группы тел — научиться изображать (охватывать) одновременно несколько предметов и располагать их на рисунке в заданном положении относительно друг друга. Кроме того, на примерах сочетаний простейших геометрических тел проще всего усвоить последовательность построения рисунка, выявить с помощью оттенков объем и характерные особенности предметов.

Весьма важное значение имеет композиция рисунка на листе, т. е. расположение рисунка пропорционально формату листа так, чтобы зритель получил правильное представление об изображаемых предметах. При построении рисунка группы предметов необходимо рисовать их все сразу, а не отдельно каждый. Следует обратить внимание на наглядность изображения, которая зависит от выбора аксонометрической проекции. В техническом рисовании чаще всего применяют прямоугольные (ортогональные) аксонометрические проекции. Выполним рисунок группы предметов в прямоугольной изометрической проекции (рис. 346, а).

Размер заданной группы по высоте больше, чем по ширине, поэтому рисунок должен быть размещен на листе так, чтобы узкая сторона листа была расположена к рисующему. Наметим на листе тонкими линиями на глаз прямоугольник, т. е. ограничим место для рисунка всех предметов одновременно (рис. 346, б).

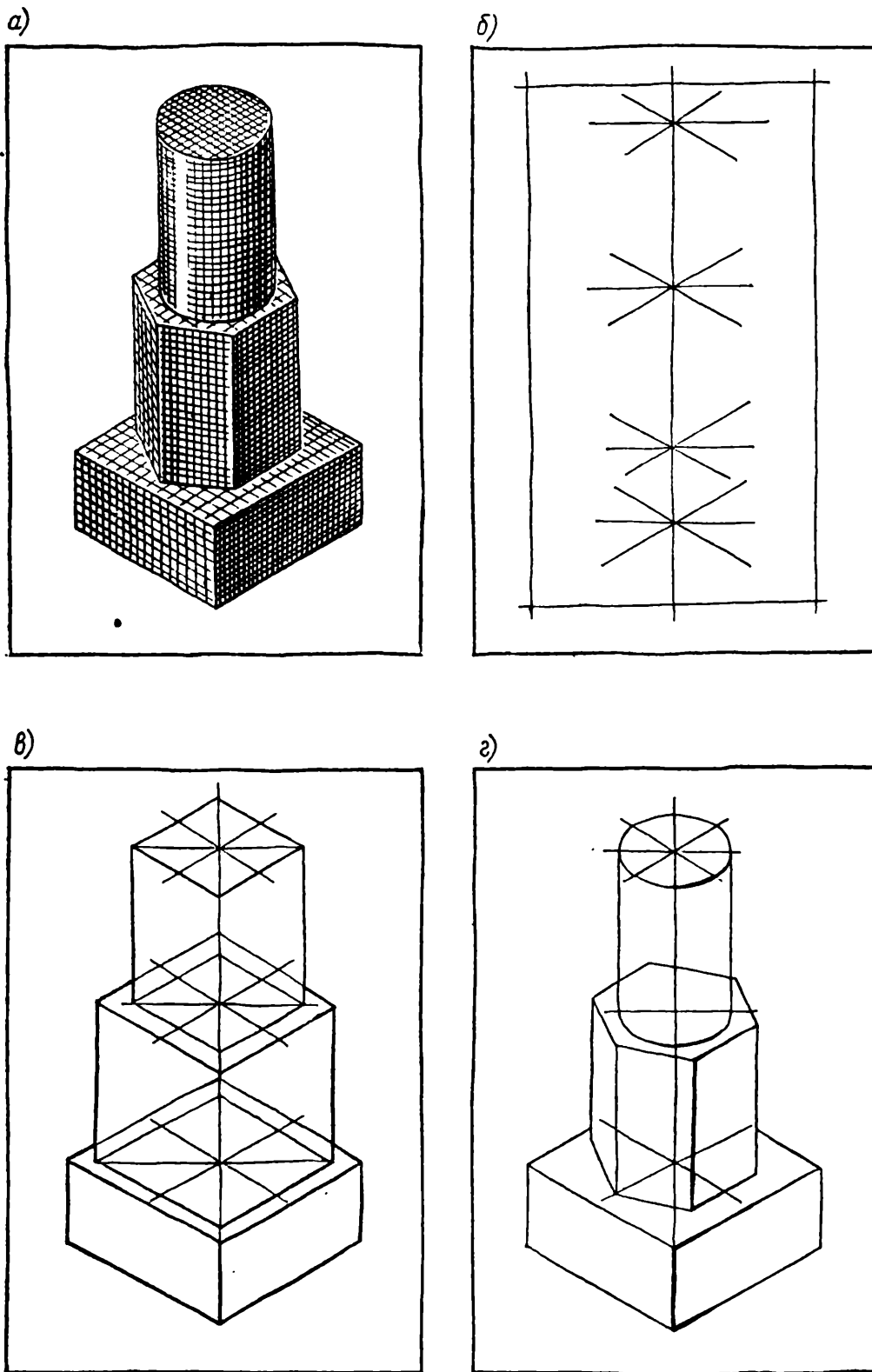


Рис. 346

Затем посередине прямоугольника проведем тонкую прямую линию и на ней отложим на глаз размеры высоты каждого предмета, как показано на рис. 346, б. Таким образом, определим середины оснований цилиндра, призмы и параллелепипеда.

Далее нарисуем верхнее основание параллелепипеда, а затем выполним рисунок параллелепипеда (рис. 346, в). Для рисунков призмы и цилиндра применим способ обертывающих поверхностей. Этот способ состоит в том, что предмет сложной формы упроща-

ют до более простой, как параллелепипед, в который врисовывается сложная форма, как шестиугольная призма или цилиндр. Итак, нарисуем две обертывающие поверхности для призмы и цилиндра (рис. 346, в) и врисуем в одну из них призму, а в другую цилиндр. Удалим лишние вспомогательные линии и проверим точность построения рисунка: не падает ли фигура в целом или отдельные фигуры, выдержаны ли пропорции предметов, нет ли перекосов у параллельных линий и т. д. После исправлений ошибок обведем ярким контуром выступающие ребра параллелепипеда и призмы. Причем ребро призмы должно быть обведено несколько тоньше, чем ребро параллелепипеда (рис. 346, г), поскольку призма удалена дальше от зрителя. Затем мысленно определим самые темные и самые светлые места. Затем приступим к нанесению оттенения способом шраффировки, как показано на рис. 346, а.

При выполнении технического рисунка детали с натуры следует придерживаться определенной последовательности: 1) определить название детали и ее назначение; 2) определить рабочее положение детали; 3) установить на глаз соотношение размеров (длины, ширины и высоты) детали, а также отдельных ее частей; 4) понять конструктивную сущность детали, т. е. расчленить ее на простые, и геометрические формы; 5) выбрать для рисунка детали соответствующую аксонометрическую проекцию; 6) продумать композицию рисунка и способ оттенения детали.

Изучив особенности детали, можно приступить к выполнению рисунка. Предположим, что необходимо нарисовать подшипник. Рабочее положение детали изображено на рис. 347, а. Считаем, что деталь литая. С помощью карандаша определим на глаз пропорции детали путем сравнения размеров ее отдельных частей. Рассмотрим конструктивную сущность детали, т. е. расчленим ее на три геометрических тела: обоснование — параллелепипед (рис. 347, б), стойка (рис. 347, в), цилиндр (рис. 347, г).

Данную деталь нарисуем в прямоугольной диметрии. В техническом рисовании оси X и Y иногда направляют не так, как принято в ГОСТе, а в другую сторону, т. е. сохраняют те же углы наклона, но меняют лишь направление осей, как показано на рис. 347, а. Если рисовать эту же деталь в прямоугольной изометрической проекции, то сквозных отверстий в цилиндре и стойке не видно. Поэтому деталь лучше рисовать в прямоугольной диметрии.

Расположение рисунка на листе зависит от формы детали. Если ширина детали больше ее высоты, то рисунок располагают на листе так, чтобы стандартный лист был повернут большей стороной к рисуемому. В данном примере высота детали больше ее ширины, поэтому лист следует повернуть узкой стороной к себе. На листе ограничим место для рисунка в виде прямоугольника (рис. 347, д) и наметим габариты детали. Затем нарисуем обобщенную форму детали в виде параллелепипеда. Проверим точность построения пропорций рисунка (рис. 347, е). Наметим цент-

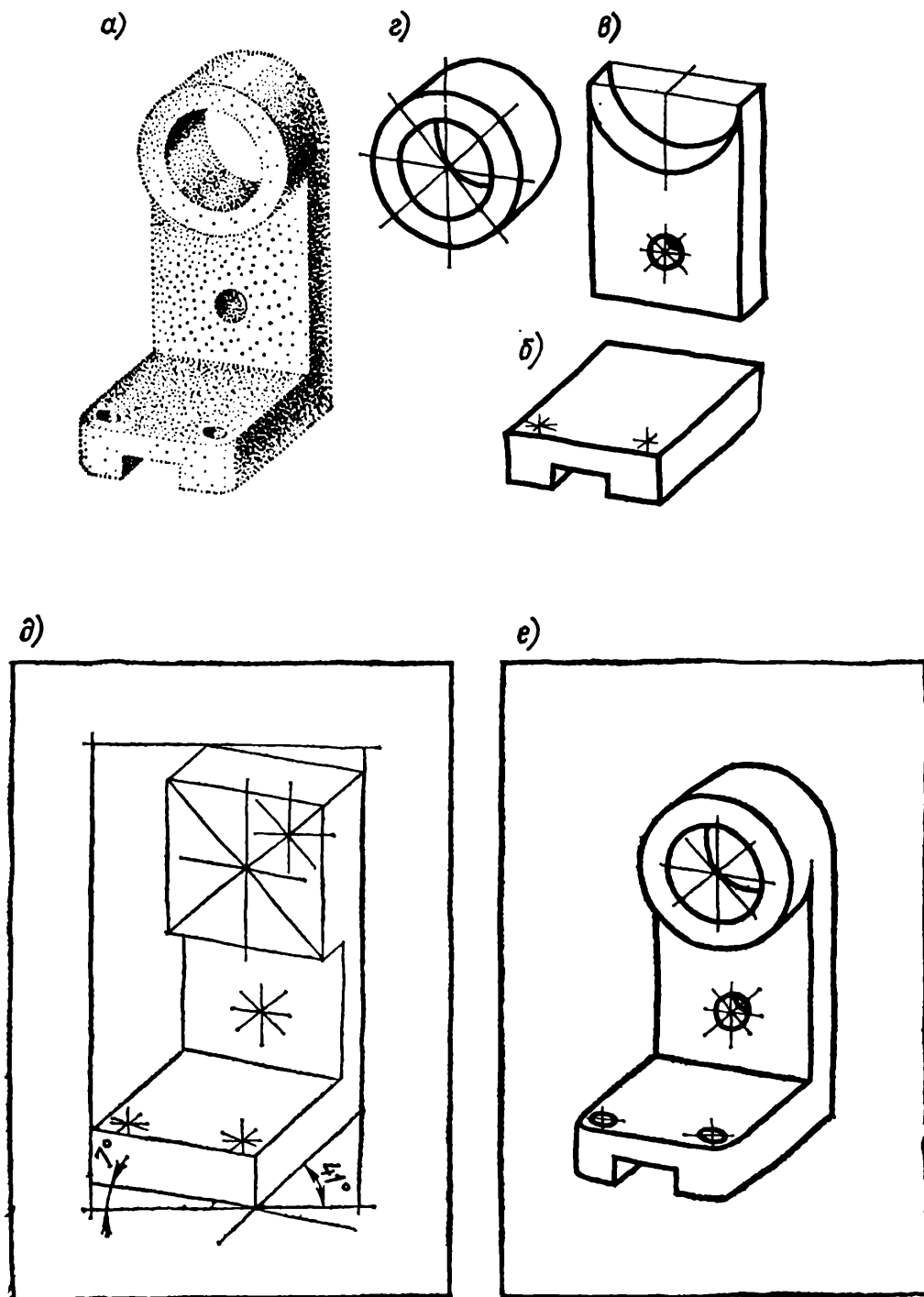


Рис. 347

ры для отверстий. Нарисуем цилиндр и сквозное отверстие в нем. Далее скруглим углы основания подшипника и нарисуем прямоугольный паз. На стойке подшипника изобразим сквозное отверстие. Проверим точность построения рисунка, а затем удалим линии построения. Определим положение самых темных и самых светлых мест детали и выполним оттенение способом нанесения точек (рис. 347, а). Перед тем как начать оттенение необходимо стереть все контуры рисунка, оставив их едва заметными и вместо контурных линий нанести точки. В темных местах точки ставятся чаще, а в светлых реже. После этого можно приступить к оттенению поверхностей детали.

При выполнении рисунков с натуры крупных деталей сложной формы (рис. 348, а) рекомендуется сделать в верхней левой части

листа набросок (рис. 348, б). Наброском называется обобщенный лаконичный рисунок, отражающий общую форму детали без передачи ее подробностей. Для наброса отводится место в виде прямоугольника, подобного формату заданного листа. В этом прямоугольнике значительно проще определить композицию рисунка детали. Кроме того, с помощью наброска можно скорее и лучше понять взаимоположение конструктивных частей детали. Набросок

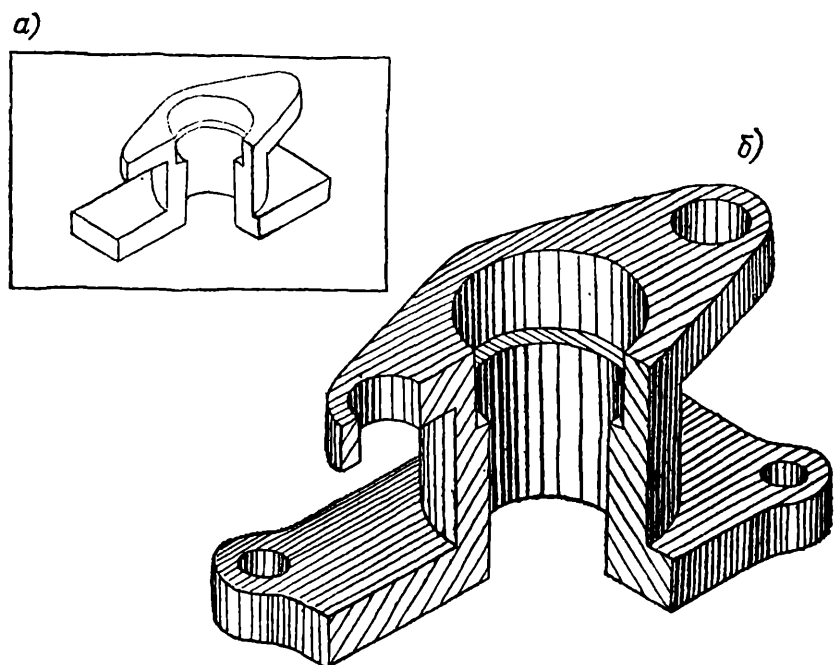


Рис. 348

выполняют сначала тонкими линиями, затем сравнивают с натурой и после некоторых исправлений обводят контурной линией неодинаковой толщины. Закончив набросок, приступают к выполнению рисунка детали, не стирая наброска. Далее рисунок сравнивают с натурой и наносят светотень. Разрезанную часть детали штрихуют согласно ГОСТ 2.305—68.

§ 57. РИСОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПО ЧЕРТЕЖУ

Выполнение рисунка предмета (детали) по чертежу требует от рисующего умения читать чертеж, т. е. представлять в пространстве общую форму детали в целом и конструктивную форму ее частей. Комплексный чертеж предмета, выполненный в трех проекциях (рис. 349, а), в отличие от технического рисунка того же предмета (рис. 349, б) не сразу дает полное представление о конструктивной его форме. Необходимо некоторое время для того, чтобы прочесть чертеж. Чтобы нарисовать деталь по заданному ее чертежу и однозначно передавать ее конструктивную сущность, а также объем, необходимо тщательно изучить чертеж, сопоставить на глаз габаритные размеры детали и соотношение ее частей; сделать выбор аксонометрической проекции, наиболее подходящий для передачи характерных особенностей данной детали, а

затем приступить к выполнению рисунка. Если рисунок выполняется на одном листе с заданным чертежом, то рисующий должен продумать размер технического рисунка так, чтобы рисунок удачно сочетался с чертежом, т. е. чтобы он не был слишком мелким или очень крупным.

Рисуя деталь по чертежу, не следует делать никаких замеров с помощью циркуля и линейки. Все размеры надо брать в пропорциональном отношении на глаз, точно так же, как и при рисо-

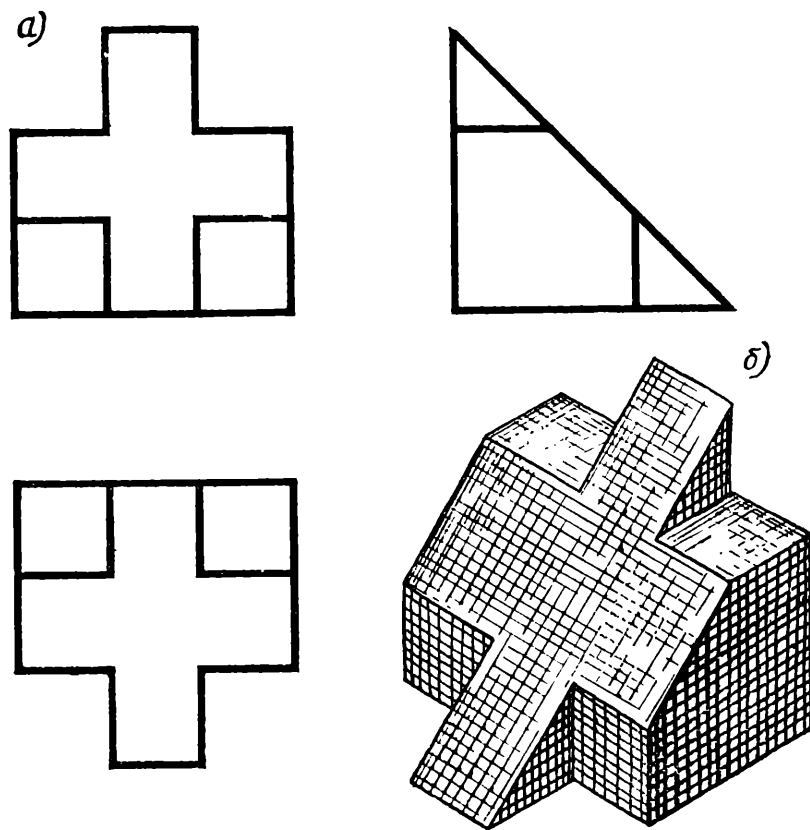


Рис. 349

вании детали с натуры. Рисунок детали можно увеличивать или уменьшать по отношению к заданным размерам на чертеже, но во всех случаях следует соблюдать пропорциональные отношения всех частей детали.

На рис. 350, а заданы три проекции технической детали. Требуется выполнить ее технический рисунок. Деталь состоит из горизонтально расположенного цилиндра и поставленного на него параллелепипеда, перпендикулярного оси цилиндра. Верхняя часть параллелепипеда имеет сквозной паз, который разделяет его на две части, форма которых представляет полуцилиндры. Большой цилиндр имеет сквозное отверстие. Полуцилиндры также со сквозными отверстиями. Данную деталь удобнее рисовать в прямоугольной изометрической проекции, поскольку изображение строится без сокращения по осям, и на рисунке можно сделать вырез (рис. 350, б).

Наметив габаритные размеры всего рисунка, проводят ось большого цилиндра и оси для полуцилиндров. На осях намечают

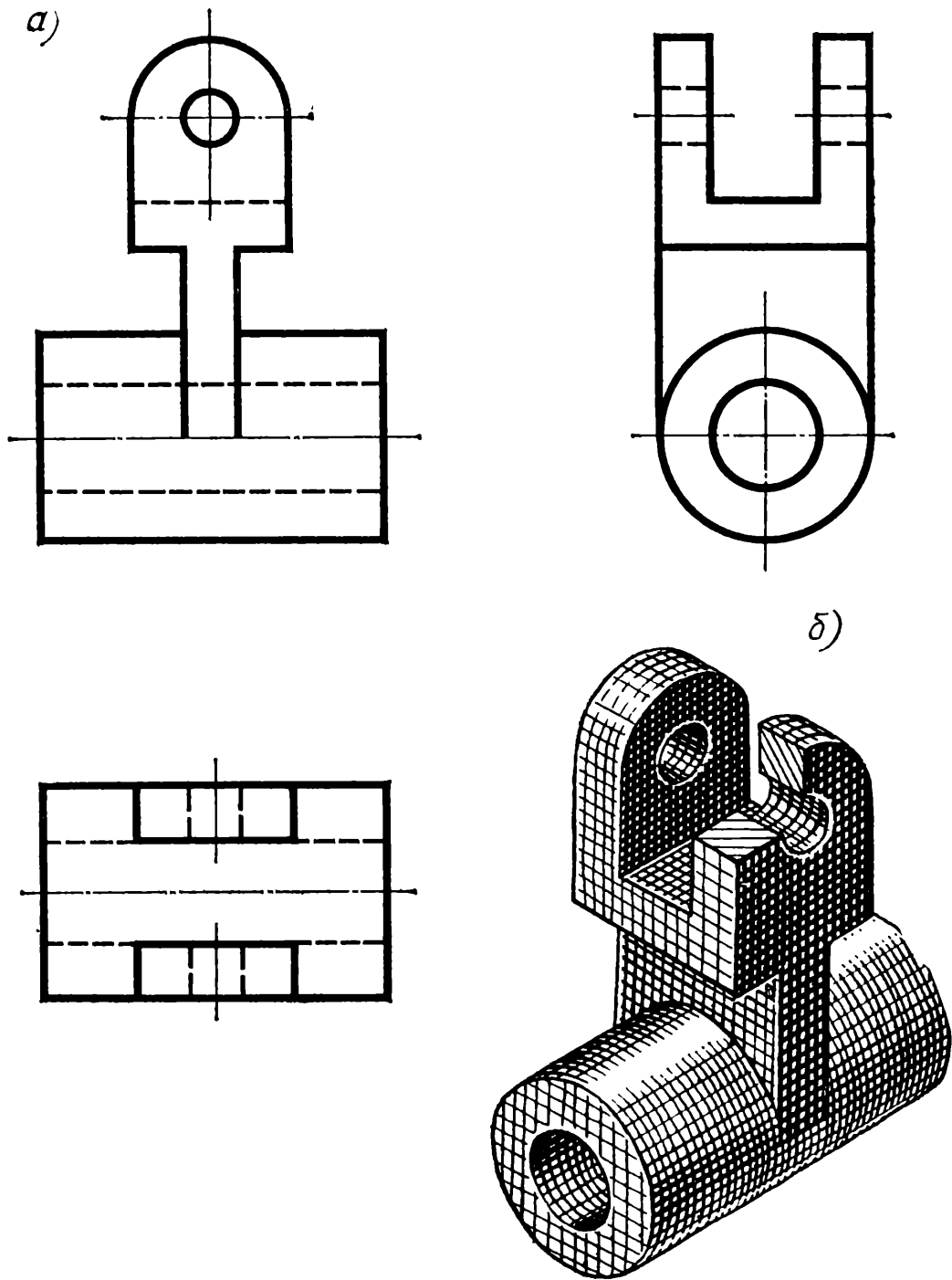


Рис. 350

габариты большого цилиндра и габариты параллелепипеда. Иначе говоря, построение рисунка выполняют, начиная с больших форм, постепенно переходят к изображению малых, все время сравнивая их пропорции. Выполнив линейный рисунок и проверив его пропорции по чертежу, наносят оттенение способом шраффировки, как показано на рис. 350, б.

Контрольные вопросы. 1. Что понимают под техническим рисованием? 2. Для чего предназначен технический рисунок? 3. Что называется техническим рисунком? 4. Какие приемы применяют для деления отрезка прямой и углов на равные части? 5. Как выполняют рисунок окружности? 6. В какой последовательности выполняют технические рисунки многогранников: параллелепипеда, призмы, пирамиды? 7. В какой последовательности выполняют технические рисунки тел вращения: цилиндра, конуса, шара, тора? 8. Что называется светотенью? 9. Перечислите элементы светотени? 10. Перечислите способы нанесения оттенков на технические рисунки. 11. Объясните особенность рисования детали с натуры и по чертежу.

Раздел четвертый

ЛИНЕЙНАЯ ПЕРСПЕКТИВА

Глава 16

ПЕРСПЕКТИВЫ ТОЧКИ, ЛИНИЙ, ПЛОСКИХ ФИГУР

§ 58. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Перспектива — наука об изображении предметов и различных объектов на плоскости или любой другой поверхности в соответствии с теми кажущимися сокращениями размеров, изменениями очертаний формы и светотеневых отношений, которые наблюдаются в действительности. Название «перспектива» происходит от латинского слова *perspicere*, что в переводе означает «смотреть сквозь, правильно видеть».

Чтобы лучше представить процесс получения перспективного изображения на плоскости, подойдите к окну с кистью и краской, закройте один глаз, не меняя положения головы, нарисуйте на стекле контуры видимых за окном предметов. Рисунок, полученный на стекле, представляет перспективное изображение предметов. Следовательно, если принять глаз смотрящего через стекло человека за центр проекций, то световые лучи, отраженные от точек предмета и направленные в глаз, образуют коническую поверхность. Точки пересечения световых лучей с плоскостью стекла дадут изображение (перспективу) предмета. Этот способ изображения носит название линейной перспективы. Таким образом, в задачу линейной перспективы входит построение на плоскости предметов и объектов такими, чтобы они были схожи с натуральными. В практике перспективное изображение строится на непрозрачной плоскости, т. е. на бумаге, холсте и пр.

Аналогично тому, как различают тоновой и контурный рисунки, так и перспектива бывает двух основных видов: воздушная (тональная) и линейная. Воздушная перспектива рассматривает изменения цвета предметов под влиянием воздушной среды и различного освещения. Линейная перспектива рассматривает способы перспективных изображений контуров предмета на вертикальную и наклонную плоскости, т. е. передает линейные очертания предметов. Отсюда она и получила название линейной.

Все построения линейной перспективы должны выполняться с помощью чертежных инструментов, так как при построении перспективы предмета требуется точность построения.

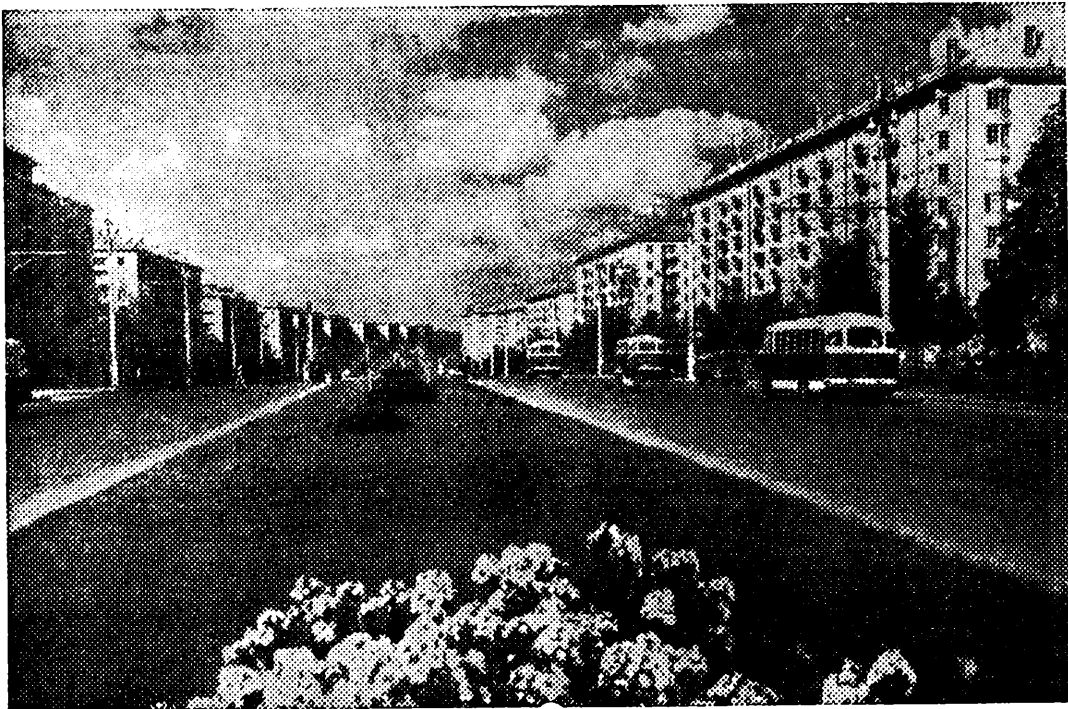


Рис. 351

Рисование предметов с натуры выполняется на основе правил наблюдательной перспективы с учетом законов перспективы. Основным законом перспективы заключается в том, что: 1) одинаковые по размеру предметы по мере удаления их от наблюдателя зрительно уменьшаются; 2) параллельные линии сходятся в одной точке; 3) равные между собой расстояния при удалении от зрителя кажутся не равными (рис. 351).

Линейная перспектива строится по методу центрального или конического проецирования, сущность которого заключается в следующем. Представим себе находящуюся в пространстве пирамиду $S'A'B'E'D'$ (рис. 352), вертикальную плоскость K и точку C . Из точки C проведем проецирующие лучи в точки A', B', E', D', S' , которые пересекут плоскость в точках A, B, E, D, S . Соединив прямыми точки A, B, E, D, S в таком же порядке, как они соединены на предмете, получим изображение пирамиды на плоскости K . Это изображение пирамиды называется

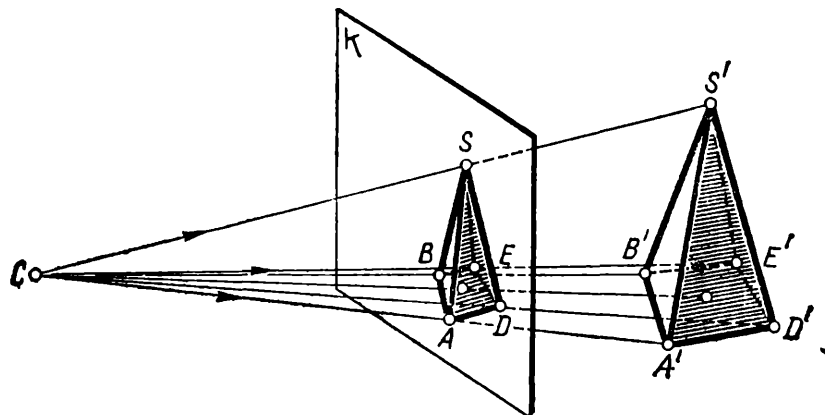


Рис. 352

ее перспективой или центральной проекцией. Таким образом, центральной проекцией предмета называется его изображение, полученное на плоскости с помощью проецирующих лучей, проведенных из одной точки.

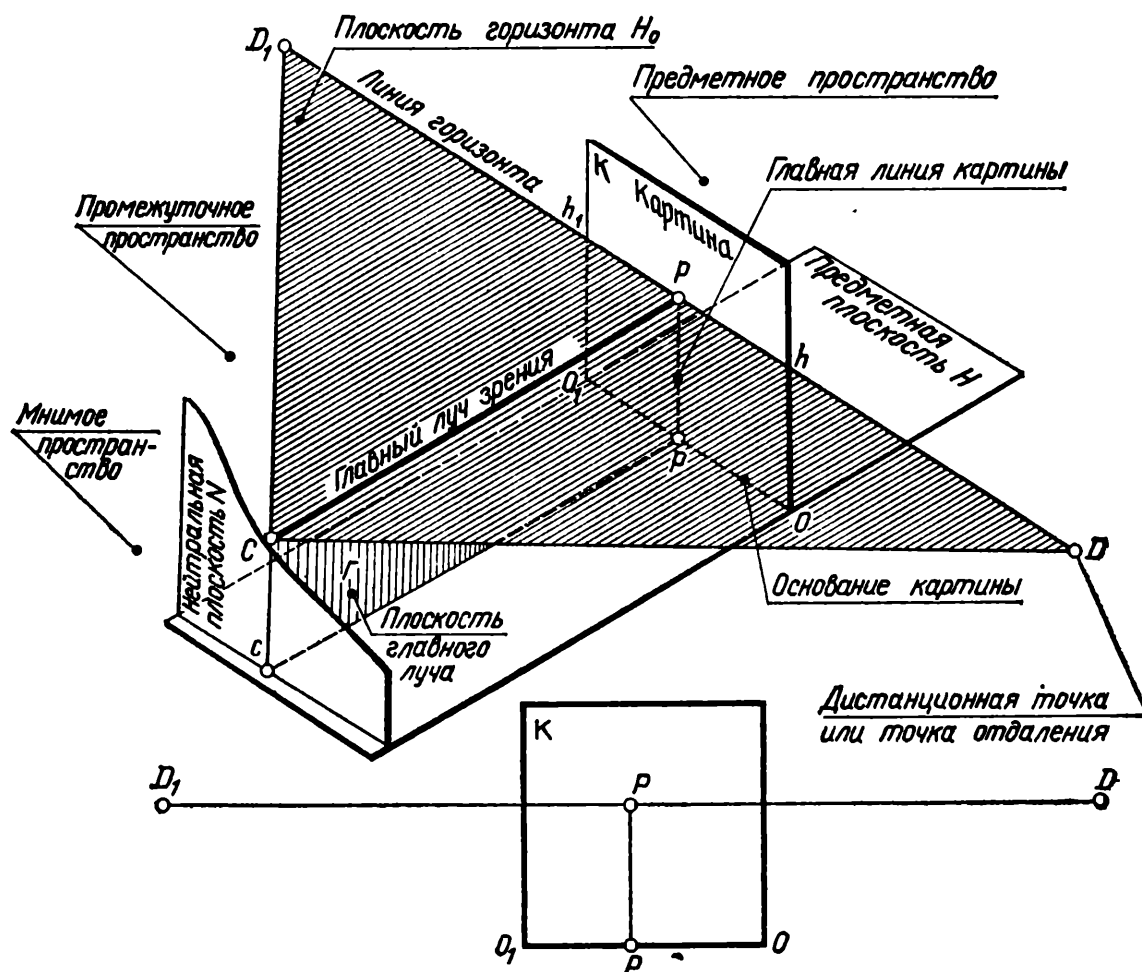


Рис. 353

Если проецирующие лучи направить из точки C не на плоскость, а на внутреннюю поверхность цилиндра, то изображение называется панорамной перспективой. При проецировании предмета на внутреннюю поверхность шара получается купольная перспектива.


Из многочисленных видов перспективного изображения рассмотрим проецирование только на вертикальную плоскость. При изучении перспективных проекций на плоскости пользуются так называемым проецирующим аппаратом, состоящим из системы плоскостей, линий и точек.

Рассмотрим основные элементы проецирующего аппарата (рис. 353). Предметная плоскость H (горизонтальная плоскость), на которой помещается изображаемый предмет, зритель и картинная плоскость. Картинная плоскость, или картина, K , на которой получают перспективное изображение предмета. Она располагается перпендикулярно предметной плоскости H . Основание картинной плоскости, или основание картины OO_1 , — линия пересече-

ния картинной плоскости с предметной плоскостью. *Точка зрения*, или *центр проекций*, S указывает место, где помещается глаз рисующего в пространстве относительно картины. Через точку S проводят проецирующие лучи к предмету, расположенному за картиной или перед ней. *Точка стояния s* — основание перпендикуляра, опущенного из точки S на предметную плоскость. Высота точки зрения Ss — расстояние от точки зрения S до предметной плоскости. *Главный луч зрения SP* — перпендикуляр, опущенный из точки зрения на картину.

Плоскость горизонта H_0 — плоскость, проведенная через главный луч зрения Sp параллельно предметной плоскости до пересечения с картинной плоскостью. Линия горизонта hh_1 — линия пересечения плоскости горизонта H_0 с плоскостью картины K . *Дистанционные точки*, или *точки отдаления D и D_1* , располагаются на линии горизонта hh_1 по обе стороны от главной точки P на расстоянии, равном длине главного перпендикуляра SP . Дистанционные точки показывают на картине расстояние, с которого художник наблюдал изображенные на картине предметы. *Нейтральная плоскость*, или *плоскость исчезновения, N* — плоскость, проведенная через точку зрения S параллельно картинной плоскости K . *Предметное пространство* — пространство, находящееся за картинной плоскостью. В предметном пространстве располагаются предметы для изображения их на картине. *Промежуточное пространство* — пространство, заключенное между картинной плоскостью K и нейтральной плоскостью N . В этом пространстве, так же как и в предметном, иногда располагаются изображаемые на картине предметы. *Мнимое пространство* — пространство, расположенное за зрителем, за нейтральным пространством. В мнимом пространстве располагаются бесконечно удаленные точки, например солнце (см. § 73, рис. 433, б). *Плоскость главного луча зрения Γ* — плоскость, проходящая через главный луч зрения и перпендикулярная предметной и картинной плоскостям. *Главная линия картины Pp* — линия пересечения плоскости главного перпендикуляра с картиной. Главная линия картины или, как ее еще называют, *линия главного вертикала* делит картину пополам при условии, что зритель стоит лицом к картине, фронтально.

Обозначения, принятые в перспективных проекциях: точки, изображаемые на картине, — прописными буквами латинского алфавита A, B, E, Q ; основания этих точек — строчными буквами латинского алфавита a, b, e, q ; точки в пространстве и их основания (проекции на предметную плоскость) — соответственно теми же прописными и строчными буквами со штрихами: $A', B', E' \dots, a', b', e'$; точки и их основания при совмещенном положении предметной плоскости с картиной — теми же буквами, что и на картине, с добавлением штрихов: $A'', B'', E'', \dots, a'', b'', e''$; совмещенная точка зрения с картиной — Sk ; малая картина — K_1 ; точки на малой картине и их основания — $A_1, B_1, E_1, \dots, a_1, b_1, e_1$; картинные следы и точки пересечения прямых, проведенных через перспективы отдельных точек (концов отрезков) с основанием картины —

O_2, O_3, O_4 и т. д.; картинные следы прямых — O_2, O_3, O_4 и т. д.; проекции картинных следов — o_2, o_3, o_4 ; предметные следы прямых — T, L и др., T_{Π}, L_{Π} ; горизонтальные проекции предметных следов прямых — T, L и др., t_{Π}, l_{Π} ; предельные точки или точки схода для прямых произвольного направления — F, V, W и т. д.; предельная прямая для восходящей плоскости — $h_2 h_3$; предельная прямая для нисходящей плоскости — $h_4 h_5$; масштабные точки (или точки измерения) — M и N ; совпадение точки с ее проекцией на картинной плоскости — $A \equiv a$; $B \equiv b$, на предметной плоскости в пространстве — $A^1 \equiv a^1$; $B^1 \equiv b^1$; прямая линия — двумя буквами или одной буквой AB ; EQ ; L, Q ; отрезок — двумя буквами AB , EQ , ... или цифрой и буквой — $1 - A$, $2 - III$, ...; светящаяся точка (при факельном освещении) — S ; основание светящейся точки — s ; точка схода световых лучей (при солнечном освещении) — S ; основание точки схода световых лучей — s ; высота светящейся точки — Ss ; тени от точек — $A, B, E, \dots, A_*, B_*, E_*$; малая картина — $A_1 B_1 E_1 Q_1$ или $1_1 2_1 3_1 4_1$; картинные следы прямых на малой картине — O_{21}, O_{31} ; перспектива отрезков на малой картине — $A_1 B_1, I_1 - A_1$; $a_1 b_1$; углы — α, β, γ прямой угол — ; параллельность

прямых — \parallel , отражение точек — A, B, E, \dots в гладкой поверхности воды и в плоском зеркале — A_0, B_0, E_0, \dots

§ 59. ПЕРСПЕКТИВЫ ТОЧКИ И ПРЯМЫХ ЛИНИЙ

Перспектива точки. Пусть в предметном пространстве задана некоторая точка B^1 и ее ортогональная проекция b^1 на предметную плоскость (рис. 354, а). Требуется построить перспективу точки B' .

Проведем из точки зрения C луч в точку B' , т. е. CB' . Построим проекцию cb прямой CB' . Заключим прямые CB и cb' в горизонтально-проецирующую плоскость Q . Эта плоскость пересечется с картиной по прямой $Q_2 T$, расположенной перпендикулярно основанию картины OO_1 . Очевидно, что перспектива точки B' и ее основание b' лежат на прямой $O_2 T$ (рис. 354, б).

Если точка B' лежит на предметной плоскости H , то ее ортогональная проекция b' совпадает с самой точкой B' (рис. 355).

На картине перспектива точки B' совпала с ее основанием, т. е. $B \equiv b$.

Перспектива прямых линий. Перспективу прямой линии можно построить, если представить плоскость, составленную из прямых, идущих из точки зрения C к каждой точке заданной прямой. Эта плоскость пересечется с картиной по прямой линии. Следовательно, перспектива прямой на картине есть прямая. Практически для получения перспективы прямой достаточно построить перспективу двух ее точек.

Допустим, что в пространстве имеется некоторая прямая $M'N'$, расположенная параллельно картине и предметной плоскости

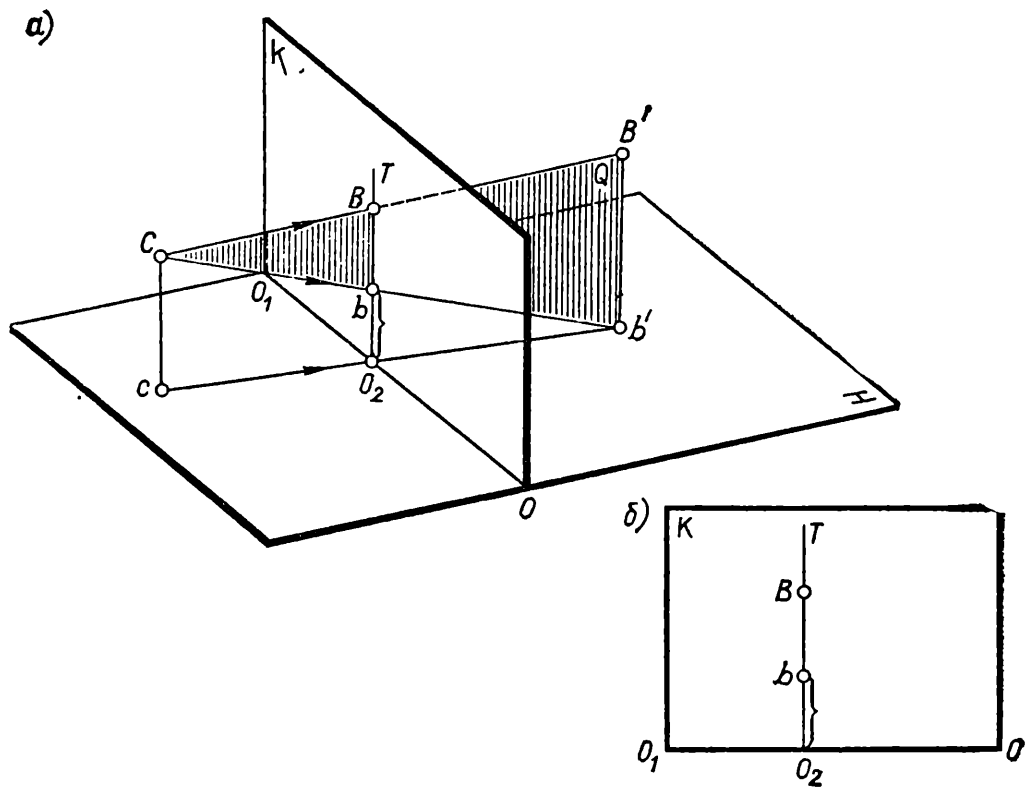


Рис. 354

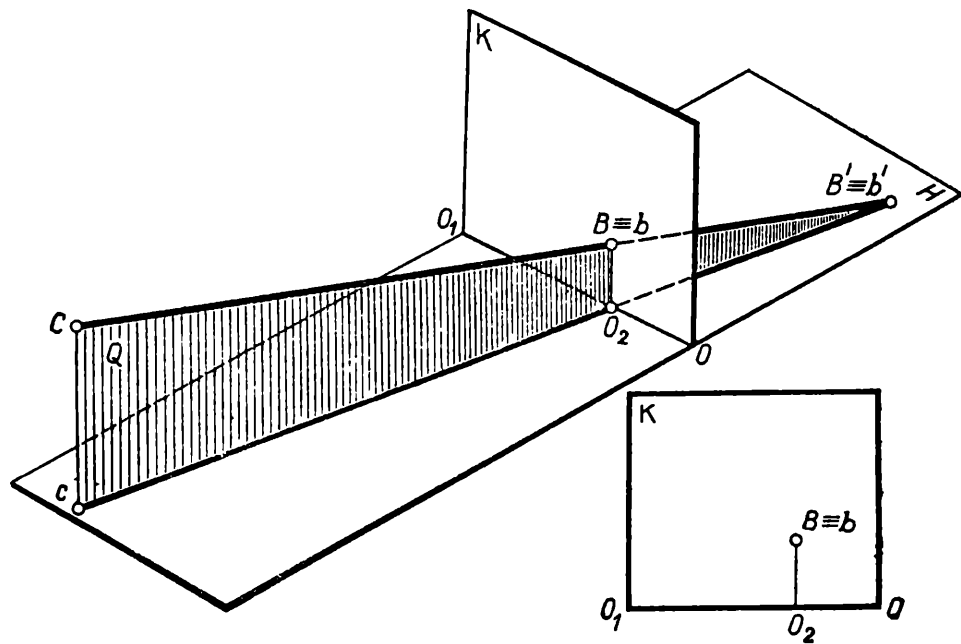


Рис. 355

(рис. 356, a). Чтобы построить перспективу прямой $M'N'$, возьмем на ней две произвольные точки A' и B' и найдем их ортогональные (горизонтальные) проекции a' , b' (ортогональные проекции точек на предметную плоскость H называются основаниями этих точек). Перспективу точек A' и B' определим с помощью плоскостей $CA'ca'$ и $CB'cb'$, которые пересекаются с картиной по прямым O_3T и O_2T , перпендикулярным основанию OO_1 картины. Искомые перспективы точек A' и B' расположатся на пересечении прямых CA' и CB' с прямыми O_3T и O_2T . Соединив прямой точки A , B и

a, b , получим перспективу прямой $A'B'$ и ее проекции $a'b'$. Из построения видно, что перспектива отрезка $A'B'$ получилась на картине в уменьшенном виде и расположилась параллельно основанию картины (рис. 356, б).

При построении перспективы прямых следует помнить, что:
1) отрезки прямых, расположенных в предметном пространстве,

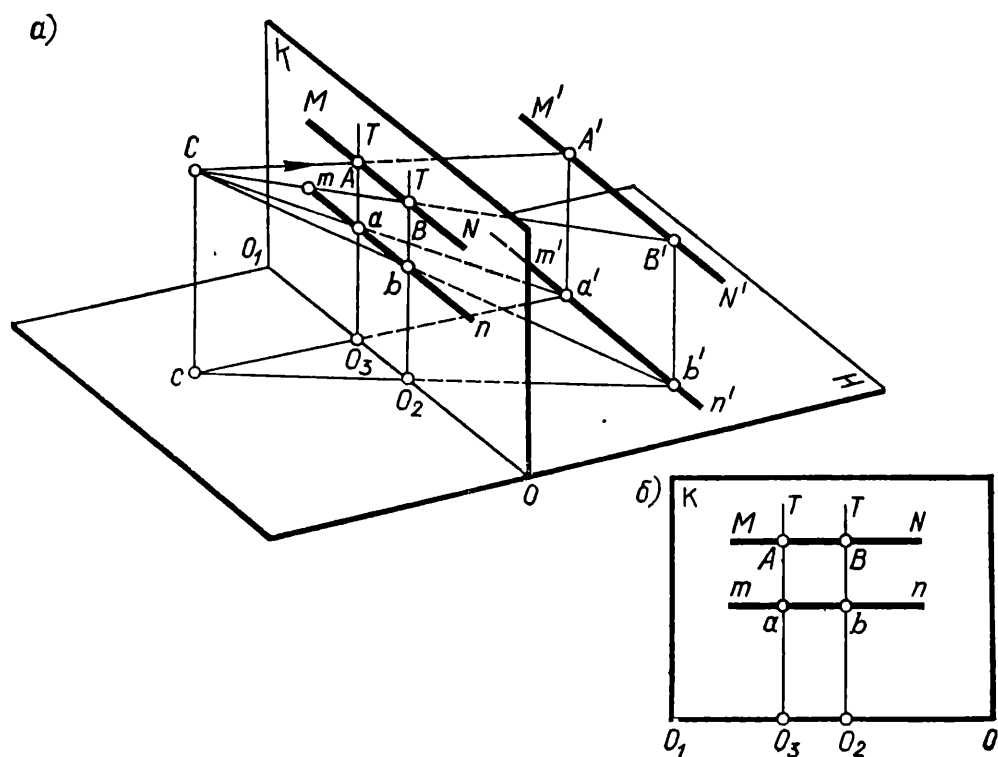


Рис. 356

всегда на картине меньше самих отрезков, 2) горизонтальные прямые, параллельные картинной плоскости, изображаются на картине горизонтальными; 3) вертикальные прямые изображаются на картине вертикальными; 4) прямые, расположенные в предметном пространстве, не параллельно картине и предметной плоскости, изображаются на картине под некоторым углом к ее основанию. Такие прямые называются прямыми общего положения.

Прямые общего положения делятся на два вида: прямые, поднимающиеся, или восходящие, от зрителя; прямые, опускающиеся вниз, к предметной плоскости, нисходящие.

Линия горизонта. Если в предметной плоскости взять некоторую прямую и продолжить ее беспрестанно далеко от зрителя, то перспектива бесконечно удаленной точки заданной прямой называется предельной точкой прямой. Для получения перспективы предельной точки прямой возьмем на прямой MN , расположенной в предметной плоскости H (рис. 357) две произвольные точки $1'$ и $2'$ и построим их перспективу. Из построения видно, что поскольку точка 1 расположена ближе к зрителю, чем точка $2'$, то на картине точка 1 получилась ниже точки 2 . На этой же прямой возьмем еще одну точку $3'$, удаленную от зрителя дальше точки $2'$, и построим ее перспективу. Перспектива точки $3'$ — точка 3 полу-

чилась на картине выше точек 1 и 2. Если продолжить прямую $M'N'$ дальше и взять на ней ряд других точек, то перспективы этих точек на картине расположатся еще выше. Таким образом, чем дальше от зрителя находится точка, тем выше она разместится на картине.

Чтобы построить перспективу бесконечно удаленной точки на прямой $M'N_{\infty}'$, надо из точки зрения C провести прямую параллельно заданной прямой до встречи с плоскостью картины в точке F . Эта точка F является предельной точкой заданной прямой.

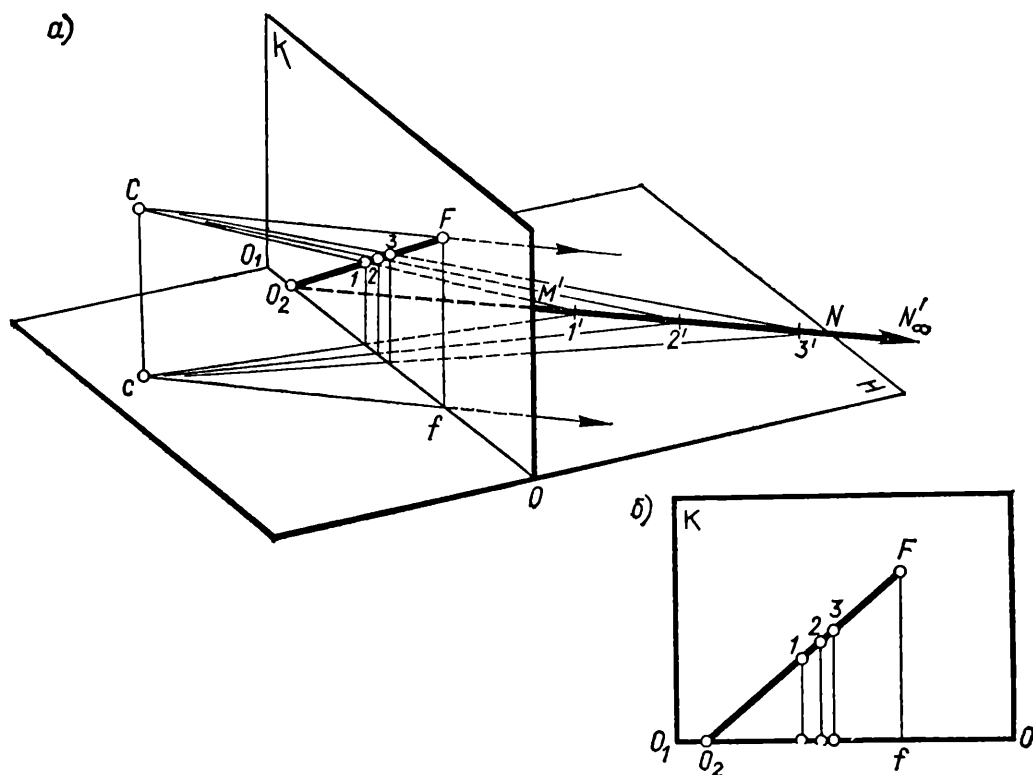


Рис. 357

Следовательно, перспектива бесконечно удаленной точки прямой $M'N_{\infty}'$ определяется на пересечении прямой CF , проведенной параллельно направлению заданной прямой с плоскостью картины. Предельная точка всегда удалена от основания OO_1 картины на расстояние, равное высоте точки зрения Cc . Продолжим прямую $M'N'$ до пересечения с картиной в точке O_2 . Точку O_2 встречи прямой с картиной называют картинным следом. Соединив картинный след O_2 с точкой F , получим на картине перспективу прямой $M'N_{\infty}'$ (рис. 357, б).

Если взять на предметной плоскости две произвольно расположенные прямые $A'A_{\infty}'$ и $B'B_{\infty}'$ (рис. 358, а) и построить на картине их предельные точки F и F_1 , то, как видно из построения, обе точки расположатся на одинаковом расстоянии от основания OO_1 картины, которое равно высоте точки зрения.

На предметной плоскости можно взять множество прямых произвольного направления, уходящих в бесконечность (рис. 358, б), предельные точки для каждой из которых располагаются на линии

hh_1 , параллельной основанию OO_1 картины. Отсюда следует, что прямая hh_1 , проведенная через предельные точки прямых, принадлежащих предметной плоскости, параллельна основанию OO_1 картины и расположена на высоте точки зрения C . Эта прямая — линия горизонта, или горизонт. Итак, линия горизонта есть предельная прямая, полученная в результате пересечения бесконечно удаленной предметной плоскости с картиной, или предельная прямая предметной плоскости.

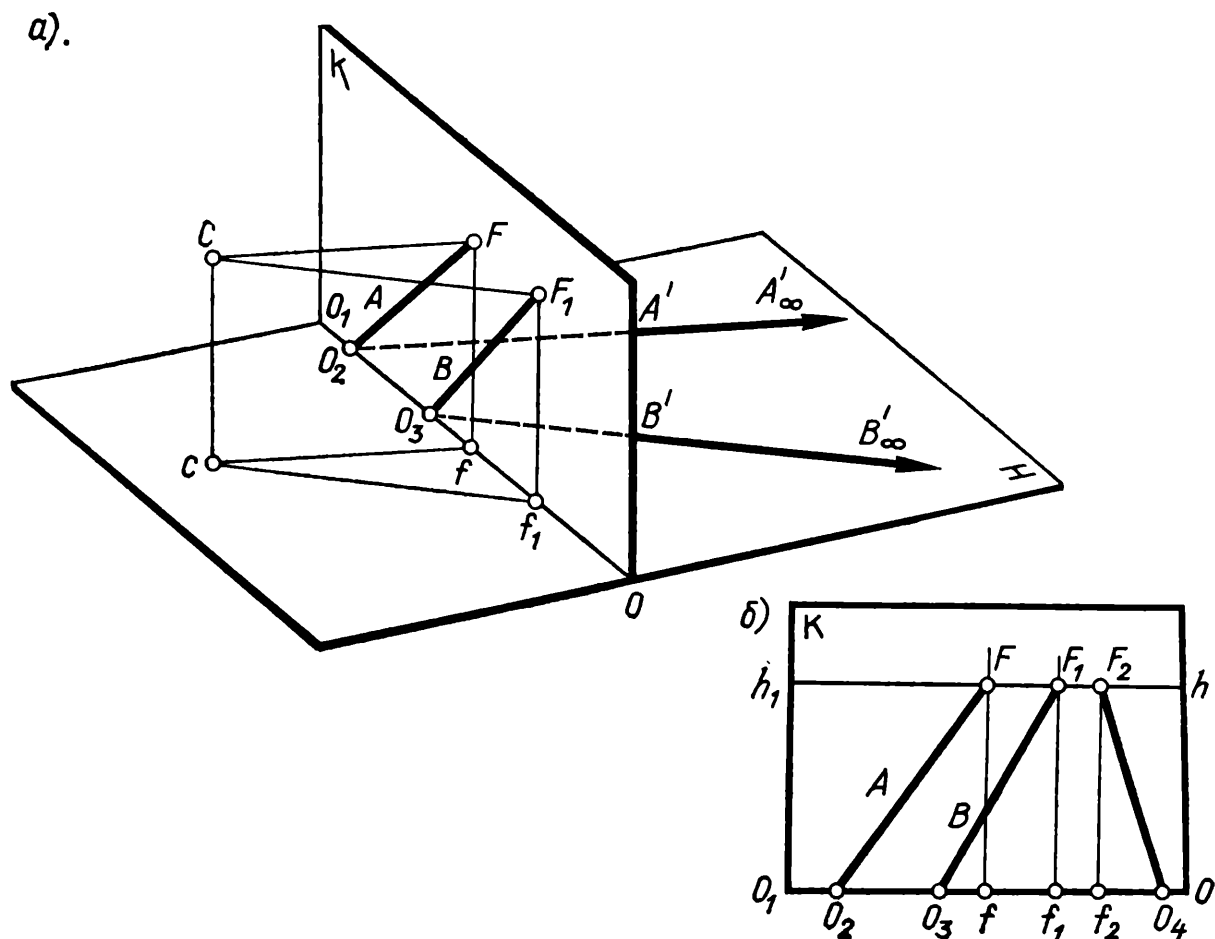


Рис. 358

Перспектива параллельных прямых. Для пучка параллельных прямых, расположенных в предметной плоскости и параллельных ей, существует одна общая предельная точка, в самом деле, если наблюдать за уходящими вдаль железнодорожными рельсами, то мы увидим, что по мере удаления расстояние между ними сокращается и рельсы кажутся сходящимися в одной точке. Точно так же все объемные предметы, окружающие нас, представляются нам с перспективным уменьшением. Это обусловлено строением органа зрения — глаза человека. Поэтому, когда художник рисует предметы, он изображает их такими, какими видит в натуре, т. е. с перспективным уменьшением.

Рассмотрим построение перспективы параллельных прямых. Возьмем на предметной плоскости две параллельные прямые $A'A_\infty'$ и $B'B_\infty'$, перпендикулярные картине и уходящие в бесконечность (рис. 359). Продолжим прямые до пересечения с основа-

нием картины и определим таким образом их картинные следы O_2 и O_3 . Проведем луч зрения из точки C параллельно заданным прямым и определим предельную точку P . Очевидно, что для двух параллельных прямых $A'A_\infty'$ и $B'B_\infty'$ предельная точка P одна. Построим перспективу каждой прямой на картине. Для этого соединим картинные следы O_2 и O_3 с предельной точкой P . На картине перспектива двух параллельных прямых получилась в

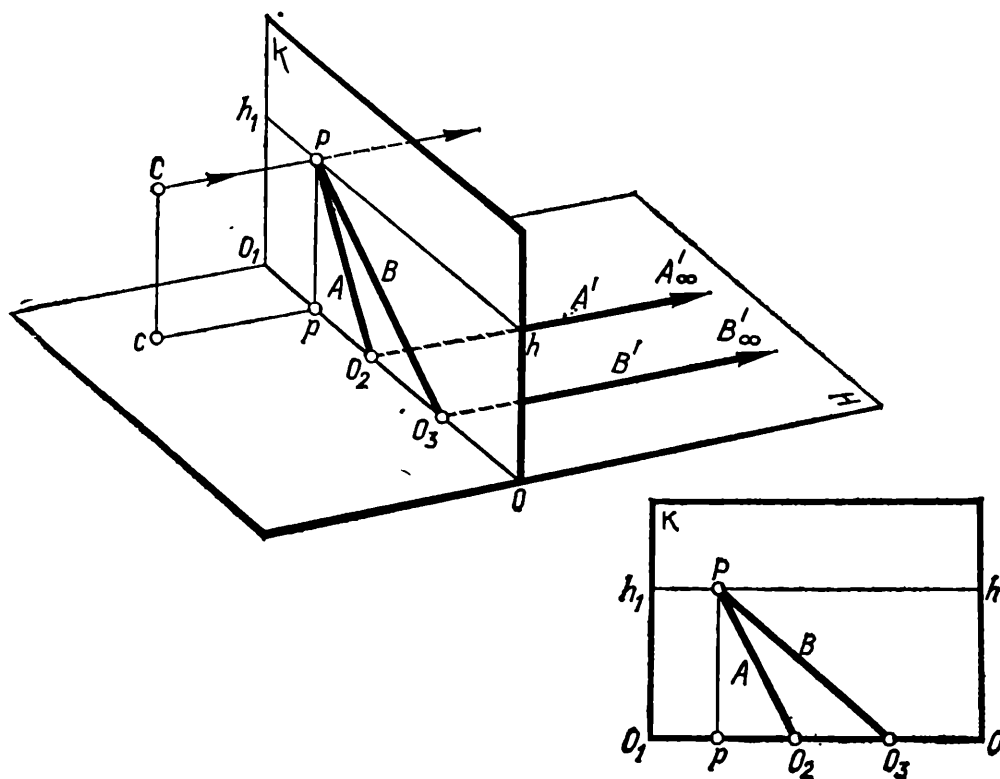


Рис. 359

виде двух прямых, сходящихся в одной точке P . Точка P является предельной точкой для всех прямых, параллельных прямым $A'A_\infty'$ и $B'B_\infty'$, расположенных между предметной плоскостью и плоскостью горизонта. Отсюда следует: если прямые в пространстве параллельны, то перспективы их проходят через общую точку схода.

Для параллельных прямых, расположенных перпендикулярно картине, точкой схода всегда является точка P , т. е. главная точка картины.

Если параллельные прямые, расположены в пространстве так, что удаляясь от предметной плоскости, они поднимаются выше линии горизонта (рис. 360, а), то такие прямые называются восходящими. Точка схода F_2' для восходящих прямых расположится выше линии горизонта на одном перпендикуляре со своей проекцией — F , которая является точкой схода для проекций t и l восходящих прямых T и L .

Построение пучка восходящих прямых строят в такой последовательности. Из точки зрения C и ее основания проводят лучи, параллельные горизонтальной проекции прямых T' и L' , до пере-

сечения с картиной в точках F на линии горизонта и в точке f на основании картины. Через точку F проводят вверх вертикальную прямую до пересечения ее с лучом, проведенным из точки зрения C параллельно прямым T' и L' . Таким образом, получим точку схода F_2' для восходящих прямых. Продолжают прямые T' и L' и их проекции t' и l' до пересечения с картиной. Получают картинные следы O_2 и O_3 и их проекции O_2 и O_3 . Картинные

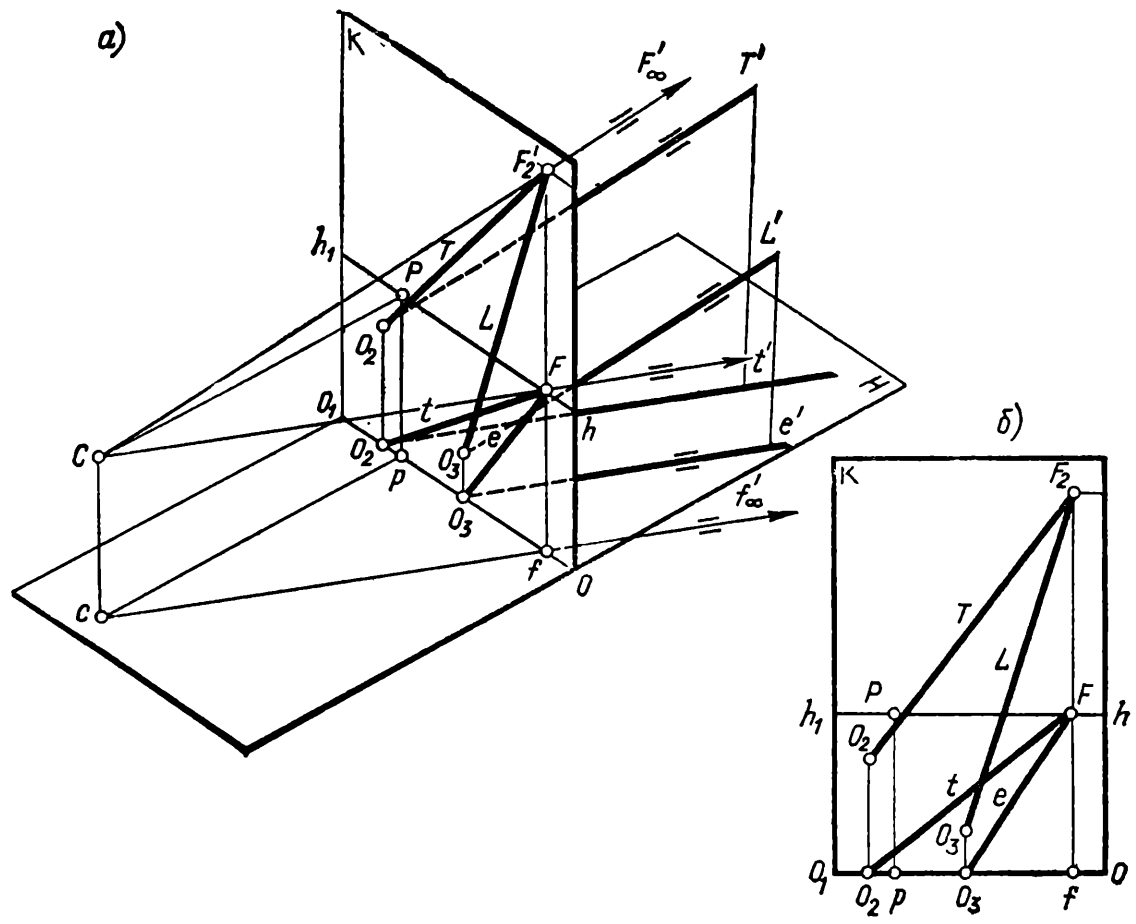


Рис. 360

следы O_2 и O_3 соединяют прямыми с точкой F_2' , а проекции картинных следов — с точкой F . На рис. 360, б показано построение перспективы тех же восходящих прямых на картине.

Если прямые расположены в пространстве так, что по мере удаления от картины они приближаются к предметной плоскости (рис. 361, а), то такие прямые называются нисходящими. Нисходящие прямые имеют предметные следы. Точка пересечения прямой с предметной плоскостью называется предметным следом. Построение перспективы нисходящих параллельных прямых выполняется в той же последовательности, что и для восходящих. Точка схода F'' для нисходящих прямых находится ниже линии горизонта в совмещенной предметной плоскости H'' (рис. 361, б).

Таким образом, точки схода перспектив восходящих прямых расположатся выше линии горизонта, а нисходящие — ниже горизонта.

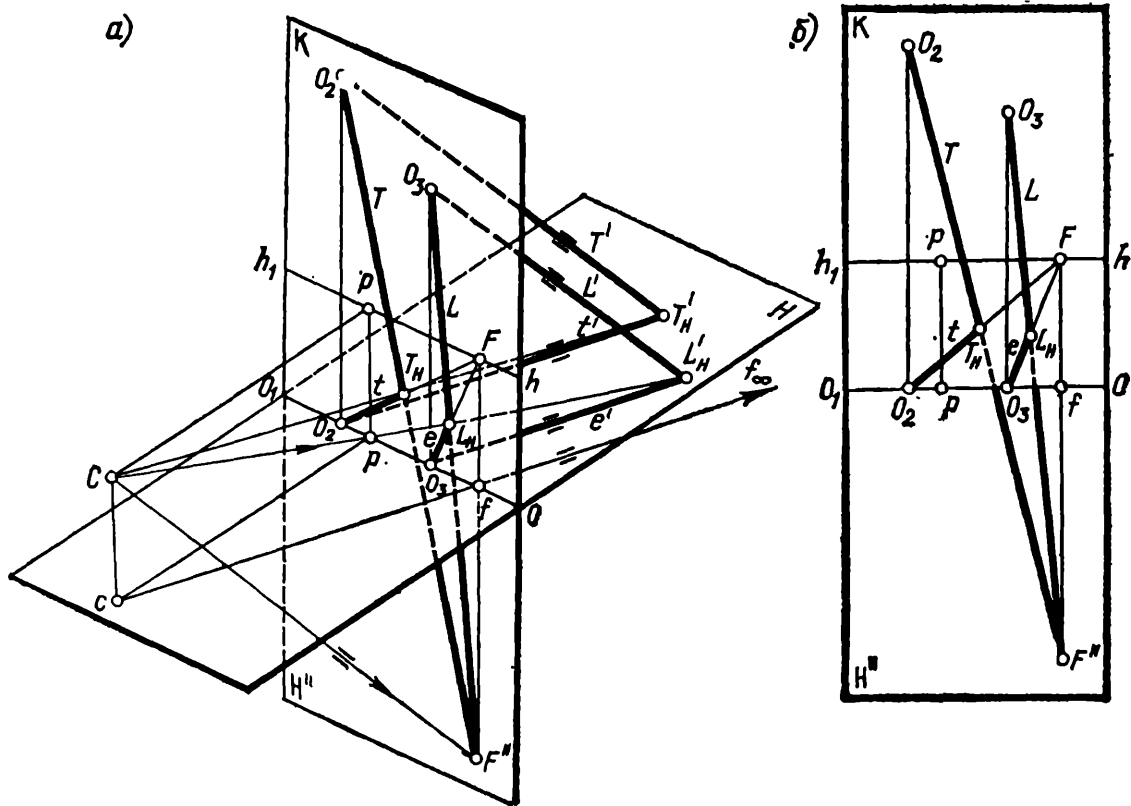


Рис. 361

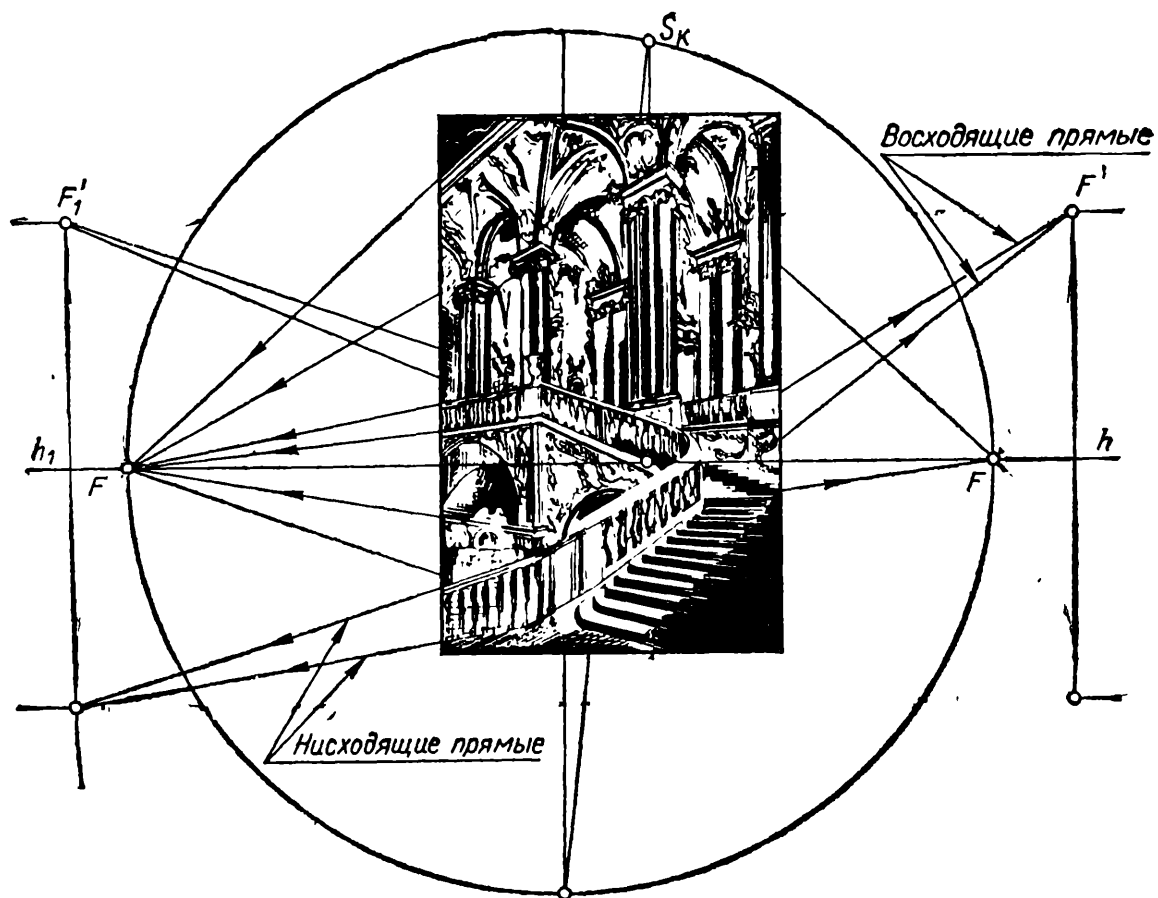


Рис. 362

Восходящие и нисходящие параллельные прямые применяют при построении перспективы лестниц и перспективы различных дорог, поднимающихся вверх или опускающихся вниз (рис. 362).

Перспектива прямых, расположенных под углом 45° к картине. Возьмем в предметной плоскости прямую O_2A_∞' , направленную к картине под углом 45° (рис. 363), и построим ее перспективу. Для

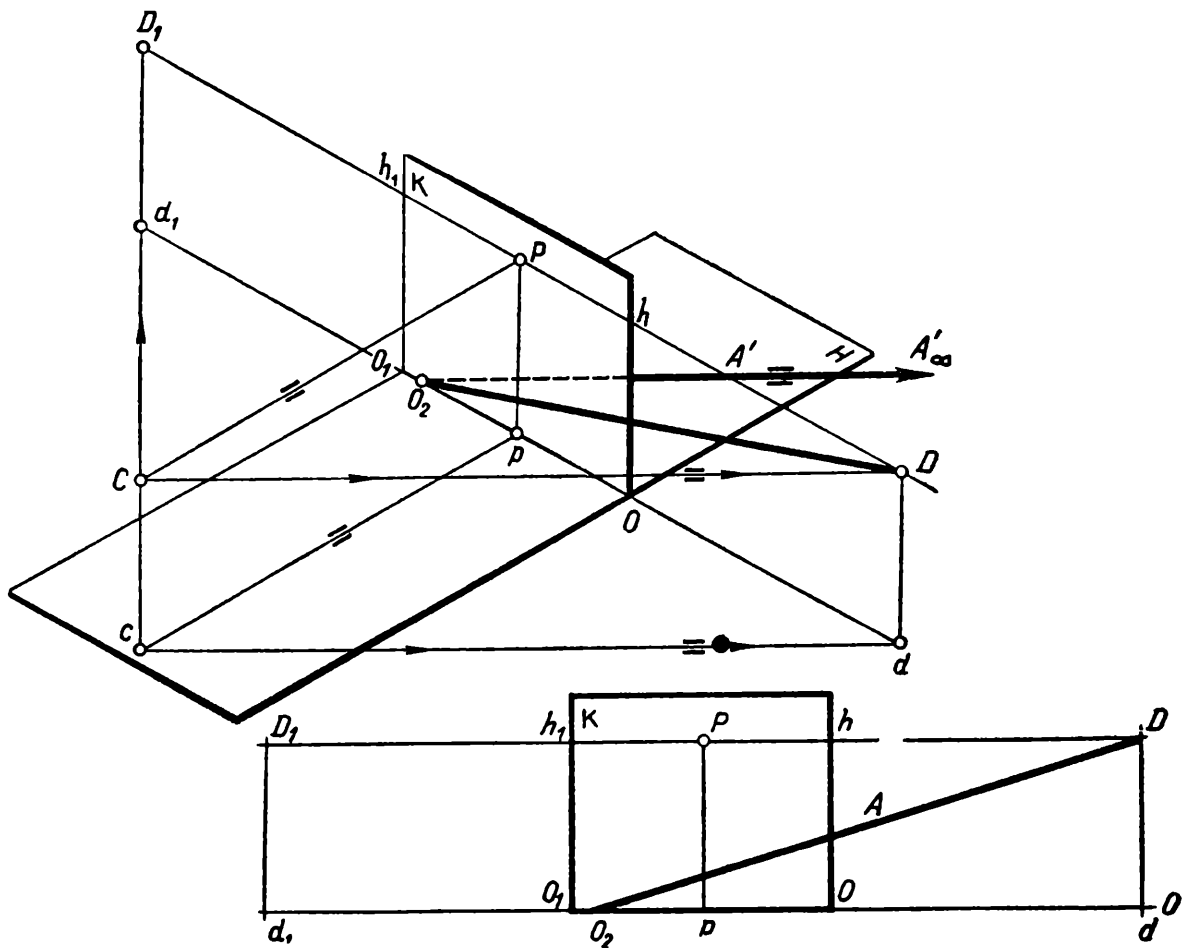


Рис. 363

этого из точки зрения C и точки стояния c проведем лучи до пересечения с картиной в точках D и d , т. е. построим перспективу предельной точки для заданной прямой. Очевидно, что сколько бы не проводили параллельных прямых под углом 45° к картине, для всех их точка D является точкой схода. Поскольку к картинной плоскости можно провести горизонтальные прямые под углом 45° в двух направлениях (влево и вправо), то на линии горизонта образуются две точки D и D_1 , служащие точками схода параллельных прямых, направленных под углом 45° к картине либо в правую, либо в левую сторону. Точки D и D_1 располагаются от точки P влево и вправо на одинаковом расстоянии, равном CP , т. е. расстоянию удаления зрителя от картины. Поэтому их называют дистанционными точками или точками отдаления. Итак, горизонтальные прямые, расположенные под углом 45° к картине, имеют точки схода D и D_1 на линии горизонта.

Для художника, работающего над перспективным изображением какого-либо объекта, весьма важным является передача зрителю правдивого, т. е. реалистического изображения, наглядно показывающего его форму, размеры и пропорции. Для этого выбор высоты линии горизонта, расстояния зрителя до картины и положение точки зрения не должны быть случайными.

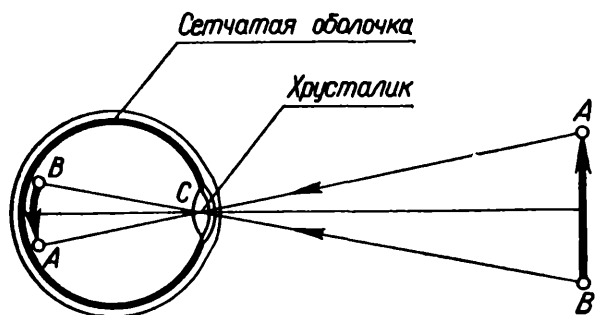


Рис. 364

Когда рисующий смотрит в одном направлении, его глаз охватывает пространство, ограниченное лучами зрения. Лучи света, отражаясь от видимых предметов, направляются в глаз и сходятся в зрачке. Преломляясь в хрусталике (рис. 364), они попадают на сетчатую оболочку глазного яблока, на которой и возникает изображение. Раздра-

жения окончаний зрительных нервов сетчатой оболочки передаются центральной нервной системе — головному мозгу, который вызывает в нашем сознании образ предмета. Таким образом, совокупность световых лучей, идущих под определенным углом в глаз человека, образует коническую поверхность. При пересечении этой поверхности плоскостью картины (рис. 365, а), направленной перпендикулярно главному лучу зрения CP , в сечении получится замкнутая кривая, ограничивающая так называемое поле зрения. Полем зрения называется плоская фигура, полученная в результате сечения конуса, образованного лучами зрения с плоскостью, направленной перпендикулярно главному лучу зрения CP . Глаз человека устроен так, что он охватывает в ширину большее пространство, чем в высоту. Угол α , образованный двумя крайними лучами зрения, ограничивающими видимое пространство в любой плоскости, рассекающей конус, называется углом зрения. Угол зрения вверх от главного луча CP составляет 45° и вниз 65° . Каждый из боковых углов зрения равен примерно 70° , следовательно, боковой охват угла равен 140° . В связи с этим поле зрения имеет форму неправильной окружности, несколько растянутой в ширину.

Для упрощения рассуждений рассмотрим поле зрения как правильную окружность, образованную пересечением прямого кругового конуса плоскостью. Допущенным несоответствием можно пренебречь. Наиболее ясно мы видим лишь в небольшой центральной части этого поля, называемой полем ясного зрения. Например, художник, работающий над росписью шкатулки, не поворачивая головы, может заметить движение, сделанное рукой сидящего рядом с ним человека.

Но если спросить, сколько показывают карандашей или кистей художнику и какой предмет находится в руке, то он должен пере-

местить взгляд на предмет и только тогда сможет дать верный ответ. Иначе говоря, человеческий глаз может заметить присутствие предмета, расположенного в некоторой периферийной точке поля зрения, но чтобы различать детали, они должны быть расположены в поле ясного зрения. Поле ясного зрения определяется углом в 28° (рис. 365, б), при $CP=2AB$. Отсюда следует, что точка C должна быть удалена от картины примерно на удвоенную ее высоту. Натура также должна находиться в пределах ясного поля зрения, т. е. рисующий должен стоять или сидеть на расстоянии двукратной высоты от нее. Для построения изображений отдельных предметов и композиций на открытом воздухе принято назначать угол в пределах $28...37^\circ$, а для построения перспектив интерьеров — до 53° .

На основании сказанного, картина $ABED$ (рис. 365, а) всегда должна вписываться в поле зрения независимо от формы.

Если размер диагонали картины удвоить, то получится угол зрения, примерно 28° . Поэтому на картине точки отдаления D и D_1 должны располагаться от точки P на расстоянии двух ее диагоналей. При рассматривании картины на художественной выставке зрителю необходимо отойти от нее также на расстояние двух диагоналей. В этом случае картина попадет в ясное поле зрения.

При рисовании с натуры или составлении композиции картины большое значение имеют три элемента картины, тесно взаимосвязанные между собой: расстояние зрителя до картины; положение линии горизонта; положение главной точки картины P . При изменении положения хотя бы одного из элементов перспективное изображение меняется.

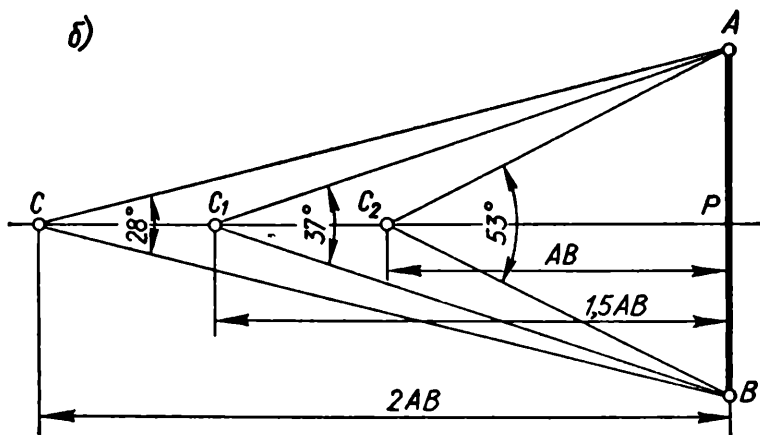
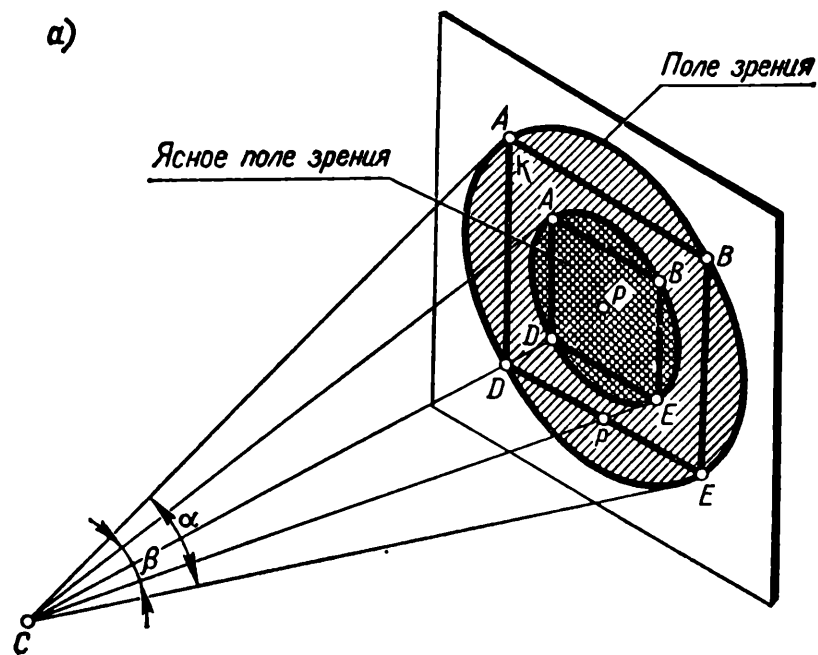


Рис. 365

Положения линии горизонта и главной точки картины определяются самим художником в зависимости от сюжета композиции. При высоком горизонте предметы (объекты) рассматриваются как бы с птичьего полета и кажутся уменьшенными, при низком горизонте предметы увеличиваются, например колонны здания и т. д.

Зрительное восприятие окружающего человека мира процесс весьма сложный. Этот процесс обусловлен различными факторами геометрического, физического и психологического характера. Перспективное построение базируется лишь на одном из этих факторов — геометрической основе, поэтому нет оснований требовать полной аналогии восприятия природы и перспективного изображения на плоскости картины. Кроме того, человек видит двумя глазами бинокулярно, а перспективные проекции строятся монокулярно, т. е. имеют одну точку зрения.

Желание получить изображение на картине более близкое к натуре заставляет художника ограничивать угол зрения. Однако даже это условие не снимает в полной мере расхождения между перспективой предмета и восприятием его в натуре. Таким образом, художник, вооруженный знаниями построений перспективных проекций, при работе над композицией или при рисовании с натуры вносит некоторые поправки, обусловленные его зрительным восприятием окружающей действительности.

§ 61. ПЕРСПЕКТИВА УГЛОВ

Допустим, что на предметной плоскости H задан произвольный угол двумя пересекающимися прямыми B^1 и E^1 . (рис. 366, а). Необходимо построить перспективу заданного угла.

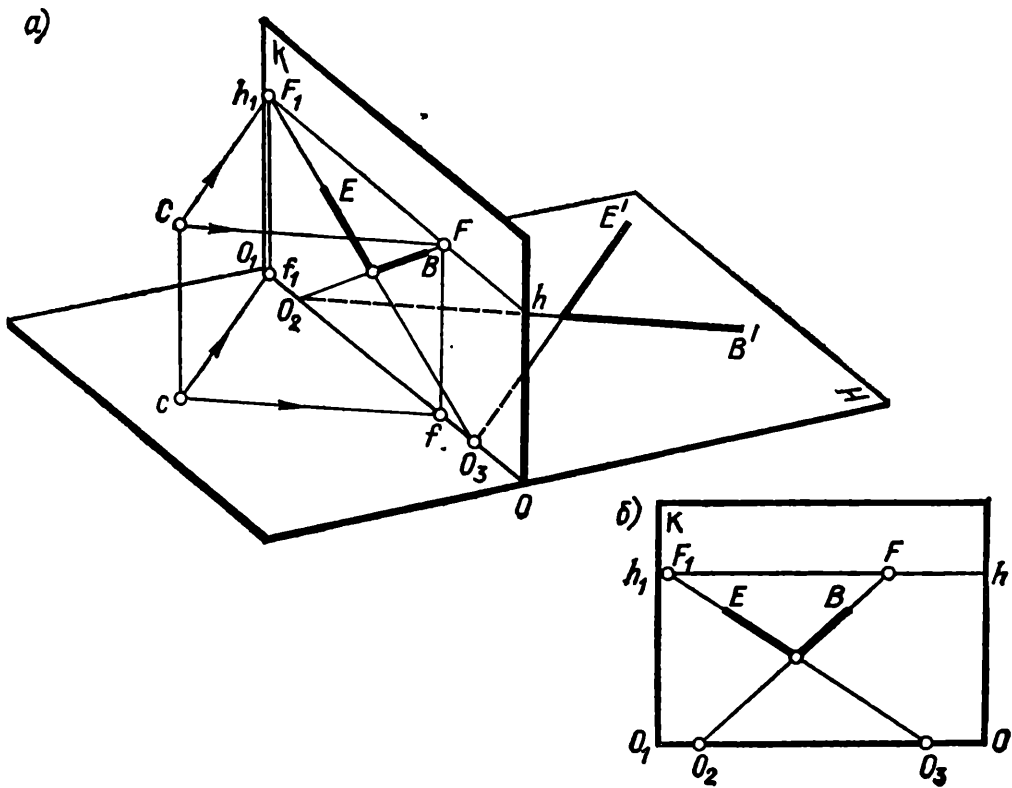


Рис. 366

Продолжим прямые до пересечения с основанием картины в точках O_2 и O_3 , т. е. определим картинные следы прямых. Из точки зрения C проведем лучи параллельно сторонам угла до пересечения с картиной в точках F и F_1 . Полученные точки F и F_1 являются предельными точками прямых E' и B' . Построим перспективу прямых E' и B' . Для этого соединим прямой точку O_2 с точкой F и точку O_3 с точкой F_1 . Перспектива вершины угла получится на пересечении прямых O_2F и O_3F_1 . На рис. 366, б показано построение перспективы угла на картинной плоскости.

Перспективные проекции углов и других фигур строят на совмещенных с картиной плоскостях. Чтобы нагляднее представить совмещение плоскостей в одну плоскость, обратимся к проецирующему аппарату (рис. 367).

Предметную плоскость повернем вниз вокруг основания OO_1 на угол 90° до совмещения ее с плоскостью картины (рис. 367). Совмещенную предметную плоскость обозначим H'' . Точки и их основания при совмещенном положении предметной плоскости с картиной обозначим теми же буквами, что и на картине с добавлением штрихов A'' , B'' , a'' , b'' и т. д. Плоскость горизонта CDD_1 , проходящую через точку

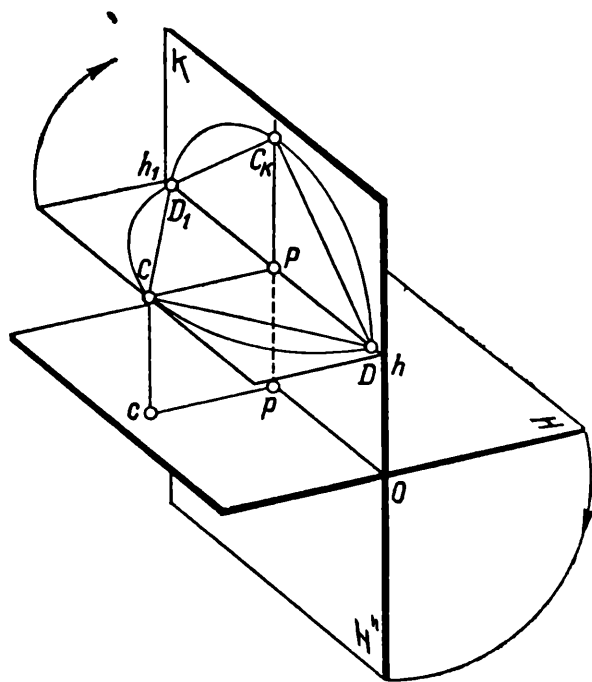


Рис. 367

C и линию горизонта hh_1 , повернем вокруг линии hh_1 на угол 90° до совмещения с картиной K . Вместе с плоскостью горизонта повернется на угол 90° точка зрения C . Совмещенную точку зрения обозначим C_k , а главный луч зрения в совмещенной плоскости — PC_k . Дистанционные точки D и D_1 , а также главная точка P при совмещении плоскостей своего положения не меняют.

Рассмотрим, как изображается перспектива точки на совмещенной плоскости. Пусть в предметной плоскости H лежит некоторая точка $A' \equiv a'$ (рис. 368, а), которую необходимо построить в перспективе. Из заданной точки $A' \equiv a'$ опустим перпендикуляр $A'O_2$ к основанию картины OO_1 . Прямая $A'O_2$ параллельна главному лучу CP ; ее предельная точка есть точка P . Перспектива прямой $A'O_2$ изобразится на картине с отрезком O_2P , на котором должна лежать перспектива точки $A' \equiv a'$. Проведем из точки зрения луч в точку $A' \equiv a'$. Этот луч пересечет прямую O_2P в точке $A \equiv a'$. При совмещении предметной плоскости с картинной вместе с ней переместится точка $A' \equiv a'$, которая после совмещения расположится на перпендикуляре O_2A'' к основанию картины OO_1 . Если из совмещенной точки зрения C_k провести луч в точку $A'' \equiv a''$, то он непременно пересечет прямую O_2P в точке $A \equiv a$, кото-

рая является перспективой точки A' . Следовательно, между точкой $A' \equiv a'$ на предметной плоскости H и изображением ее на картине установилось так называемое перспективное соответствие.

На развернутых плоскостях перспектива точки A_a' строится в такой же последовательности, как и на проецирующем аппарате

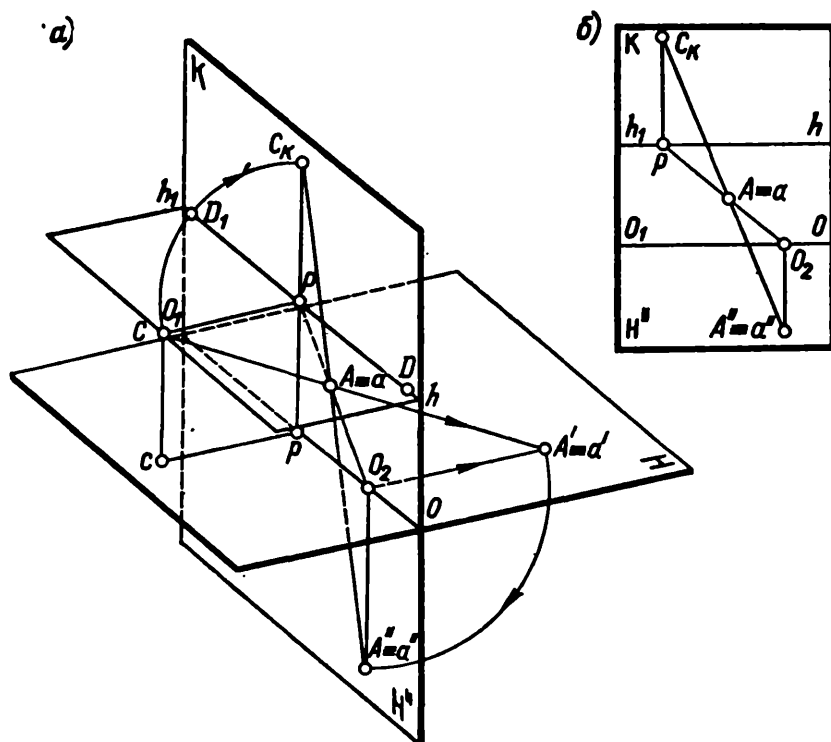


Рис. 368

(рис. 368, б). Итак, перспектива точки A' определится на пересечении луча $C_K A'' \equiv a''$ прямой $O_2 P$. Таким образом можно построить на картине перспективу любой точки, расположенной в совмещенной предметной плоскости H'' , а следовательно, и перспективу прямой, плоской фигуры и т. д.

Рассмотрим построение перспективы угла, заданного пересекающимися прямыми L'' и Q'' , лежащими в совмещенной предметной плоскости H'' (рис. 369).

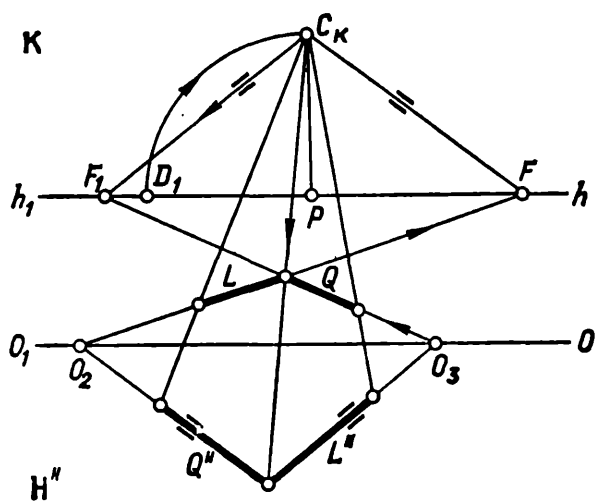


Рис. 369

На картине заданы главная P и дистанционная D_1 точки. Определим совмещенную точку зрения C_K . Для этого из точки P восставим перпендикуляр и пересечем его дугой PD_1 , приняв за центр вращения точку P . Продолжим прямые L'' , Q'' до пересечения с основанием OO_1 картины в точках O_2 и O_3 . Из точки C_K проведем две прямые $C_K F_1$ параллельно стороне L'' и $C_K F$ параллельно Q'' . Таким образом, на линии горизонта найдем предель-

ные точки F и F_1 . Перспектива угла определится на пересечении прямых O_2F_1 и O_3F . Перспективное изображение угла на картине получилось перевернутым, так как угол задан в совмещенной предметной плоскости H'' .

В совмещенной предметной плоскости можно задавать не только углы, но и любые плоские фигуры и строить их перспективы.

Контрольные вопросы. 1. Что называется перспективой? 2. В чем заключается основной закон перспективы? 3. В чем сущность метода центрального проецирования? 4. Из каких элементов состоит проецирующий аппарат? 5. Как изображаются на картине прямые, перпендикулярные к картинной плоскости? 6. Как изображается перспектива горизонтальных прямых, параллельных картине? 7. Как изображаются на картине прямые, перпендикулярные предметной плоскости? 8. Какая точка называется предельной точкой прямой? 9. Как обозначается точка схода для горизонтальных прямых, составляющих с картиной угол 45° ? 10. Каким отрезком измеряется расстояние зрителя до картины? 11. Что называется углом зрения? 12. Что называется полем ясного зрения? 13. Как строится перспектива угла, произвольно расположенного в предметной плоскости?

Глава 17

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАСШТАБЫ

§ 62. МАСШТАБЫ ГЛУБИНЫ, ШИРИНЫ И ВЫСОТЫ

Предметы, окружающие человека в пространстве, имеют три измерения: глубину, ширину и высоту. При построении перспективы различных фигур применяют так называемые перспективные масштабы. Перспективные масштабы позволяют выполнять на картинной плоскости перспективные изображения не только плоских, но и объемных фигур. В перспективе, т. е. на картине, изображаются не действительные размеры предметов, а только их пропорциональные отношения.

Поскольку отрезки, лежащие непосредственно на картине, совпадают со своими проекциями, то за натуральные размеры отрезков возьмем отрезки, расположенные на плоскости картины. Натуральные размеры отрезков удобнее располагать на основании картины и ее боковых сторонах.

В предметном пространстве измерения можно выполнять по трем направлениям: перпендикулярно картинной плоскости; параллельно основанию картины; перпендикулярно предметной плоскости.

Масштаб глубины. Масштаб, построенный на прямой, перпендикулярной картине, называется масштабом глубины.

На картине задана перспектива точки A , расположенной на прямой O_2P (рис. 370, а). Требуется от точки A отложить отрезок AB , равный отрезку L . Чтобы лучше понять сущность построения перспективного масштаба глубины, обратимся к решению этой же задачи, построенной в натуре по правилам геометрии (рис. 370, б).

Начертим две перпендикулярные прямые, пересекающиеся в точке 1. На вертикальной прямой возьмем точку А. Рядом с горизонтальной прямой начертим отрезок L. Через точку А проведем прямую под углом 45° к горизонтальной прямой до пересечения ее в точке 2. От точки 2 отложим вправо отрезок 2—3, равный L.

Через точку 3 проведем прямую, параллельную прямой 2—А до пересечения с вертикальной прямой в точке В. Отрезок АВ равен отрезку 2—3, так как оба отрезка лежат на сторонах прямого угла и расположены на одинаковом расстоянии от его вершины.

Построение перспективы отрезка АВ, равного отрезку L, выполним по такому же принципу. Через точки А и D₁ проведем прямую до пересечения с основанием картины в точке O₃ (рис. 370, в), т. е. прямую O₃D₁ под углом 45° к картине. От точки O₃ вправо на основании картины отложим отрезок O₃—O₄, равный отрезку L. Через точку O₄ проведем прямую в точку D₁. Прямая O₄D₁ пересе-

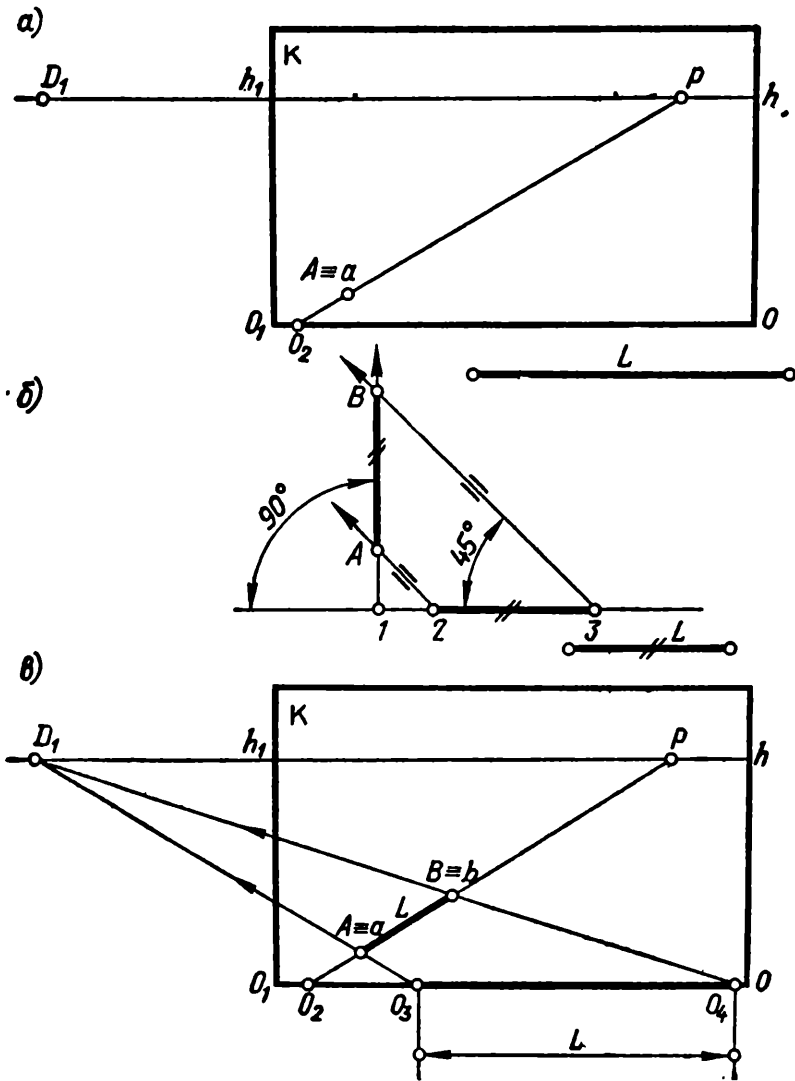


Рис. 370

чается с прямой O₂P в точке В. Отрезок АВ равен отрезку O₃O₄ и, следовательно, отрезку L.

Рассмотренный способ измерения отрезка в глубину картины позволяет выполнять обратную задачу, т. е. измерять перспективу отрезка по заданному линейному масштабу.

На картине задана перспектива отрезка АВ (рис. 371). Требуется измерить его размер, используя для этого линейный масштаб (0, 1, 2, 3, 4).

Через концы отрезка АВ проведем прямые в точку D и продолжим прямые до пересечения с основанием картины в точках O₄ и O₃. Отрезок O₄O₃ представляет размер отрезка АВ. Измерив отрезок O₄O₃ по линейному масштабу, получим размер отрезка АВ в масштабе, т. е. в метрах.

При выполнении перспективных построений пользуются дроб-

ными дистанционными точками, которые дают возможность художнику выполнять все построения, не выходя за рамку картины.

Предположим, что на прямой O_2P задана перспектива некоторого отрезка $O_2A \equiv a$ (рис. 372). На картине заданы точки P и D_1 . Требуется определить натуральные размеры отрезка $O_2A \equiv a$ с помощью дробных дистанционных точек. Определим натуральный

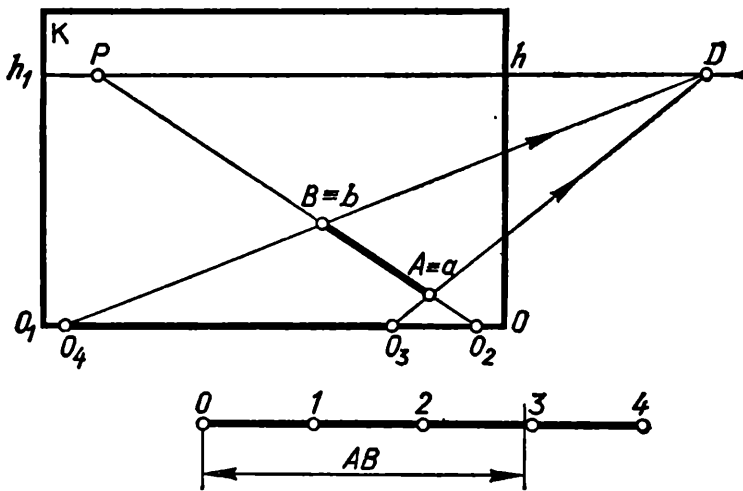


Рис. 371

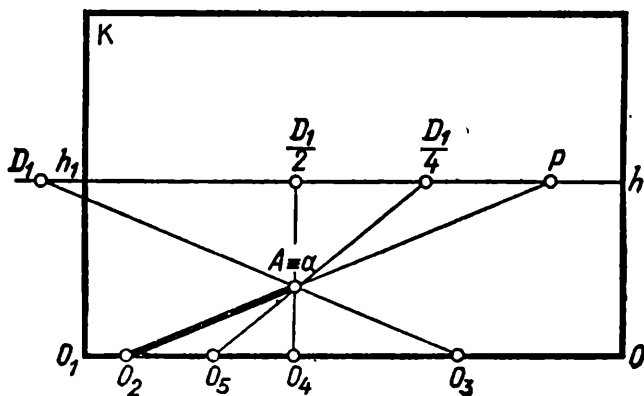


Рис. 372

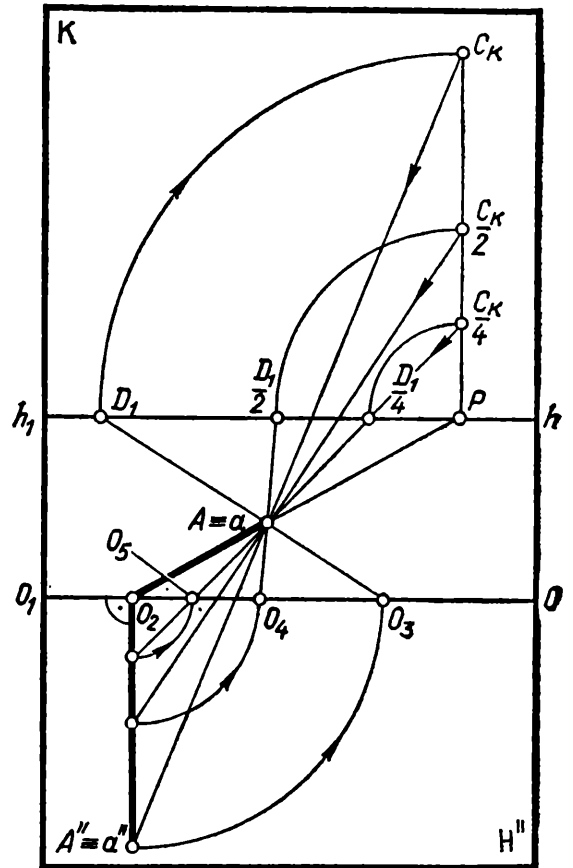


Рис. 373

размер отрезка O_2A с помощью точки D_1 . Точку D_1 соединим прямой с точкой A и продолжим прямую до основания картины в точке O_3 . Отрезок O_2O_3 представляет собой размер отрезка O_2A . Для определения дробной дистанционной точки — $D_1/2$ надо разделить отрезок PD_1 пополам в точке $D_1/2$. Отрезок O_2O_3 необходимо также разделить пополам — точка O_4 . Проведем прямую $O_4—D_1/2$, которая пройдет через точку $A \equiv a$. Таким образом, при использовании дробных дистанционных точек, например, $D_1/2$ необходимо натуральный размер отрезка сокращать вдвое. Учитывая, что расстояние зрителя до картины берется примерно не менее двух диагоналей картины, нетрудно представить положение на картине дробной дистанционной точки $D_1/2$. Если разделить отрезки $D_1/2—P$ и O_2O_4 еще раз пополам, то получим точки $D_1/4$ и O_5 , которые соединим прямой $D_1/4—O_5$. Итак, дробными дистанционными точками можно

пользоваться как точками схода линий переноса натурального масштаба.

Следует заметить, что дробные дистанционные точки не являются точками схода для параллельных прямых. На совмещенных плоскостях дистанционные точки расположатся в перспективном соответствии, как показано на рис. 373.

Масштаб ширины. Масштаб, построенный на прямой, расположенной параллельно основанию картины, называется масштабом ширины.

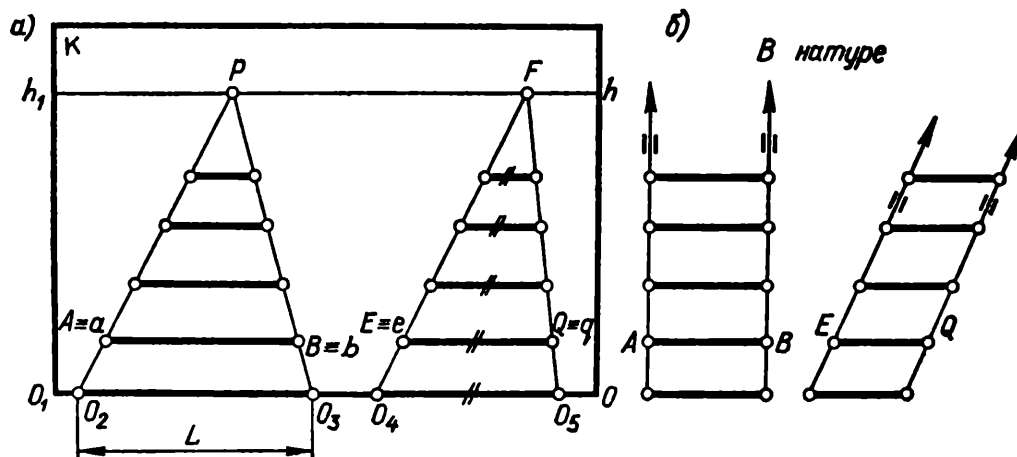


Рис. 374

На основании картины возьмем произвольный отрезок O_2O_3 заданной длины (рис. 374, а). Соединим концы отрезка с точкой P . Получим две параллельные прямые, перпендикулярные основанию картины. На прямой O_2P возьмем произвольную точку A и проведем через нее прямую, параллельную основанию картины. Прямая пересечет прямую O_3P в точке B . Перспектива отрезка AB равна отрезку O_2O_3 по масштабу ширины, поскольку фигура O_2ABO_3 представляет собой перспективу прямоугольника. Следовательно, отрезки, проведенные между параллельными прямыми O_2P и O_3P параллельно основанию картины, все равны между собой.

Перспективный масштаб ширины сохраняется и для параллельных прямых, проведенных через произвольную точку схода F . В этом случае фигура O_4EQO_5 является перспективой параллелограмма. На рис. 374, б выполнено то же построение в натуре по правилам геометрии.

На картине заданы три параллельные прямые O_2F , O_3F и O_4F , расположенные в предметной плоскости под произвольным углом к картине. Прямая MN пересекает заданные прямые в точках 1, 2, 3 (рис. 375, а). Требуется провести прямые, параллельные заданным так, чтобы расстояние между ними было одинаковым. Построение выполнить, не выходя за рамку картины.

Для решения задачи используем масштаб ширины. Продолжим прямую MN вправо. От точки 3 отложим на прямой MN отрезки 3—4, 5—6, 7—8, 8—9, равные отрезкам 1—2 и 2—3. Через точки 4, 5, 6, 7, 8, 9 проведем прямые в точку F и продолжим их до пере-

сечения с картиной. Прямые $F-4$, $F-5$ и т. д. параллельны прямым O_2F , O_3F , O_4F .

На рис. 375, б показано то же построение, выполненное в натуре по правилам геометрии.

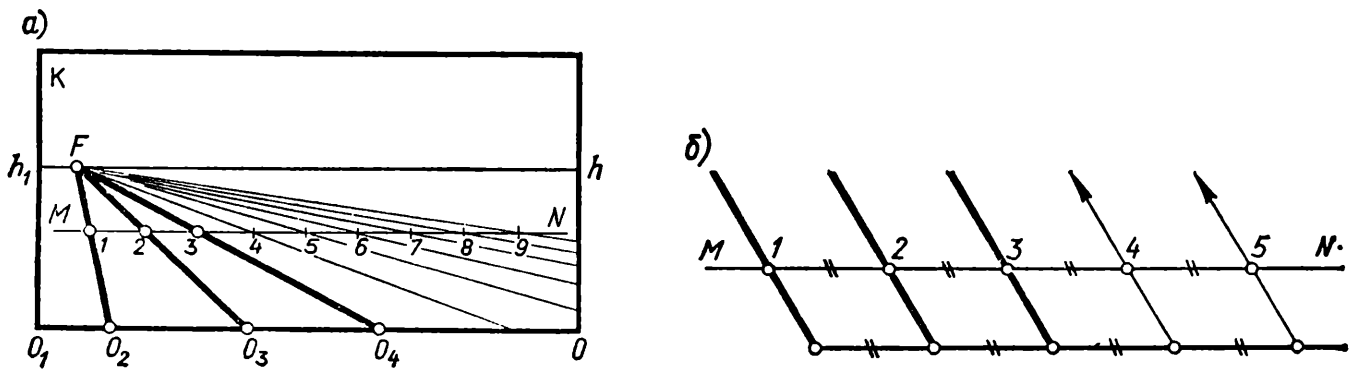


Рис. 375

Масштаб высоты. Масштаб, построенный на прямой, перпендикулярной предметной плоскости, называется масштабом высоты.

Возьмем на основании картины произвольную точку O_2 (рис. 376) и восставим из нее перпендикуляр O_2A к основанию картины. Через точки O_2 и A проведем две параллельные прямые в произвольную точку схода F . Очевидно, что любой отрезок, проведенный параллельно отрезку O_2A между параллельными прямыми AF и O_2F , равен отрезку O_2A .

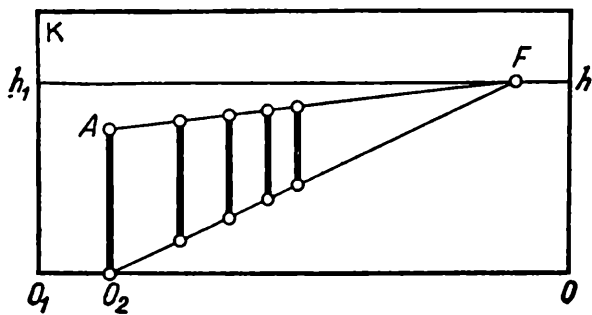


Рис. 376

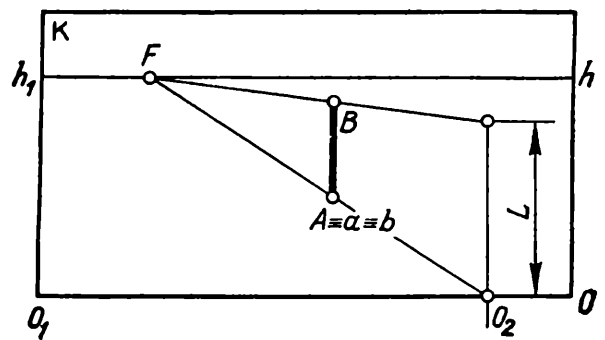


Рис. 377

Предположим, что на картине задана перспектива отрезка AB (рис. 377). Требуется определить его натуральный размер. Для решения задачи используем масштаб высоты.

Через концы отрезка проведем две параллельные прямые в произвольную точку схода F . Продолжим прямую FA до основания картины в точке O_2 . Из точки O_2 проведем вверх перпендикуляр до пересечения его с прямой FB . Полученный на картине отрезок L искомый.

**§ 63. ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ДЕЛИТЕЛЬНЫЙ МАСШТАБ ДЛЯ ПРЯМЫХ,
РАСПОЛОЖЕННЫХ В СЛУЧАЙНОМ ПОВОРОТЕ
К КАРТИНЕ**

Для определения натуральных размеров отрезков, расположенных на прямых случайного направления, применяют так называемые масштабные точки (или точки измерения), обозначаемые буквами M и N .

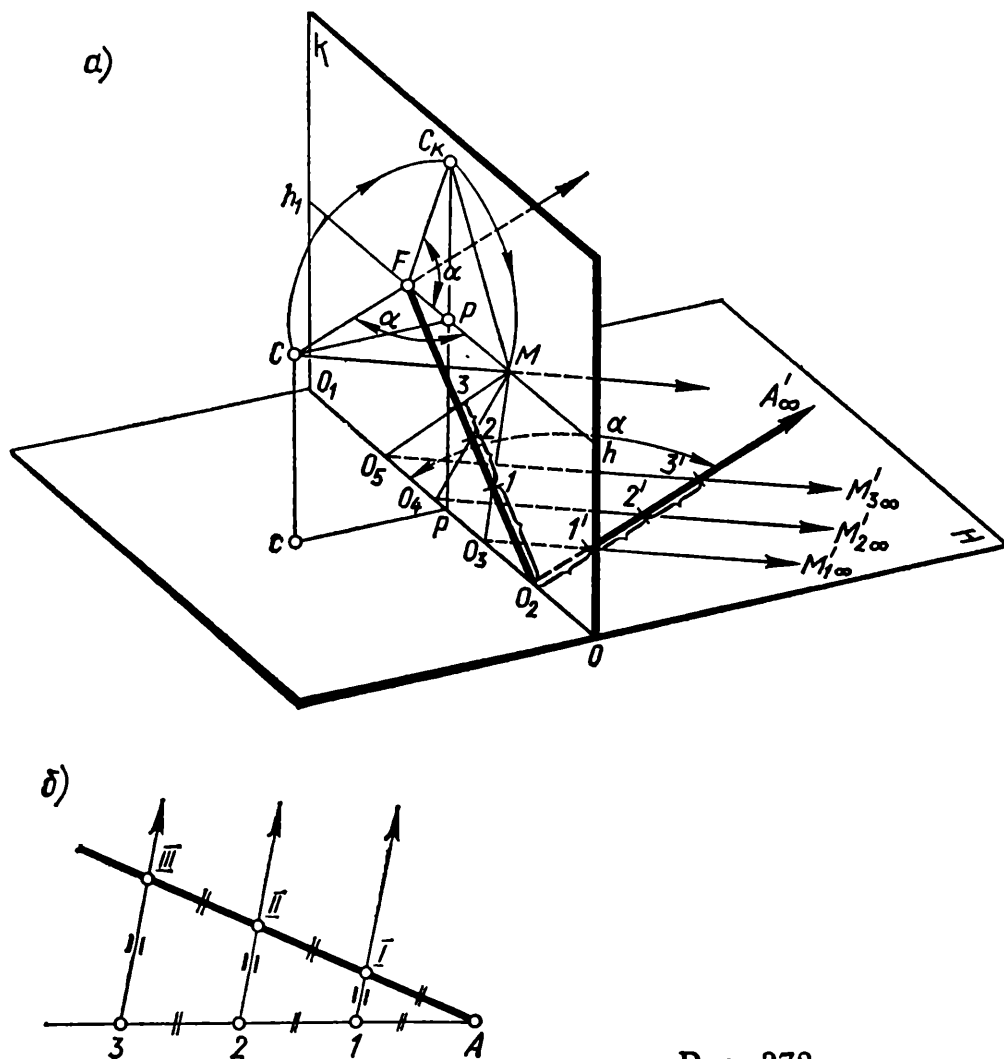


Рис. 378

Масштабными называются точки схода перспектив параллельных прямых, одинаково наклоненных как к измеряемой прямой, так и к картинной плоскости.

Чтобы лучше представить получение натуральных размеров отрезков на прямых произвольного направления, обратимся к проектирующему аппарату (рис. 378, *a*). На предметной плоскости задана прямая $O_2A'_\infty$. Требуется отложить на ней от точки O_2 равные между собой отрезки. Для этого на основании картины от точки O_2 отложим три произвольных, но равных между собой, отрезка $O_2—O_3$, $O_3—O_4$ и $O_4—O_5$. Точно такие же отрезки отложим на прямой $O_2A'_\infty$, т. е. отрезки $O_2—1'$, $1'—2'$, $2'—3'$. Через точки $1'$, $2'$, $3'$ проведем параллельные прямые $O_3—1'$, $O_4—2'$, $O_5—3'$ и продолжим их, как показано на рис. 378, *a*. Построим на картине

перспективу прямой $O_2A'_\infty$. Далее из точки зрения C проведем луч, направленный параллельно прямой $O_3M'_{1\infty}$, до пересечения с картиной в точке M . Точка M является точкой схода для параллельных прямых O_3-1' , O_4-2' , O_5-3' . Построим перспективу прямых $O_3-M'_{1\infty}$, $O_4-M'_{2\infty}$, $O_5-M'_{3\infty}$. Эти прямые пересекутся с прямой O_2F в точках $1, 2, 3$. Полученные перспективы отрезков O_2-1 , $1-2$ и $2-3$ равны отрезкам O_2-1' , $1'-2'$, $2'-3'$.

Образовавшийся в плоскости горизонта треугольник FCM подобен треугольнику O_3O_21' , следовательно, и треугольникам O_4O_22' и O_5O_23' , поскольку стороны их попарно параллельны. Из построения видно, что соотношение между размерами отрезка O_2-1 в перспективе и отрезка O_2-1' в предметном пространстве будет масштабом для отрезка случайного направления. Точку M принято называть масштабной точкой или точкой измерения.

Если в предметном пространстве заданы две параллельные прямые случайного направления, лежащие в предметной плоскости, то для каждой из них должна быть своя масштабная точка M или N .

На рис. 378, б показано то же построение, выполненное в натуре. Из построения видно, что образовавшиеся все три треугольника между собой подобны. Сторона $A-3$ равна стороне $A-III$. Стороны $A-2=A-II$, $A-1=A-I$. Сторона $1-I \parallel 2-II$, $2=II, \parallel 3-III$.

Повернем плоскость горизонта и вместе с ней треугольник CFM вокруг линии hh_1 при совмещении с картиной. Предметную плоскость H повернем вместе с расположенной в ней прямой $O_2A'_\infty$ вокруг основания картины. Таким образом получим чертеж (рис. 379), на котором все три плоскости совместились в одну. Если из совмещенной точки зрения C_K провести луч в точку $2''$, расположенную на заданной совмещенной прямой $O_2A''_\infty$, то этот луч C_K-2'' , пересечется с перспективой прямой O_2F в точке 2 . Отсюда следует, что при указанном совмещении между точками предметной плоскости и картины устанавливается перспективное соответствие.

Итак, чтобы отложить на прямой, расположенной в предметной плоскости в случайном повороте к картине, перспективно равные между собой отрезки, необходимо продолжить заданную прямую до линии горизонта (рис. 379), т. е. найти ее предельную точку F . Затем определить на картине совмещенную точку зрения C_K и масштабную точку M . Масштабную точку располагают на линии горизонта в точке M . Точку M получают путем пересечения линии горизонта дугой радиусом FC_K , проведенной из точки M . Далее на основании картины от точки O_2 откладывают заданные размеры отрезков и соединяют концы отрезков с масштабной точкой M . На прямой O_2F отсекаются равные между собой искомые отрезки.

Способы изображения перспективных масштабов, а также применение масштабных точек для прямых произвольного направления, дают возможность выполнять на картине любые пространственные фигуры по заданным их размерам.

Предположим, что на картине даны перспективы отрезка AB (рис. 380), точка P и точка D_1 . Требуется отложить на отрезке от точки A отрезок AE , равный 1 м.

Ниже основания картины начертим линейный масштаб. Продолжим отрезок AB до пересечения с линией горизонта в точке F . Определим совмещенную точку зрения C_K . Для этого из точки F проведем дугу радиусом FC_K до пересечения ее с линией горизонта в точке M . Сое-

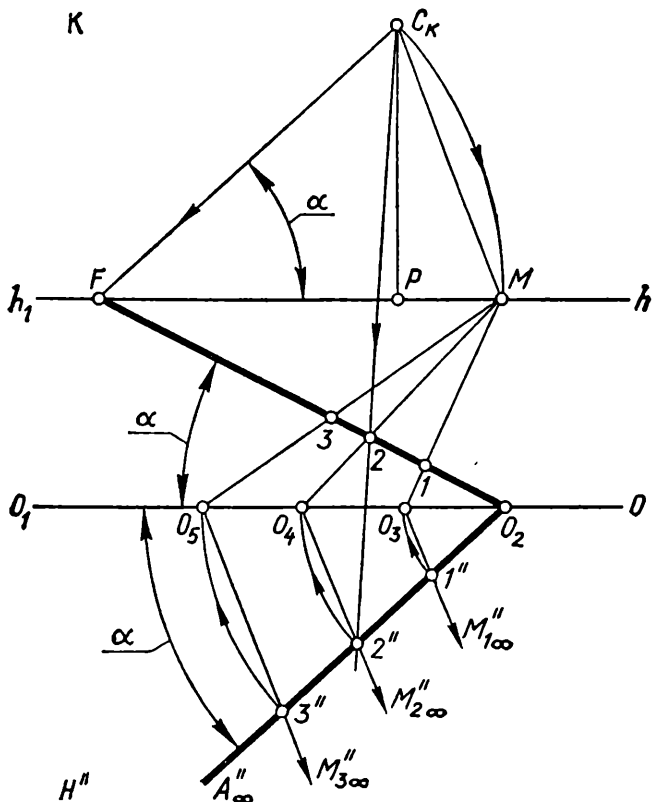


Рис. 379

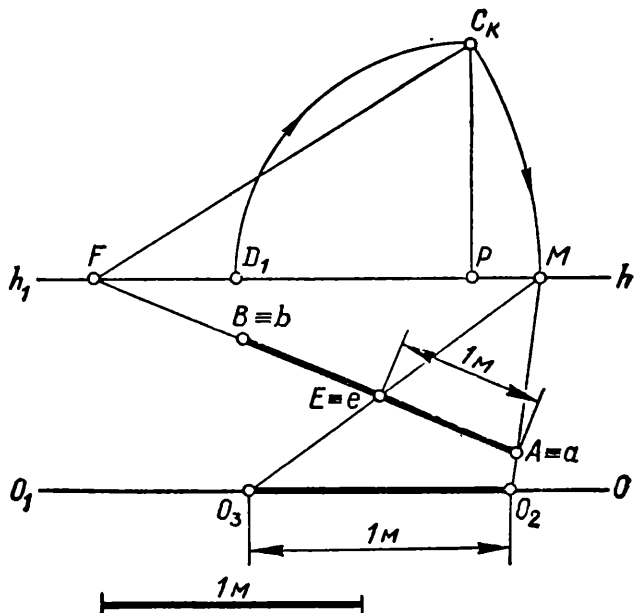


Рис. 380

диним прямой точки M и A . Продолжим прямую MA до пересечения с основанием картины в точке O_2 . От точки O_2 отложим на основании картины отрезок O_2O_3 , равный 1 м. Через точку O_3 проведем прямую в точку M . Прямая O_3M пересечет отрезок AB в точке E . Отрезок AE равен 1 м.

§ 64. ДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ОТРЕЗКА НА РАВНЫЕ ЧАСТИ

При построении перспективных изображений пространственных фигур часто необходимо разделить отрезок на равные части. Допустим, что на картине задана перспектива отрезка AB (рис. 381), лежащего в предметной плоскости. Отрезок AB необходимо разделить на три равные части. Проведем через точку A прямую AN параллельно основанию картины. На линии горизонта возьмем произвольную точку схода F . Через точки F и B проведем прямую до пересечения с прямой AN в точке $З$. Затем разделим прямую $A—З$ на три равные части точками $1, 2$ и проведем через эти точки параллельные прямые в точку F . Параллельные прямые отсекут на отрезке AB равные между собой отрезки, т. е. делят отрезок AB на три равные части.

Сущность рассмотренного способа деления отрезка на равные части сводится к рассечению перспективы сторон плоского угла ABN параллельными прямыми $1-F, 2-F, 3-F$.

На картине задана перспектива отрезка AB общего положения (рис. 382). Требуется разделить его на три равные части. Для этого разделим горизонтальную проекцию его A точно так же, как показано на рис. 381. Затем из каждой точки деления ($1, 2$), полученной на прямой Ab , восставим перпендикуляр до пересечения с отрезком AB . Таким образом, перспектива отрезка AB разделится на три равные части.

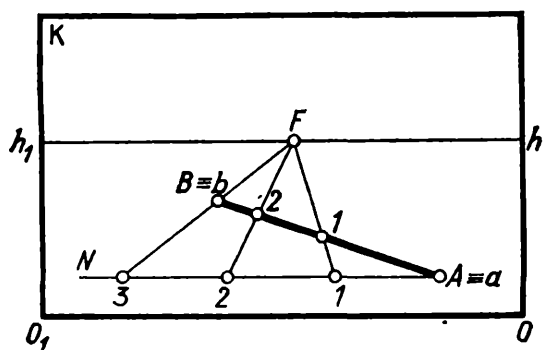


Рис. 381

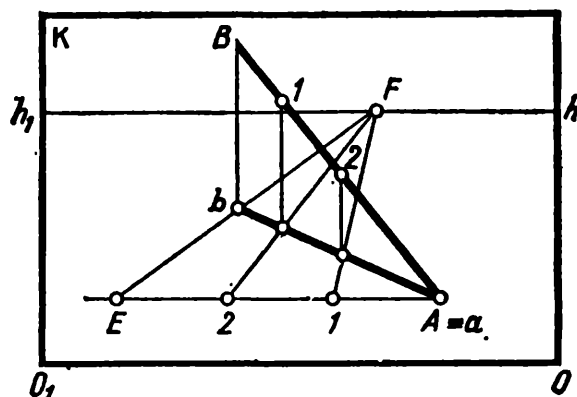


Рис. 382

Этот способ широко применяется художниками и архитекторами при построении различных перспективных изображений.

Рассмотрим построение разметки перспективы окон здания при условии, что заданы размеры стены, ширина простенков и окон на одной из его стен (рис. 383).

Перспектива здания строится обычно по размерам, заданным на прямоугольных (ортогональных) проекциях. В данном примере прямоугольные проекции дома отсутствуют. Предположим, что на картине уже построена перспектива здания. Требуется произвести разметку окон и простенков, а затем начертить перспективу окон на правой стене здания.

Для этого берут полоску бумаги прямоугольной формы и на ней отмечают заданные размеры ширины окон и простенков. На линии горизонта ставят в произвольном месте точку F и из нее

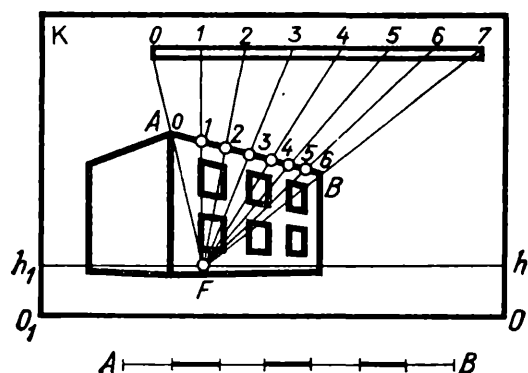


Рис. 383

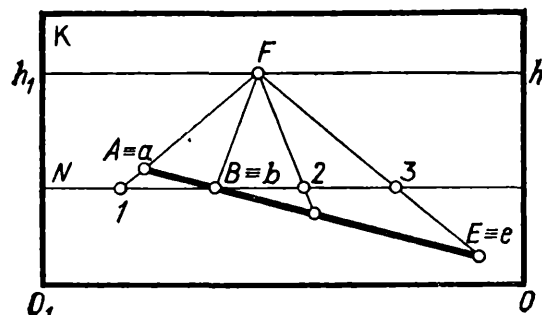


Рис. 384

проводят прямые AF и FB . Стороны полученного на картине угла AFB продолжают вверх. Затем внутри угла AFB размещают полосу так, чтобы край ее с намеченными делениями был параллелен линии горизонта. Полоску двигают внутри угла вверх, сохраняя параллельность к линии горизонта, до тех пор, пока крайние точки на полоске бумаги не совпадают со сторонами угла. Через полученные точки на сторонах угла проводят тонкую горизонтальную прямую, на которой отмечают точки деления $1, 2, 3, \dots, 7$, обозначенные на полоске, т. е. ширину окон и простенков. Через каждое деление на горизонтальной прямой проводят прямые в точку F . Эти прямые $F-1, F-2, \dots$ пересекут перспективу прямой AB в точках $1, 2, 3, 4, 5$. Из точек деления на прямой AB проводят вниз вертикальные прямые. Расстояние между этими прямыми соответствует ширине окон и простенков в перспективе.

Если на картине необходимо увеличить перспективу отрезка в несколько раз, то построение выполняют следующим образом.

Допустим, что задана перспектива отрезка AB (рис. 384), который необходимо увеличить в три раза. Для этого продолжают вниз отрезок AB и проводят через точку B прямую BN , параллельную основанию картины. На линии горизонта берут произвольную точку схода F . Через точки F и A проводят прямую до пересечения с прямой BN в точке 1 . От точки 1 на горизонтальной прямой откладывают вправо три одинаковых отрезка, равных $1-B$. Затем через точку F проводят пучок параллельных прямых, проходящих через точки $B, 2, 3$ до пересечения с продолжением перспективы отрезка AB . Таким образом, перспектива отрезка AE окажется втрое больше перспективы отрезка AB .

§ 65. ПЕРСПЕКТИВА ПЛОСКИХ ФИГУР

Для построения перспективы плоских фигур необходимо уметь строить перспективу отрезка по заданным его размерам, поскольку стороны многоугольников состоят из отрезков.

Пусть в совмещенной предметной плоскости H'' задан прямоугольник $1''2''3''4''$, две стороны которого перпендикулярны основанию картины (рис. 385). На картине заданы точки P и D_1 . Для построения перспективы прямоугольника определим совмещенную точку зрения C_K . Стороны $1''-4''$ и $2''-3''$ продолжим до пересечения с картиной в точках O_2 и O_3 . Перспектива сторон $1''-4''$ и $3''-2''$ расположится на параллельных прямых O_2P и O_3P . Из точки C_K проведем лучи в каждую вершину прямоугольника. Перспектива прямоугольника получится на пересечении параллельных прямых O_2P и O_3P с лучами, направленными из точки C_K в точки $1''$, $2''$, $3''$, $4''$.

Прямоугольник $1''2''3''4''$ (рис. 386) расположен в плоскости H'' под произвольным углом к основанию картины. На картине заданы точки P и D_1 . В данном случае перспективу прямоугольника строим с помощью картинных следов O_2, O_3, O_4, O_5 и предельных точек F и F_1 . Чтобы определить положение точек F и F_1 , надо по-

строить совмещенную точку зрения C_K и из нее провести лучи $C_K F$ и $C_K F_1$ параллельно прямым $3''-4''$ и $1''-4''$ до линии горизонта. Затем соединить прямыми картинные следы O_5 и O_4 с точкой F . Точку F_1 соединим прямыми с точками O_2 и O_3 . Перспектива прямоугольника $1''2''3''4''$ получится на пересечении прямых $O_2 F_1$ и $O_3 F_1$ с прямыми $O_4 F$ и $O_5 F$.

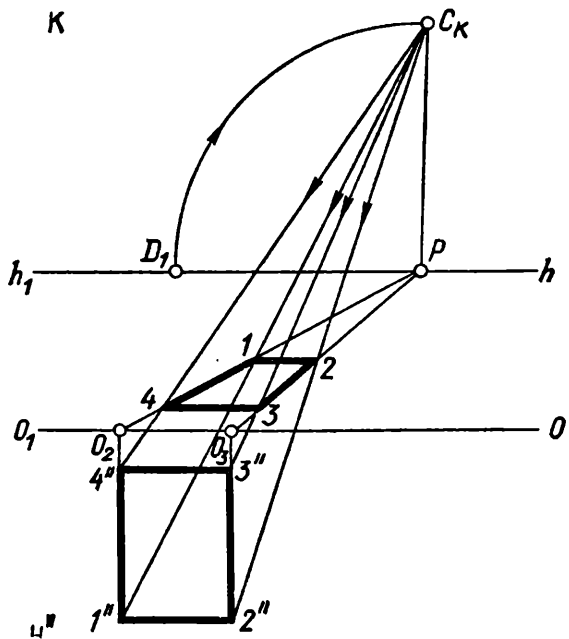


Рис. 385

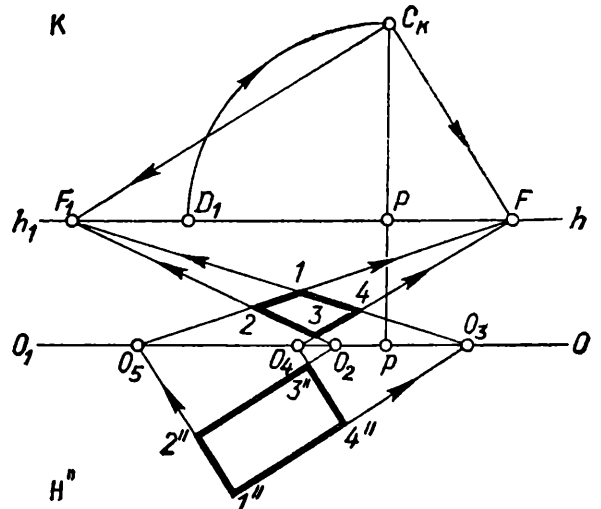


Рис. 386

Допустим, что требуется построить перспективу квадрата $ABEQ$, лежащего в предметной плоскости. Сторона AB равна L и расположена параллельно основанию картины. Расстояние от основания картины до прямой AB равно $AB/2$. На картине заданы точки P и $D_{1/2}$.

На основании картины отложим отрезок $O_2 O_3$, равный L (рис. 387). Соединим прямыми точки O_2 и O_3 с точкой P . Так как на картине задана дробная точка $D_{1/2}$, то для определения расстояния от основания картины до прямой AB сделаем следующие построения: разделим сначала отрезок $O_2 O_3$ пополам, получим точку O_4 , отрезок $O_2 O_4$ разделим еще раз пополам, получим точку O_5 , а затем из точки O_5 проведем прямую в точку $D_{1/2}$. Прямая $O_5-D_{1/2}$ пересечет прямую $O_2 P$ в точке A . Точка A удалена от основания картины на расстояние $O_2 O_5$. Чтобы построить перспективу точки $Q \equiv q$, надо отложить от точки O_5 отрезок $O_5 O_6$, равный половине стороны AB $L/2$.

Перспектива точки $Q \equiv q$ лежит на пересечении прямых $O_2 P$ и $O_6 D_{1/2}$. Через найденные перспективы точек A и Q проведем горизонтальные прямые, которые

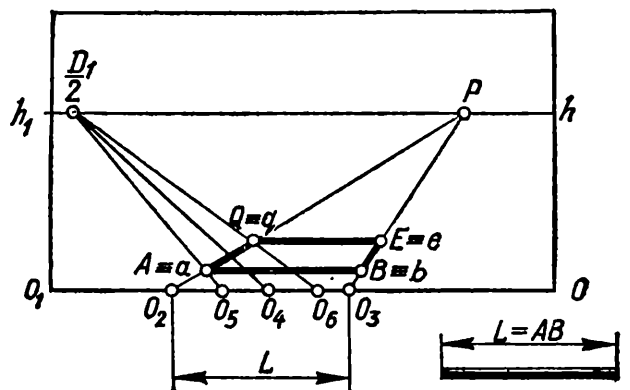


Рис. 387

пересекутся с прямой O_3P в точках B и E . Таким образом, построена перспектива заданного квадрата $ABEQ$.

Рассмотрим *построение перспективы квадрата*, расположенного под некоторым углом к картине. Пусть задана прямая Q_2F , на которой расположена сторона AB квадрата $ABEQ$, лежащего в предметной плоскости. На картине даны точки P и D_1 (рис. 388). По-

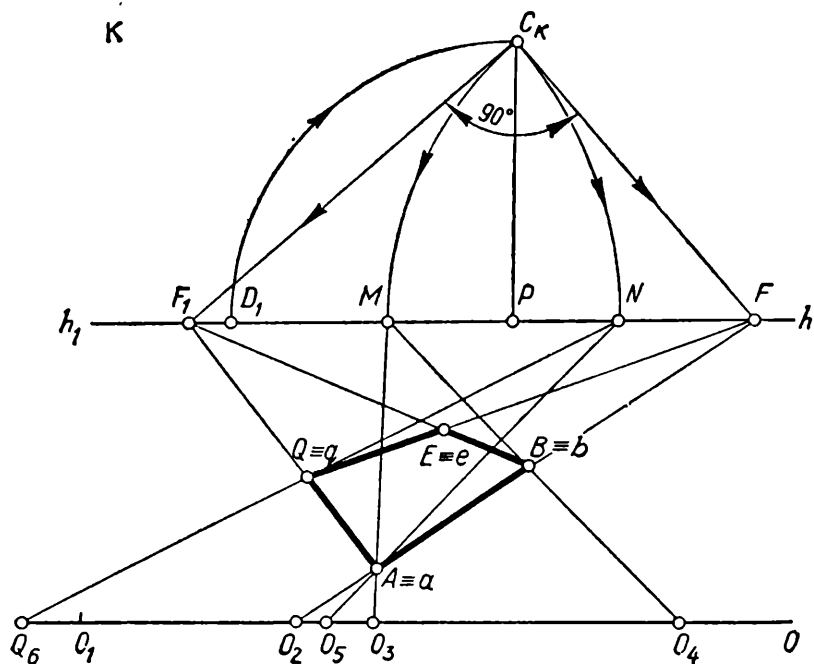


Рис. 388

строение перспективы квадрата выполним с помощью совмещенной точки зрения C_K и масштабных точек M и N . Определим совмещенную точку C_K . Соединим прямой точку F с точкой C_K и построим к прямой FC_K угол FC_KF_1 , равный 90° . Точка F_1 является предельной точкой для прямых, проведенных перпендикулярно отрезку AB . Поэтому, соединив вершину B с точкой F_1 , получим две параллельные прямые AF_1 и BF_1 , на которых должны расположиться стороны AQ и BE . Так как прямые AF_1 и BF_1 расположены к основанию картины под произвольным углом, то для построения квадрата $ABEQ$ используем масштабные точки M и N . Из точки F начертим дугу радиусом FC_K до пересечения с линией горизонта в точке M . Проведем две прямые из точки M через концы отрезка AB до пересечения с основанием картины, получим точки O_3 и O_4 . Отрезок O_3O_4 — истинный размер стороны AB . Чтобы отложить от точки A на прямой AF_1 размер стороны AQ , надо воспользоваться второй масштабной точкой N . Точка N определяется в результате пересечения дуги радиусом F_1C_K , проведенной из точки F_1 , с линией горизонта. Из точки N проведем прямую через точку A до пересечения с картиной в точке O_5 . От точки O_5 на основании картины отложим отрезок O_5O_6 , равный истинному размеру AB ($AB=O_3O_4$). Через точку O_6 проведем прямую в точку N . На прямой AF_1 отсечется отрезок AQ , равный стороне AB . Из найденной вершины Q проведем прямую в точку F , которая пересечется с прямой BF и определит вершину E .

Рассмотрим *построение перспективы окружности*. Окружность в перспективе строят по восьми точкам, вписывая ее в квадрат. Допустим, что необходимо построить перспективу окружности, расположенной на предметной плоскости, диаметр которой равен AB . Сторону AB расположим на основании картины (рис. 389). Построим перспективу квадрата $ABEQ$ с помощью перспективных

масштабов глубины и ширины. В квадрате проведем диагональ AE . Через середину квадрата проведем горизонтальную прямую, которая пересечет боковые стороны квадрата в двух точках 2 и 6 . Середины сторон квадрата определяют четыре точки $2, 6$ и $4, 8$, предназначенные для построения перспективы окружности. Чтобы определить четыре промежуточные точки $1, 7, 5$ и 3 , надо выполнить дополнительное построение. Из точки 4 проведем прямую под углом 45° к стороне AB . К наклонной стороне из точки A опустим перпендикуляр AR . Получим равнобедренный прямоугольный треугольник $AR4$. Из точки 4 радиусом $4R$ проведем полуокружность, диаметр которой расположится на основании картины. Из концов диаметра проведем две прямые в точку P , которые пересекут диагонали квадрата в четырех точках $3, 1$ и $5, 7$. Определив восемь точек, нарисуем тонкой линией перспективу окружности так, чтобы ее кривая прошла через все восемь точек. Проверим точность построения рисунка и затем обведем перспективу окружности контурной линией либо от руки, либо по лекалу.

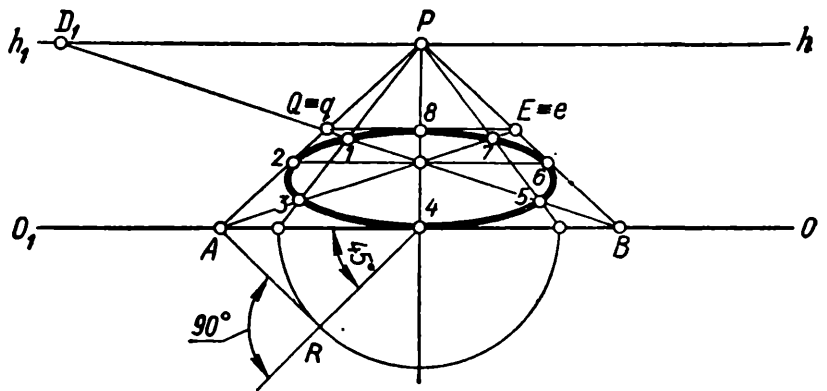


Рис. 389

Если окружность необходимо построить в вертикальном положении перпендикулярно картине, то принцип построения остается точно таким же.

Рассмотрим построение перспективы плоских фигур другим способом. Преимущество способа состоит в том, что построение перспективы фигуры осуществляется непосредственно в рамке кар-

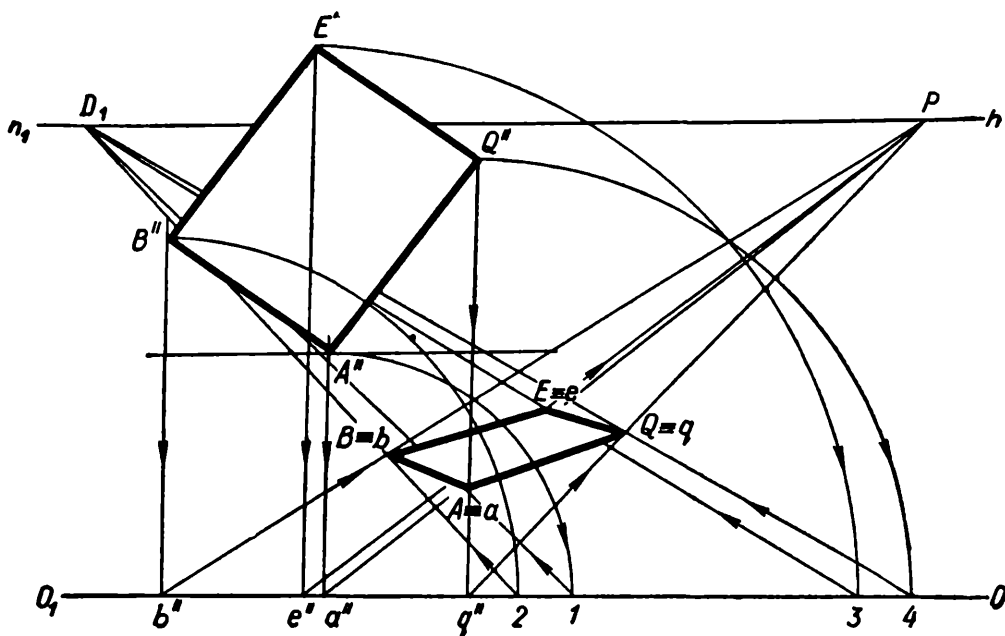


Рис. 390

тины. Плоскую фигуру, которую необходимо построить в перспективе, задают в предметной плоскости, совмещенной с картиной, но располагают совмещенную плоскость не под картиной, а над основанием картины, т. е. вращение предметной плоскости осуществляется не вниз, а вверх на угол 90° .

Допустим, что в предметной плоскости, совмещенной с картиной, задан прямоугольник $A''B''E''Q''$ (рис. 390), который надо построить в перспективе. На картине даны точки P и D_1 . Из вершины A' опустим перпендикуляр на основание картины. Получим точку a'' . Точку a'' соединим прямой с точкой P . Перспектива точки A'' должна лежать на прямой $a''P$. Для определения перспективы точки A'' используем дистанционную точку D_1 . Отрезок $A''a''$

отложим на основании картины вправо от точки a'' , получим точку 1 . Из точки 1 проведем прямую в точку D_1 , которая пересечется с прямой $a''P$ в точке A . Перспектива остальных вершин прямоугольника строится аналогично построению перспективы точки A'' .

Предположим, что требуется построить перспективу паркета, состоящего из плиток квадратной формы $A''B''E''Q''$ и расположенных к картине под некоторым углом (рис. 391, а). На картине даны точки P и $D_1/2$.

Построение выполняем в такой последовательности:

1. Из вершин заданного квадрата опустим на основание картины перпендикуляры и определим точки a'' , b'' , e'' , q'' . Полученные точки соединим прямыми с точкой P , т. е. построим перпендикуляры, на которых должны быть расположены вершины квадрата $ABEQ$.

2. Построим перспективу квадрата, используя

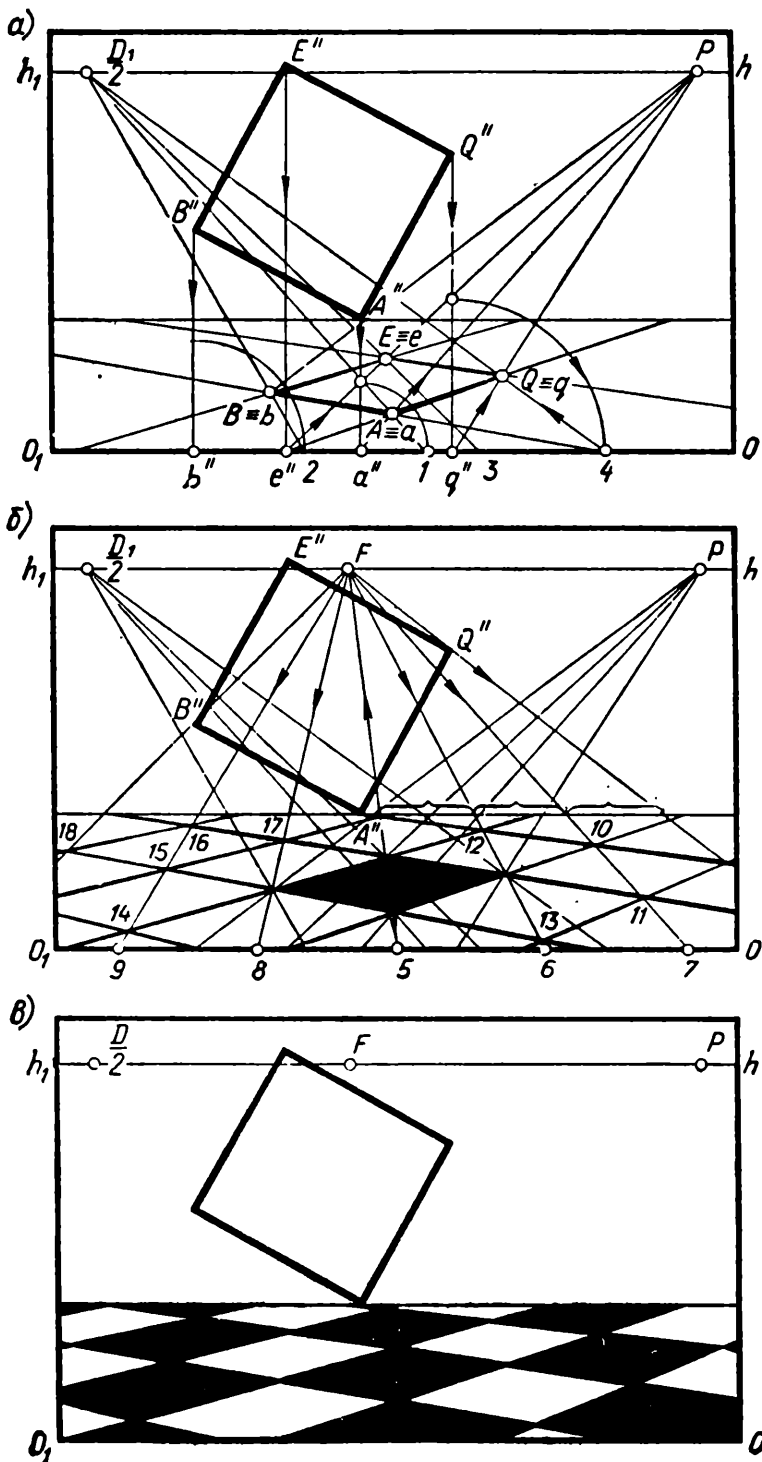


Рис. 391

для этого дистанционную точку $D_1/2$. Отрезок $A''a''$ разделим пополам и отложим половину его на основании картины — отрезок $a''-1$. Точку 1 соединим прямой с точкой $D_1/2$. Перспектива точки A'' определится на пересечении прямых $a''P$ с прямой $1-D_1/2$ в точке A . Аналогично определим перспективу остальных вершин квадрата $ABEQ$.

3. Построим перспективу паркета. Для этого продолжим все стороны перспективы квадрата $ABEQ$ (рис. 391, б). Проведем диагональ AE до пересечения с линией горизонта в точке F и основанием картины в точке 5 . Из точки F проведем прямые в вершины $B \equiv b$ и $Q \equiv q$ до пересечения с основанием картины в точках 6 и 8 . От точки 6 вправо на основании картины отложим отрезок $6-7$, равный отрезку $5-6$. Точку 7 соединим с точкой F . Прямая $7-F$ пересечется с продолженными сторонами квадрата в точках 10 и 11 . Прямая $6-F$ пересечется со сторонами квадрата в точках 12 и 13 . Получим еще два квадрата. От точки 8 влево на основании картины отложим отрезок $8-9$, равный отрезку $5-8$. Точку 9 соединим с точкой F . Прямая $9-F$ пересечет продолжение сторон квадрата $ABEQ$ в точках 14 и 15 . Остальное построение выполняем аналогично. На рис. 391, в показано законченное построение перспективы паркета.

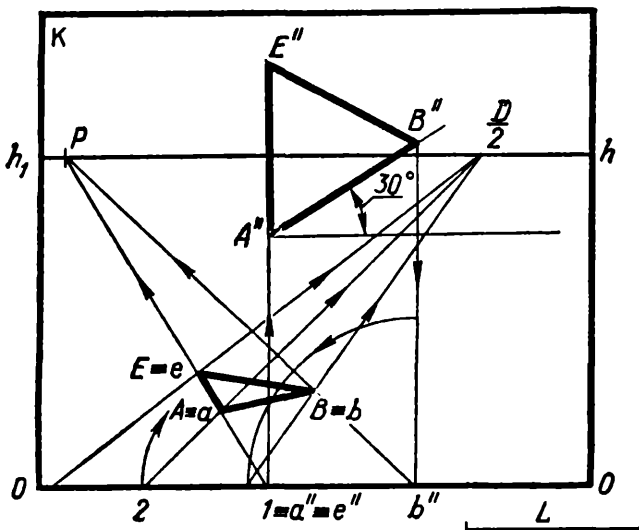


Рис. 392

Рассмотренный способ построения перспективы плоских фигур дает возможность строить перспективу любой фигуры с различными наклонами к основанию картины. Кроме того, можно строить перспективу фигуры при условии, что на картине дана перспектива одной из вершин фигуры, известны размеры фигуры и угол наклона одной из сторон этой фигуры. Так, например, на картине задана перспектива вершины $A \equiv a$, линия горизонта и точки P и $D/2$.

Требуется построить перспективу равностороннего треугольника ABE при условии, что сторона AB равна отрезку L и наклонена к основанию картины под углом 30° (рис. 392).

Через точку A проведем две прямые AP и $A-D/2$ и продолжим их до основания картины в точках 1 и 2 . Из точки 1 восставим перпендикуляр, на котором отложим отрезок $1-2$, увеличенный вдвое, поскольку дана дробная дистанционная точка $D/2$. Получим точку A'' , через которую проведем горизонтальную прямую и начертим угол 30° с вершиной A'' . На стороне угла отложим отрезок, равный отрезку L . Затем с помощью циркуля начертим равносторонний треугольник $A''B''C''$ (рис. 392) и построим перспективу

вершин треугольника в том же порядке, в каком строили перспективу квадрата $ABEQ$ (см. рис. 391, а).

Контрольные вопросы. 1. Что называется перспективным масштабом глубины, ширины, высоты? 2. В каких случаях на картине применяют дробные дистанционные точки? 3. Являются ли дробные дистанционные точки точками схода для параллельных прямых? 4. Для чего применяют масштабную точку (или точку измерения)? 5. Какой размер отрезка на картине принято считать натуральным? 6. Для чего применяют совмещенную точку зрения S_K ? 7. Какие размеры отрезка или плоской фигуры откладывают в совмещенной предметной плоскости H'' ?

Глава 18

ПЕРСПЕКТИВА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ

§ 66. ПЕРСПЕКТИВА ГРАННЫХ И КРУГЛЫХ ТЕЛ

Умение строить перспективы простейших геометрических тел, таких, как куб, параллелепипед, призма, пирамида, конус, цилиндр, тор в значительной мере способствует реалистической передаче на картине окружающего предметного мира.

Куб. Допустим, что необходимо построить перспективу куба, стоящего на предметной плоскости и удаленного от основания картины на 10 мм. Сторона AB равна 30 мм и расположена параллельно картине. На картине даны точки P и D_1 .

Ниже основания картины начертим линейный масштаб (рис. 393).

Построим сначала перспективу основания куба $abef$. Для этого возьмем на основании картины отрезок O_2O_3 , равный 30 мм (рис. 393). Из точек O_2 и O_3 проведем параллельные прямые в точку P . Отрезок O_2O_3 разделим на три равные части точками O_4 , O_5 . Чтобы определить расстояние от картины до перспективы стороны AB , надо провести прямую O_4D_1 , которая пересечет прямую O_2P в точке a . Перспектива точки a удалена от основания картины на 10 мм. Затем от точки a отложим в глубину картины размер af ,

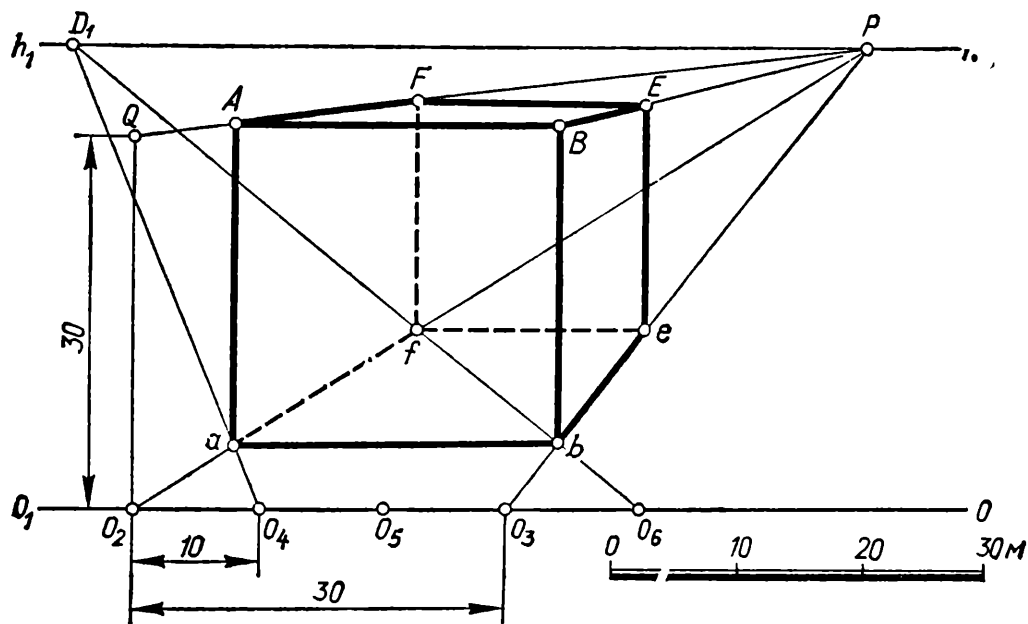


Рис. 393

равный 30 мм. Для этого от точки O_4 на основании картины отложим отрезок O_4O_6 , равный 30 мм, и проведем прямую из точки O_6 в точку D_1 . Перспектива точки f определится на пересечении прямой O_6D_1 с прямой O_2P . Итак, определив перспективу двух точек a и f , проведем через них две горизонтальные прямые до пересечения с прямой O_3P в точках b и e . Из полученных точек a , b ,

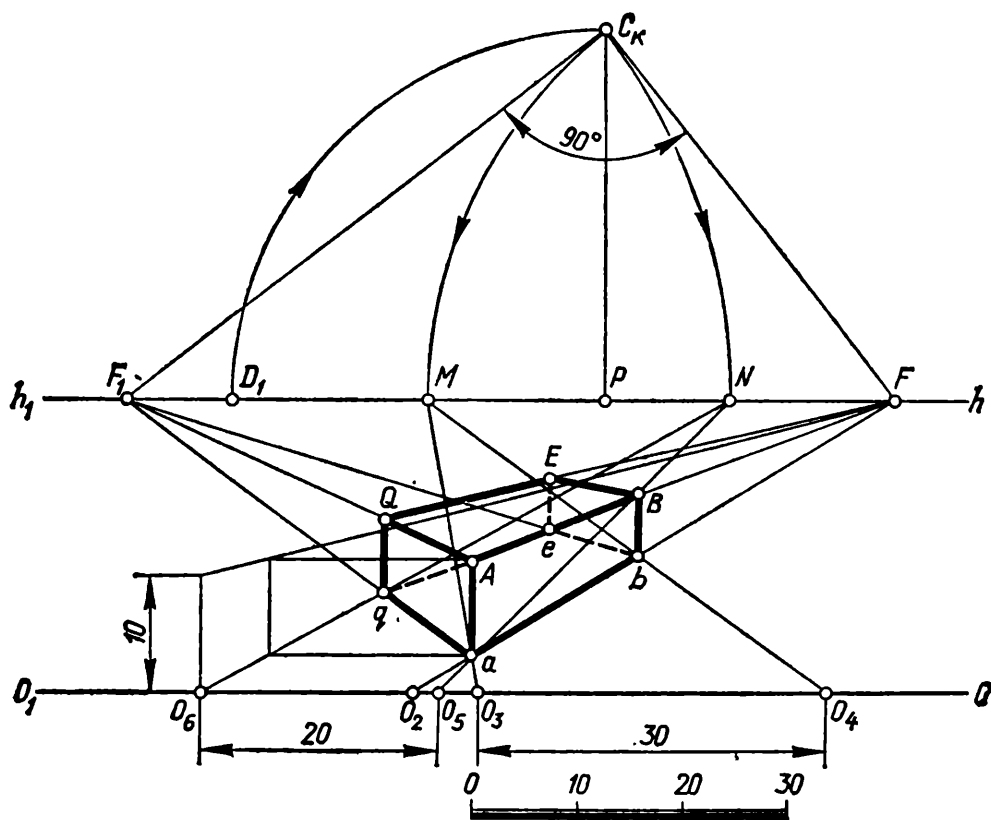


Рис. 394

e , f восставим перпендикуляры и с помощью масштаба высоты построим перспективу вертикальных ребер куба. Из точки O_2 восставим перпендикуляр и отложим на нем отрезок O_2Q , равный 30 мм. Точку Q соединим с точкой P . Точки A и F определим на пересечении прямой QP с вертикальными прямыми, проведенными из точек a и f . Остальное построение не требует дополнительных пояснений.

Параллелепипед. Перспективу параллелепипеда, у которого одна из сторон параллельна картине и заданы размеры трех его сторон, строят с помощью перспективных масштабов, так же как и куба (рис. 394). При построении перспективы параллелепипеда по заданным размерам его сторон, расположенным под произвольным углом к картине, используют перспективные масштабы и масштабные точки M и N .

Допустим, что надо построить перспективу параллелепипеда по заданным размерам его сторон $AB=30$ мм, $AQ=20$ мм и высоты $Aa=10$ мм. Сторона AB может быть взята под произвольным углом к картине. На картине заданы точки P и D_1 .

Ниже основания картины начертим линейный масштаб. Возьмем на основании картины произвольную точку O_2 (рис. 394) и

проведем из нее прямую O_2F . На прямой O_2F в произвольном месте определим основание a точки A . Построим совмещенную точку C_K и начертим угол FC_KF_1 , равный 90° . Из точки a проведем прямую в точку F_1 . Угол F_1aF — прямой. Чтобы построить перспективу отрезка ab , равного 30 мм, определим масштабную точку M . Через точки M и a проведем прямую до пересечения с основанием картины в точке O_3 . От точки O_3 на основании картины отложим отрезок O_3O_4 , равный 30 мм. Из точки O_4 проведем прямую O_4M , которая в пересечении с прямой O_2F определит точку b . Из полученной точки b проведем прямую в точку F_1 . Для построения перспективы стороны aq определим масштабную точку N . Точки N и a соединим прямой и продолжим ее до пересечения с основанием картины в точке O_5 . От точки O_5 на основании картины отложим отрезок O_5O_6 , равный 20 мм. Через точку O_6 проведем прямую в точку N . Прямая O_6N пересечется с прямой bF_1 в точке q . Точка e находится на пересечении прямой qF с прямой bF_1 . Далее из каждой найденной точки восставим перпендикуляры и по масштабу высоты определим перспективу ребер параллелепипеда.

Призма. Построить перспективу призмы можно несколькими способами. Для построения правильной шестиугольной призмы необходимо знать размер одной из ее сторон и высоту. Основание призмы можно задать в совмещенной предметной плоскости под картиной либо над картиной. В обоих случаях принцип построения основан на умении применять перспективные масштабы.

Допустим, что необходимо построить перспективу правильной шестиугольной призмы по заданному размеру ее основания $ABELQF$ и высоте, равной 15 мм. Основание призмы $a''b''e''f''q''e''$

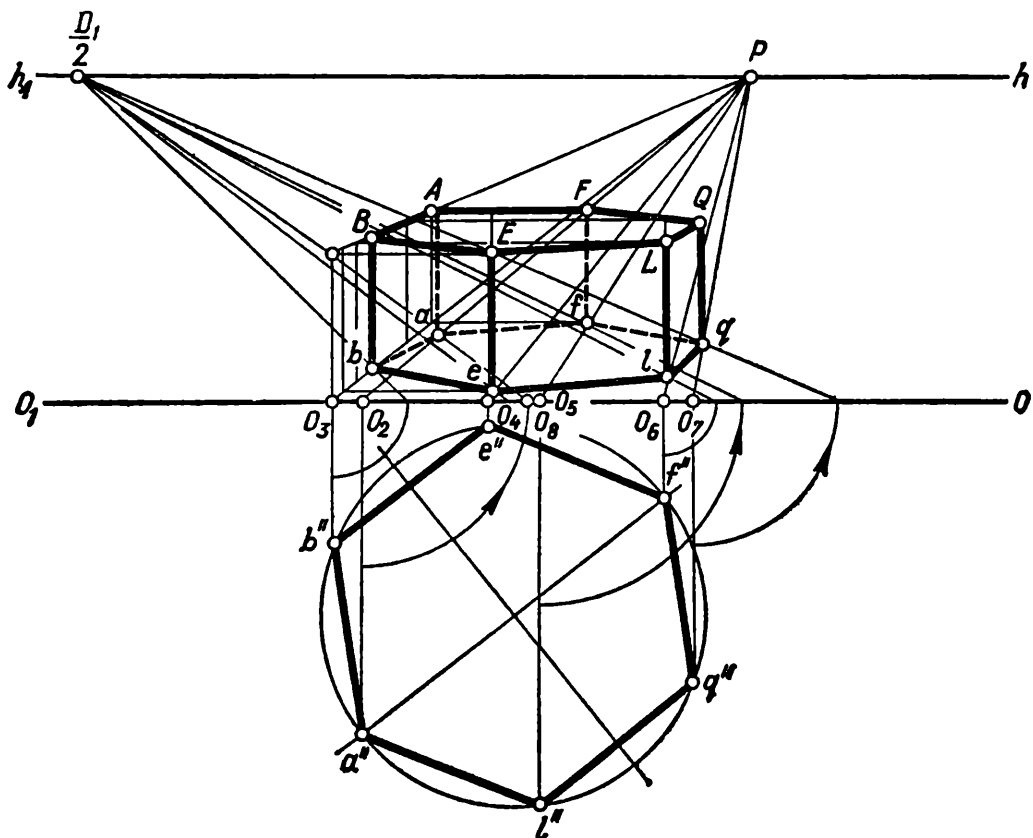


Рис. 395

расположено в совмещенной предметной плоскости H'' под произвольным углом к картине (рис. 395). На картине заданы точки P и $D_1/2$. Из каждой вершины шестиугольника восставим перпендикуляры к основанию картины, которые пересекутся с ним в точках $O_2, O_3, O_4, O_5, O_6, O_7$. Из точек O_2, O_3, O_4, \dots проведем параллельные прямые в точку P . Затем с помощью масштаба глубины определим перспективу каждой вершины. Для определения перспективы точки a надо разделить отрезок O_2a'' пополам и отложить на основании картины от точки O_2 его половину, т. е. отрезок O_2O_8 , затем из точки O_8 провести прямую в точку $D_1/2$. Перспектива точки a расположится на пересечении прямой O_2P с прямой, проведенной из точки O_8 в точку $D_1/2$. Таким образом, можно построить перспективу каждой вершины шестиугольника $a''b''e''f''q''l''$. Высоту ребер призмы определим по масштабу высоты.

Пирамида. Пусть требуется построить перспективу правильной четырехугольной пирамиды $SABEQ$, стоящей на предметной плоскости, основание которой представляет собой квадрат. Сторона AB расположена параллельно картине и удалена от нее на 10 мм. Размер стороны квадрата 30 мм, высота 40 мм. На картине даны точки P и D_1 .

Начертим линейный масштаб ниже основания картины. На основании картины возьмем произвольную точку O_2 (рис. 396) и проведем из нее прямую в точку P . От точки O_2 отложим отрезок O_2O_3 , равный 30 мм. Соединим прямой точки O_3 и P . Затем с помощью масштаба глубины определим перспективу точки A . Аналогично построим перспективу точки Q , а затем через точки A и Q проведем прямые, параллельные картине, до пересечения с прямой O_3P в точках B и E . В квадрате $ABEQ$ проведем диагонали AE и BQ . Из точки пересечения диагоналей восставим перпендикуляр,

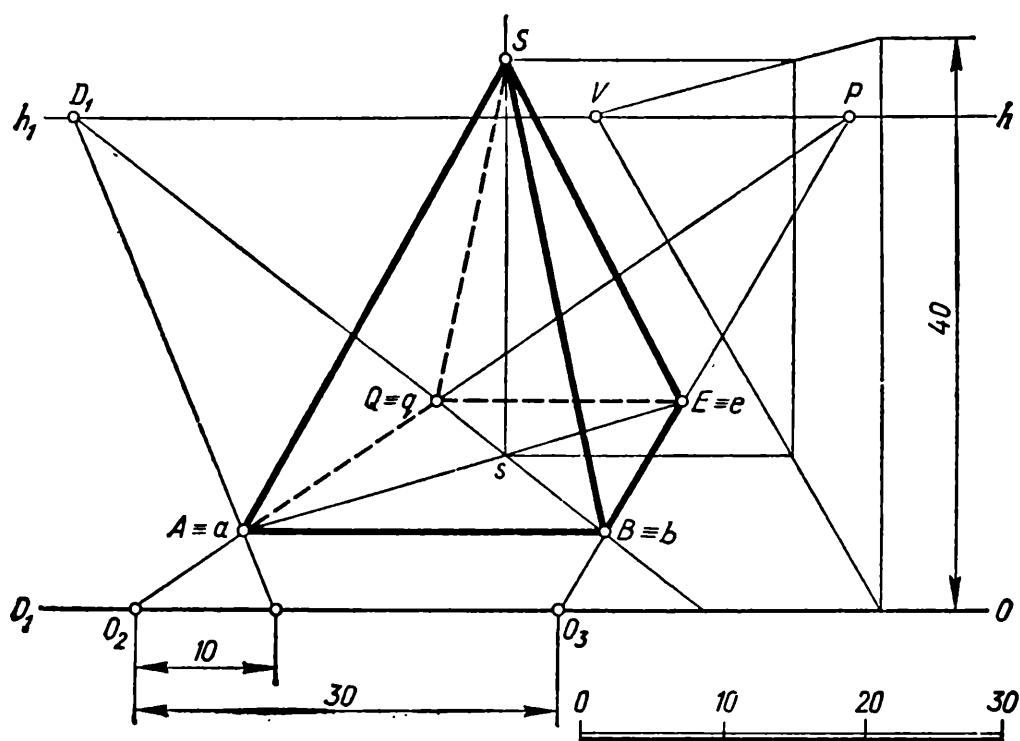


Рис. 396

на котором по масштабу высоты определим вершину S . Из вершины S проведем прямые SA, SB, SE, SQ , которые являются ребрами пирамиды.

Конус. При построении перспективы вертикально стоящего прямого кругового конуса следует руководствоваться правилом построения окружности. Сначала строят перспективу квадрата $ABEQ$ (рис. 397) со стороной, равной диаметру окружности, а затем вписывают в квадрат окружность по восьми точкам ($1...8$). Из центра окружности восстанавливают перпендикуляр, на котором по масштабу высоты определяют высоту конуса. Из найденной вершины конуса проводят две касательные к его основанию.

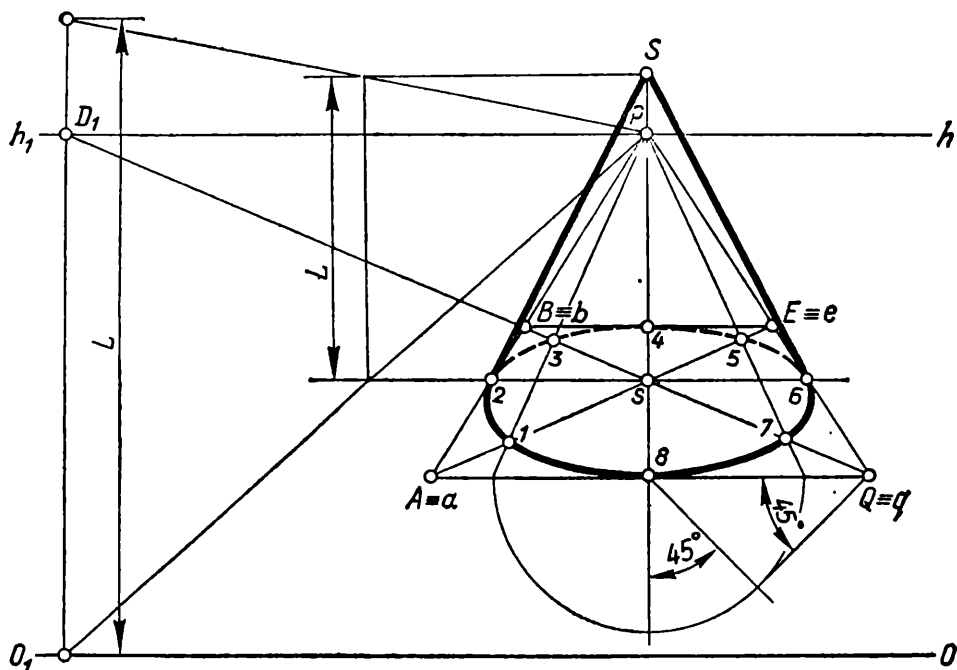


Рис. 397

Цилиндр. Построение перспективы цилиндра, стоящего на предметной плоскости (рис. 398), начинают с его нижнего основания. Для этого чертят перспективу квадрата $ABEQ$, в который по восьми точкам ($1...8$) вписывают окружность. Из всех восьми точек проводят вверх образующие цилиндра, размеры которых определяют по масштабу высоты. Таким образом, перспективу верхнего основания цилиндра строят по восьми точкам без дополнительного изображения перспективы квадрата.

Тор. Перспективу тора строят по заданному профилю. Если тор расечь фронтальной плоскостью, проходящей через его ось, то получим профиль тора. Форму профиля тора можно выбирать произвольно.

Пусть задан профиль торовой поверхности (рис. 399, а). При построении перспективы тора используем способ секущих плоскостей. Секущие плоскости расположим перпендикулярно оси его вращения, т. е. мысленно расечем тор горизонтальными плоскостями. Очевидно, в сечении получим окружности. Наибольший диаметр имеет та окружность, которая расечет тор в самой широкой его части. Таким образом, принцип построения перспективы тора

сводится к построению перспектив окружностей, полученных в результате сечения тора плоскостями, направленными перпендикулярно оси его вращения.

Рассечем заданный профиль тора несколькими горизонтальными плоскостями $Q_v, R_v, S_v, T_v, W_v, Z_v$ (рис. 399, а). Измерим радиусы полученных окружностей горизонтальными отрезками, кон-

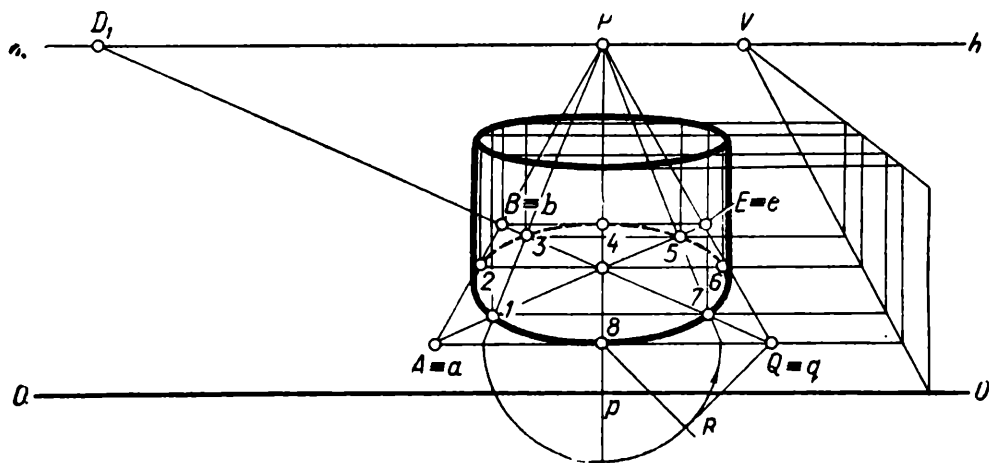


Рис. 398

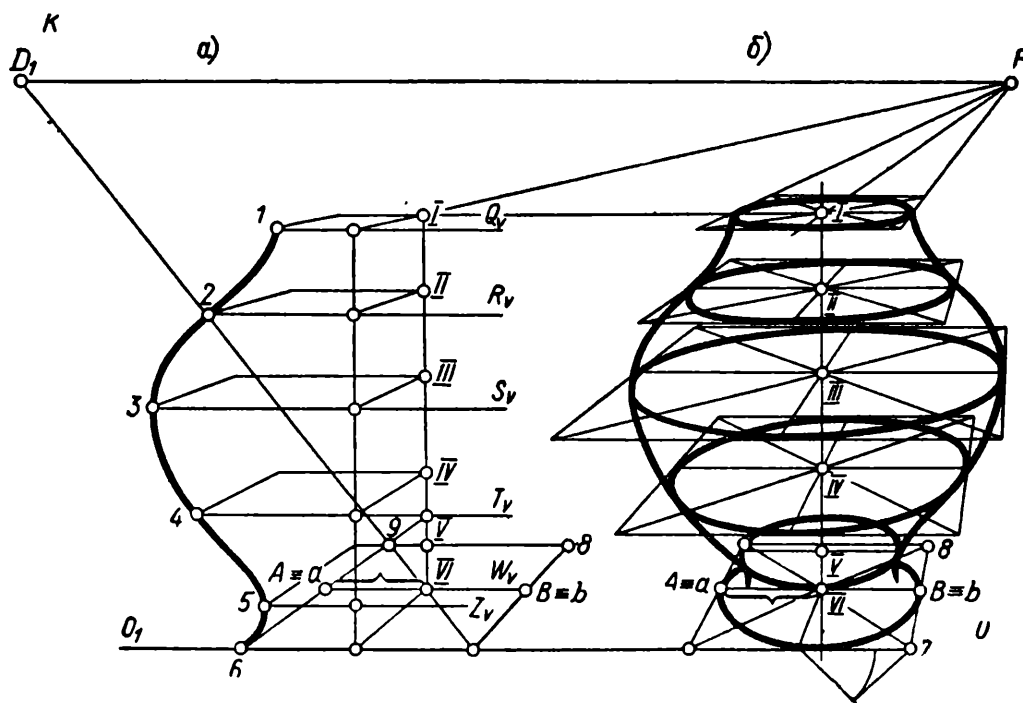


Рис. 399

цы которых соединим с вертикальной осью тора и очерковой кривой или образующей тора. Образующей тора называется кривая линия, с помощью которой при вращении ее вокруг неподвижной оси образуется торовая поверхность. Точки пересечения образующей тора с секущими плоскостями обозначим цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6. Полученные в результате сечения тора окружности строим с помощью перспективы квадратов. Построим перспективу квадрата, а затем впишем в него по восьми точкам перспективу окружности — эллипсы.

Построение перспективы тора начнем с нижнего основания, т. е. с квадрата 6789 , используя для этого точки P и D . Из середины квадрата — точки VI — проведем две прямые: горизонтальную AB и вертикальную. Прямая AB является большой осью эллипса; вертикальная прямая — осью вращения тора в перспективе.

Итак, построив перспективу квадрата 6789 и определив его середину — точку VI , аналогично построим перспективу остальных квадратов. Середины квадратов обозначим римскими цифрами I, II, III, IV, V . В построенные перспективы шести квадратов впишем эллипсы, как показано на рис. 399, б, по восьми точкам. Построив перспективы эллипсов, сотрем ненужные линии построений. К нарисованным эллипсам слева и справа от руки начертим очерковую касательную. При построении касательной следует соблюдать симметричность очерковой кривой, т. е. формы левой и правой очерковой кривой должны быть симметричными относительно оси тора.

Для более точного построения перспективы торовой поверхности можно брать большее число секущих плоскостей. Секущие плоскости следует проводить в наиболее характерных местах заданного профиля — самых широких и узких, а также в промежутках между ними.

Рассмотренный способ позволяет выполнять перспективные построения разных по форме декоративных ваз, которые представляют собой различные сочетания торовых поверхностей.

Контрольные вопросы. 1. С помощью каких элементов картины можно построить перспективу геометрических тел? 2. Как строится перспектива куба, если одна из заданных его сторон расположена параллельно картине? На картине даны точки P и $D/2$. 3. Объяснить построение перспективы параллелепипеда, стоящего на предметной плоскости под произвольным углом к картине, при условии, что на картине задана одна из его сторон и даны точки P и $D/2$. 4. С чего начинают построение прямого кругового цилиндра, стоящего на предметной плоскости, если известны размеры диаметра основания и высоты цилиндра?

Глава 19

ПЕРСПЕКТИВА ИНТЕРЬЕРА

Интерьером называется внутренний вид помещения в целом или отдельных его частей. В современной архитектуре интерьер занимает важное место. Характерными чертами современного интерьера являются: большие зеркальные окна, светлые поверхности стен, прямо повешенные цветные драпировки, акварели или эстампы разнообразных типов, мягкая и жесткая мебель на тонких деревянных металлических ножках, торшеры и т. д. Облицовка современного интерьера выполняется такими материалами, как пластмасса, металл, тонированное дерево самых разных пород, керамика и др.

Будущему художнику, готовящемуся работать в области декоративно-прикладного искусства, непосредственно связанного с интерьером, необходимо уметь рисовать его и выполнять чертежи на основе знаний линейной перспективы.

Фронтальной перспективой называется перспективное изображение интерьера, у которого одна из стен расположена параллельно картине, а другие перпендикулярно ей (рис. 400). Фронтальная перспектива отличается простотой построения и широко применяется при изображении внутренних видов архитектурных сооружений (интерьеров). При построении композиции интерьера главную точку картины можно располагать на линии горизонта различно.

Если точка P располагается в самом центре картины на главной линии Pp , то изображение называется *центральной фронтальной перспективой*. Когда главная точка P картины смещается от главной линии Pp вправо или влево, перспективное изображение на картине называется боковой фронтальной перспективой. При точке P , сдвинутой влево, правая стена комнаты на картине становится больше левой (рис. 400). А если точку P сдвинуть вправо, то левая стена больше правой. Следовательно, в зависимости от характера композиции картины, художник перемещает главную точку зрения P по своему усмотрению.

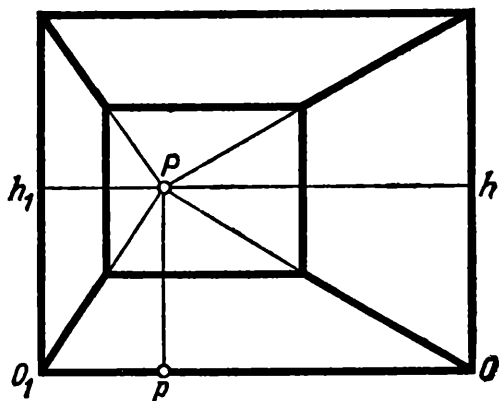


Рис. 400

Построим центральную фронтальную перспективу комнаты по заданным ее размерам. Площадь комнаты $4 \times 4 \text{ м}^2 = 16 \text{ м}^2$. Высота ее 3 м. Дверь находится на фронтальной стене на расстоянии 1 м от левой стены. Для удобства построения возьмем следующие размеры двери: ширина 1 м, высота 2 м. Окно расположено на правой стене и удалено от фронтальной стены на 1 м. Высота окна 1,8 м, ширина 2 м. Расстояние от пола до окна 0,75 м.

Проведем горизонтальную прямую и примем ее за основание OO_1 картины (рис. 401). На середине основания картины возьмем точку O_2 и восставим из нее перпендикуляр, который явится главной линией картины Pp . Ниже основания картины начертим линейный масштаб, каждое деление которого условно равно 1 м. От точки O_2 вправо и влево отложим отрезки, равные 2 м. Таким образом, длина отрезка $1-2$ равна 4 м. Из точек 1 и 2 восставим перпендикуляры и отложим на них отрезки длиной по 3 м. Крайние верхние точки на вертикальных прямых соединим горизонтальной прямой. Положение линии горизонта hh_1 определим на расстоянии 1,5 м от основания картины, так как этот размер соответствует примерно высоте глаз стоящего человека среднего роста. Точка P расположится в центре картины.

На линии горизонта возьмем точку $D_1/2$, удаленную от точки P на $1/2$ диагонали картины. Итак, имея на картине точки P и $D_1/2$, построим с помощью перспективных масштабов перспективу комнаты. Прежде всего начертим перспективу пола, габарит которого

обозначим цифрами 1, 2, 3, 4. Для этого проведем прямые из точек 1 и 2 в точку P . На пересечении прямой $1-P$ с прямой $O_2-D_1/2$ определим перспективу точки 4. Через точку 4 проведем прямую $4-3$ параллельно основанию картины. По масштабу высоты определим высоту фронтальной стены. Для лучшей ориентации при построении перспективы дверного и оконного проемов разобьем пол комнаты сеткой, состоящей из квадратов со стороной 1 м. Это построение понятно из чертежа и не требует дополнительных объяснений.

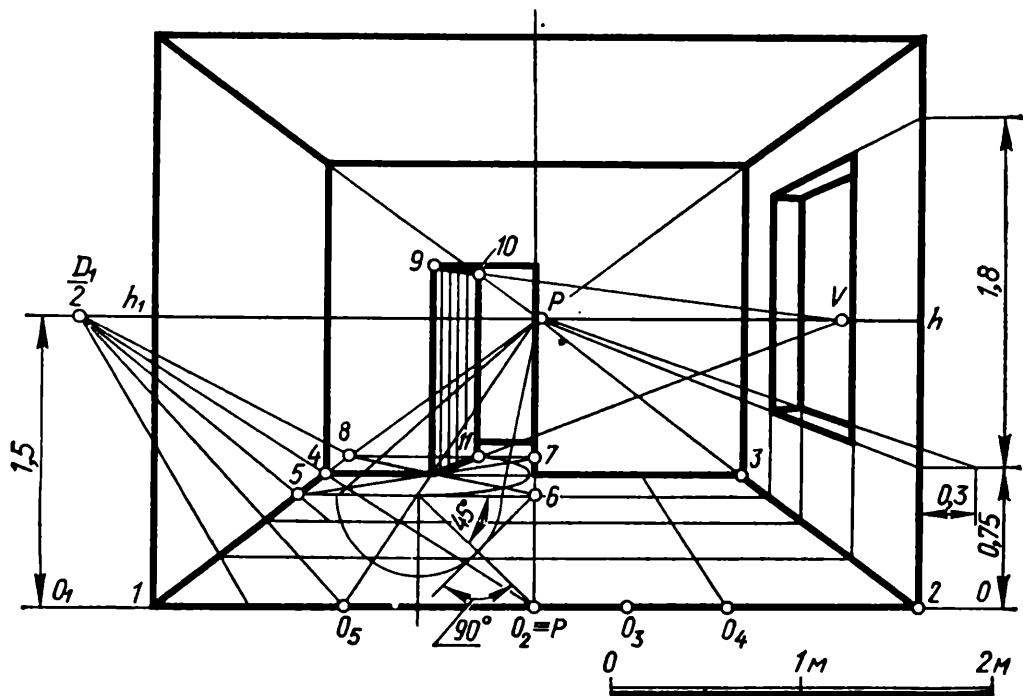


Рис. 401

Дверной проем имеет ширину 1 м и высоту 2 м, поэтому с помощью перспективной сетки нетрудно определить расположение двери. Высоту двери определим с помощью перспективного масштаба высоты. Чтобы построить перспективу полуоткрытой двери, необходимо выполнить перспективу квадрата 5678 . Провести в нем диагонали и вписать по восьми точкам перспективу окружности. В данном примере дверь открывается из комнаты и может поворачиваться на угол 90° , т. е. на $1/4$ дуги окружности. На этой дуге окружности возьмем произвольную точку 11 , соединим ее прямой с центром окружности, а затем продолжим прямую до линии горизонта в точку V . Из точки V проведем прямую в верхний угол двери — точку 9 . Далее из точки 11 восставим перпендикуляр до пересечения с прямой $V-9$, получим точку 10 . Точку 11 можно брать на $1/4$ дуги окружности в любом месте, в зависимости от того, насколько мы желаем открыть из комнаты дверь. Окно расположим в середине правой стены на расстоянии от пола 75 см. По сетке на полу определим размер ширины окна 2 м, а затем восставим к полу перпендикуляры и по масштабу высоты построим перспективу окна $2 \times 1,8$ м. Толщину стены условно возьмем равной 30 см.

Итак, на картине получилась перспектива комнаты площадью 16 м^2 с полуоткрытой дверью и окном заданных размеров, без передней фронтальной стены. Зритель как бы стоит в центре основания картины. Передняя стена представляется как бы прозрачной.

§ 68. ПЕРСПЕКТИВА УГЛА КОМНАТЫ

Перспектива угла комнаты широко используется художниками и архитекторами в их практической работе. При построении угла комнаты в перспективе важным вопросом является компоновка

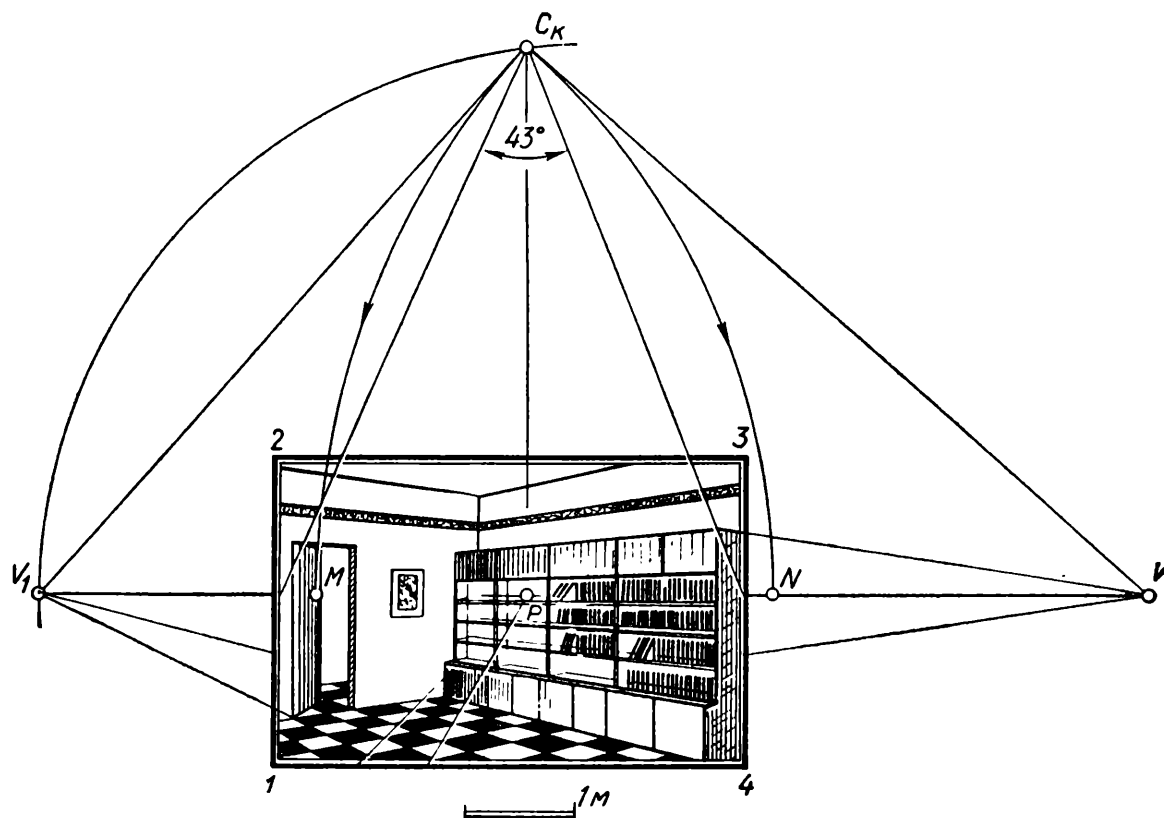


Рис. 402

чертежа и определение на картине основных ее элементов: линии горизонта hh_1 , главной точки P , дистанционных точек. Картина должна быть расположена в данном поле зрения, т. е. с углом зрения, равным примерно $28...53^\circ$. Построение перспективы угла комнаты выполняется с помощью масштабных точек M и N_1 .

Допустим, что на картине 1234 заданного размера (рис. 402) необходимо изобразить перспективу угла комнаты. Линию горизонта hh_1 можно начертить на любой высоте от основания картины. Если поднять ее высоко, то зритель увидит большую часть пола и верхние плоскости предметов: крышку стола, верхнее основание полок, шкафа и т. д. Иначе говоря, создается впечатление увеличенной площади пола. Если линию горизонта значительно опустить, то можно нагляднее передать монументальность помещения, т. е. наиболее выпукло на картине будут изображены колонны, потолок и всевозможные лепные украшения на нем. Таким обра-

зом, в зависимости от характера композиции художник выбирает положение линии горизонта на картине.

Для удобства построения перспективы угла комнаты зададимся линейным масштабом. Ниже картины начертим отрезок, который примем за один метр. Поскольку при построении перспективы угла комнаты на картине окажется много линий построений, то, чтобы лучше представить последовательность ее построения, выполним чертеж перспективы угла комнаты с поэтапным построением (рис. 403, а, б, в). Линию горизонта проведем на высоте 1,5 м.

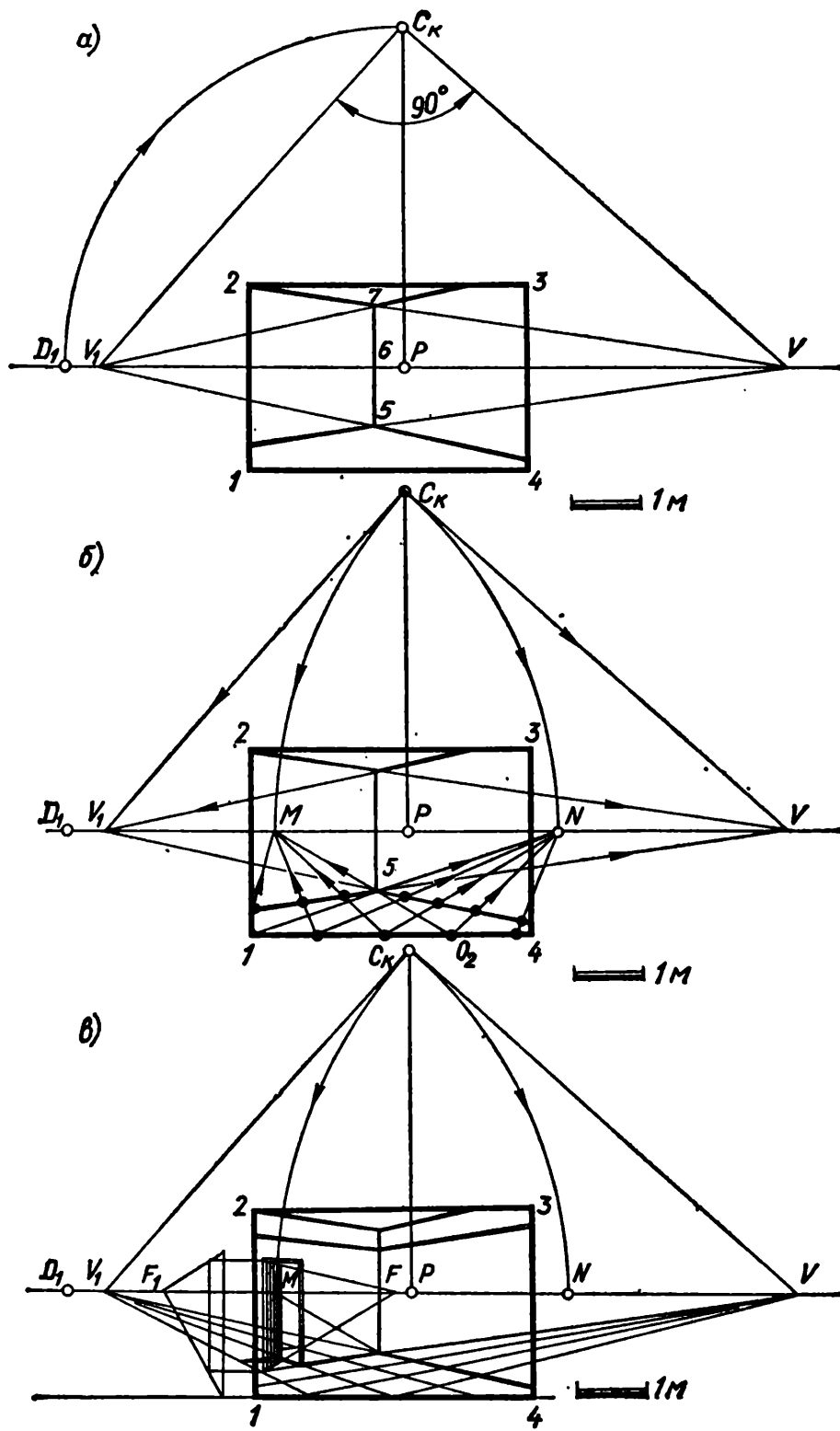


Рис. 403

Продолжим линию горизонта за рамку картины слева и справа. Выберем на ней положение точек P и D_1 . Расстояние PD_1 возьмем больше диагонали картины (рис. 403, а). Несколько левее точки P проведем вертикальную прямую, представляющую собой линию пересечения стен комнаты. Итак, на картине заданы линия горизонта, точки P и D_1 и линия пересечения стен. Высоту потолка возьмем 3 м. Дверь комнаты расположим в левой стене на расстоянии 2 м от линии пересечения стен. Размеры двери: ширина 1 м, высота 2,2 м. Возле правой стены поставим книжные шкафы (стенку) высотой 2,1 м, шириной в нижней части 0,6 м, в верхней 0,5 м и длиной 4 м.

На картине начертим прямую под произвольным углом, которую продолжим до пересечения с линией горизонта в точке V . Точку пересечения вертикальной прямой с наклонной обозначим цифрой 5 (см. рис. 403, а). Из точки P восставим перпендикуляр, на котором отложим отрезок PC_K , равный PD_1 . Точку C_K соединим прямой C_KV . К прямой C_KV построим сторону прямого угла и продолжим ее до пересечения с линией горизонта в точке V_1 . Через точки V_1 и 5 проведем прямую, которая определит на картине направление правой стены, пересекающейся с левой под углом 90° . От точки 6 пересечения линии горизонта с вертикальной прямой отложим вверх отрезок 6—7, равный отрезку 5—6. Через точку 7 и V проведем прямую. Также проведем прямую, проходящую через точки V_1 и 7. Таким образом, закончим построение перспективы стен, пола и потолка угла комнаты.

Пол комнаты разобьем сеткой, состоящей из квадратов со стороной 1 м. Для этого определим масштабные точки M и N (рис. 403, б). Соединим точки M и 5 и продолжим прямую до основания картины, получим точку O_2 . От точки O_2 на прямой OO_1 отложим влево несколько делений, равных 1 м. Затем каждое деление соединим с точкой M , как показано на рис. 403, б. Основание левой стены разделим на несколько равных частей. Аналогично разделим основание правой стены, используя для этого масштабную точку N . Через точки делений, полученные на левой и правой стенах, проведем прямые в точки схода V и V_1 (рис. 403, в). По намеченной сетке квадратов определим положение дверного проема, т. е. отложим от угла комнаты в сторону зрителя 2 м или две клетки. Ширина двери равна одной клетке. По масштабу высоты определим высоту двери на картине, как показано на рис. 403, в. Длина книжного шкафа 4 м займет всю правую стену (см. рис. 402). Построение перспективы книжного шкафа выполнено с помощью перспективного масштаба высоты и масштабных точек M и N .

Контрольные вопросы. 1. Что называется интерьером? 2. Какая перспектива называется центральной фронтальной и какая боковой фронтальной? 3. Чему равен угол зрения, если картина расположена в ясном поле зрения? 4. С помощью каких элементов картины строится перспектива угла комнаты?

Глава 20
НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

§ 69. ПОСТРОЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРЯМЫХ
ПРИ НЕДОСТУПНЫХ ТОЧКАХ СХОДА

В практике построения перспективных изображений точка схода для параллельных прямых не всегда размещается в пределах картины. Чаще всего точка схода выходит за пределы картинной плоскости. Поэтому необходимо уметь строить перспективу параллельных прямых, когда точка схода их находится за рамкой картины, т. е. недоступна.

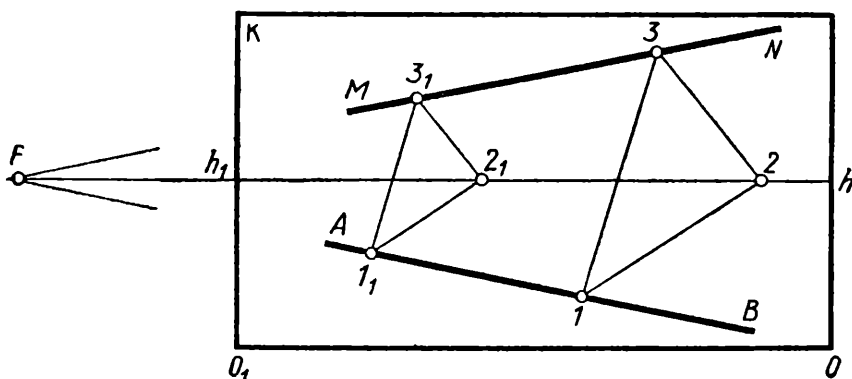


Рис. 404

Рассмотрим такой пример. На картине задана перспектива прямой AB (рис. 404), предельная точка F которой находится за рамкой картины. Требуется через заданную перспективу точки 3 провести прямую MN , параллельную AB . Для этого построим треугольник $1-2-3$ произвольной формы, одну вершину которого расположим на линии горизонта в точке 2 , а две другие на прямых AB и MN . На прямой AB возьмем произвольную точку 1_1 и проведем через нее две прямые, параллельные сторонам $1-2$ и $1-3$. В результате на линии горизонта получим точку 2_1 . Из точки 2_1 проведем прямую, параллельную прямой $2-3$, до пересечения с прямой, проведенной из точки 1_1 параллельно прямой $1-3$, получим точку 3_1 . Таким образом, получим два подобных треугольника $1-2-3$ и $1_1-2_1-3_1$. Центром подобия их является точка F , общая для всех прямых, параллельных прямой AB . Соединив прямой точки 3 и 3_1 , получим прямую MN , параллельную прямой AB .

Данный способ находит применение при проверке рисунков, выполненных с натуры или по памяти. Нарисованная шоссейная дорога (рис. 405) на глаз кажется построенной верно, однако при проверке данным способом оказывается, что прямые, ограничивающие дорогу, построены не параллельно.

На картине задана перспектива вертикального столба (рис. 406, а), расположенного перпендикулярно прямой L . Надо начертить еще четыре таких же по высоте столба так, чтобы расстояние между ними было равно отрезку $1-2$.

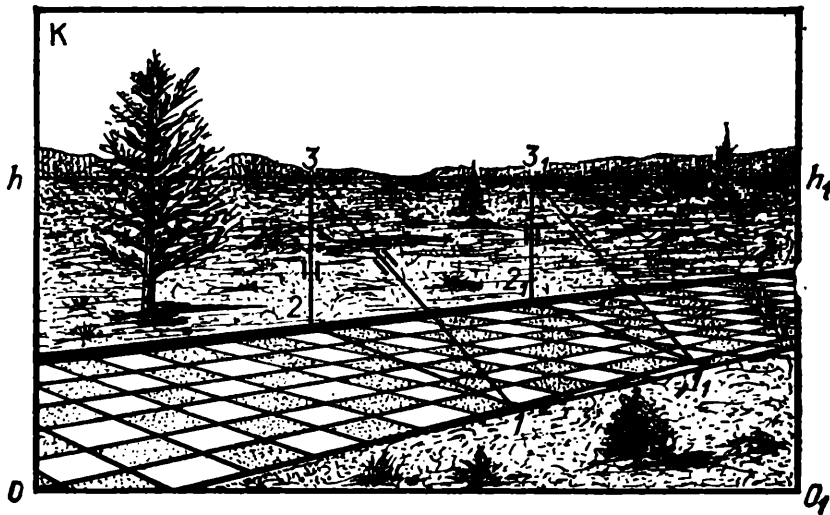


Рис. 405

Для решения задачи используем свойство диагоналей прямоугольника. Диагонали прямоугольника, пересекаясь, делятся пополам и точка их пересечения находится в середине прямоугольника. Очевидно, вначале необходимо построить прямоугольник $II121$ (рис. 406, б), а

затем выполнить построение вертикальных столбов. Из точки 2 восставим перпендикуляр (рис. 406, а), пересекающий линию горизонта в точке A . Точку пересечения прямой $1-1$ с линией горизонта обозначим буквой B . В образовавшемся прямоугольнике $AB12$ проведем диагонали, которые в пересечении определяют середину прямоугольника. Соединим прямой точки A и 1 . Из середины прямоугольника проведем вертикальную прямую, которая пересечется с прямой $A-1$ в точке E . Точку B соединим с точкой E и продолжим прямую до пересечения с прямой $2-A$ в

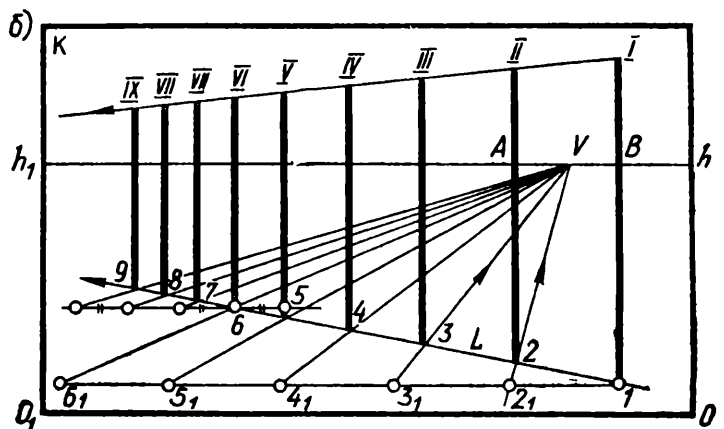
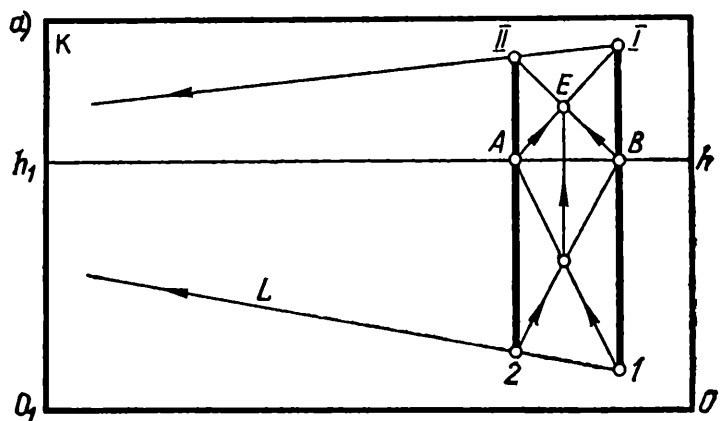


Рис. 406

точке II . Через точки I и II проведем прямую, которая будет параллельна прямой L .

Для построения вертикальных столбов проведем через точку I горизонтальную прямую (рис. 406, б). На линии горизонта возьмем произвольную точку V . Через точки V и 2 проведем прямую до пересечения с горизонтальной прямой в точке 2_1 . От точки 2_1 влево отложим на горизонтальной прямой четыре отрезка, равные

отрезку $1-2$, т. е. отрезки 2_1-3_1 , 3_1-4_1 , 4_1-5_1 и 5_1-6_1 . Через точки 3_1 , 4_1 , 5_1 и 6_1 проведем прямые в точку V . Эти прямые пересекут прямую L в точках 3 , 4 , 5 , 6 . Из полученных на прямой L точек проведем вверх вертикальные прямые до пересечения с прямой $I-II$. Таким образом, построим перспективу четырех вертикальных столбов.

Если на прямой требуется построить еще несколько таких же столбов, то построение следует делать аналогично рассмотренному, проведя горизонтальную прямую через точку 6 влево, как показано на рис. 406, б.

На картине задана перспектива вертикально стоящего прямоугольника $ABEQ$ (рис. 407, а). Пря-

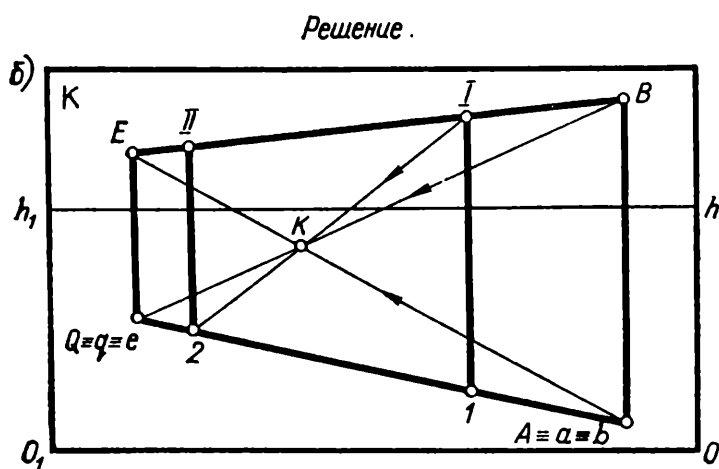
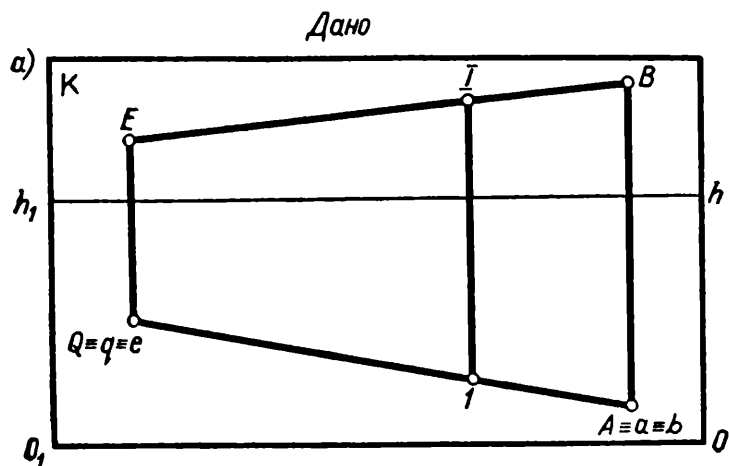


Рис. 407

мая $I-I$ отсекает от заданного прямоугольника еще один прямоугольник $ABII$. Требуется построить прямоугольник $EQ2II$, равный прямоугольнику $ABII$, расположенный в прямоугольнике $ABEQ$.

Решение задачи выполняем способом, основанным на свойствах диагоналей прямоугольника (рис. 407, б). Проведем в большом прямоугольнике диагонали AE и BQ , которые определяют его середину — точку K . Из точки I проведем прямую в точку K и продолжим прямую $I-K$ до пересечения со стороной AQ в точке 2 . Из точки 2 восставим перпендикуляр до пересечения со стороной BE в точке II . Полученный прямоугольник $EII2Q$ равен прямоугольнику $ABII$.

Чтобы удостовериться в правильности способа, предлагаем учащимся сделать чертеж прямоугольника в натуре и на основе геометрических построений. Самостоятельно дать теоретическое обоснование данного способа.

На рис. 408, а изображена перспектива вертикально стоящего прямоугольника $ABEQ$. Точка схода сторон AB и EQ находится за пределами картины. Требуется внутри прямоугольника $ABEQ$ начертить перспективу четырех прямоугольников по заданным их высоте $1-2$, ширине и расстоянию между прямоугольниками.

Графическое решение задачи выполним в такой последовательности.

Определим перспективу двух горизонтальных параллельных прямых, проходящих через точки 1 и 2 , между которыми должны расположиться прямоугольники. Для этого через точки 1 и 2 проведем вертикальную прямую до пересечения с сторонами AB и EQ в точках R и Z (рис. 408, б).

Из вершины B проведем произвольную прямую, т.е. сторону угла, на которой от вершины B отложим отрезки $B-I$, $I-2$ и $2-Z$, равные отрезкам $R-I$, $I-2$ и $2-Z$. Точку Z соединим прямой с точкой E , получим отрезок EZ . Через точки 2 и 1 проведем прямые, параллельные отрезку EZ до пересечения со стороной BE . Полученные точки пересечения на прямой BE соединим прямыми с точками 1 и 2 , расположенными на прямой RZ . Таким образом, начертим две параллельные прямые, между которыми расположатся прямоугольники.

Построение горизонтальных параллельных прямых, проходящих через точки 1 и 2 , выполнено с помощью углового пропорционального масштаба.

Начертим прямоугольники. Для этого обозначим верхнюю сторону первого прямоугольника цифрами $I-II$. Вертикальную сторону следующего прямоугольника обозначим $III-L$. Отрезки $I-2$ и $III-L$ разделим пополам и через середины их проведем прямую. Эта прямая проходит через середины вертикальных сторон всех четырех прямоугольников. В промежутке между первым и вторым прямоугольниками проведем прямую $II-L$, которая пересечется со средней линией, проходящей через середины прямоугольников в точке I_1 .

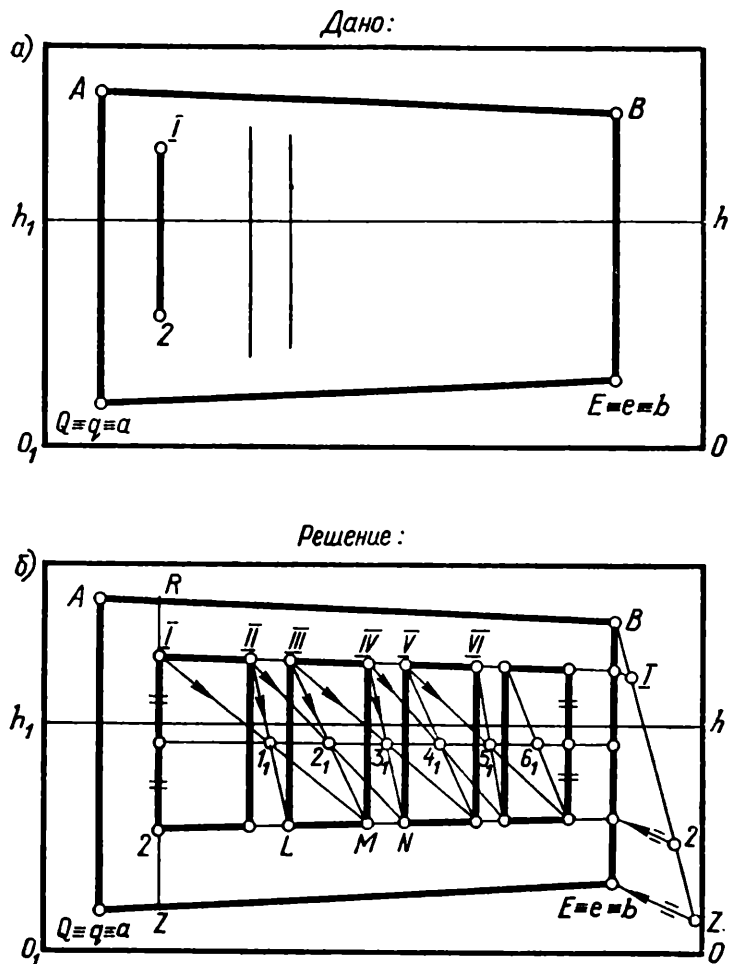


Рис. 408

Построим перспективу второго прямоугольника. Через точки I и I_1 проведем прямую до пересечения с прямой 2_1 в точке M . Отрезок $L—M$ определит ширину второго прямоугольника. Из точки M проведем вверх вертикальную прямую до пересечения с прямой $I—III$ в точке IV .

Во втором прямоугольнике проведем диагональ $III—M$, которая пересечет среднюю линию в точке 2_1 . Через точки II и 2_1 проведем прямую до пересечения с прямой $2_1—M$ в точке N . Из точки N проведем вверх прямую до пересечения с прямой $I—IV$ в точке V . Начертим диагональ $IV—N$, которая определит точку 3_1 . Дальнейшее построение аналогично построению второго прямоугольника.

Рассмотренный способ может применяться при построении перспективы рисунка орнамента на шкатулке или при разметке перспективы окон на одной из стен перспективного изображения здания.

§ 70. СПОСОБ МАЛОЙ КАРТИНЫ

Перспективные изображения, построенные по способу малой картины, дают возможность выполнять все построения в пределах рамки картины. Поскольку художнику приходится работать чаще всего именно в пределах рамки картины, то данный способ имеет для него весьма важное значение.

На рис. 409, *а* показан чертеж проецирующего аппарата, на котором получена перспектива некоторой заданной плоскости K' , параллельной картине. Расстояние между картинами равно отрез-

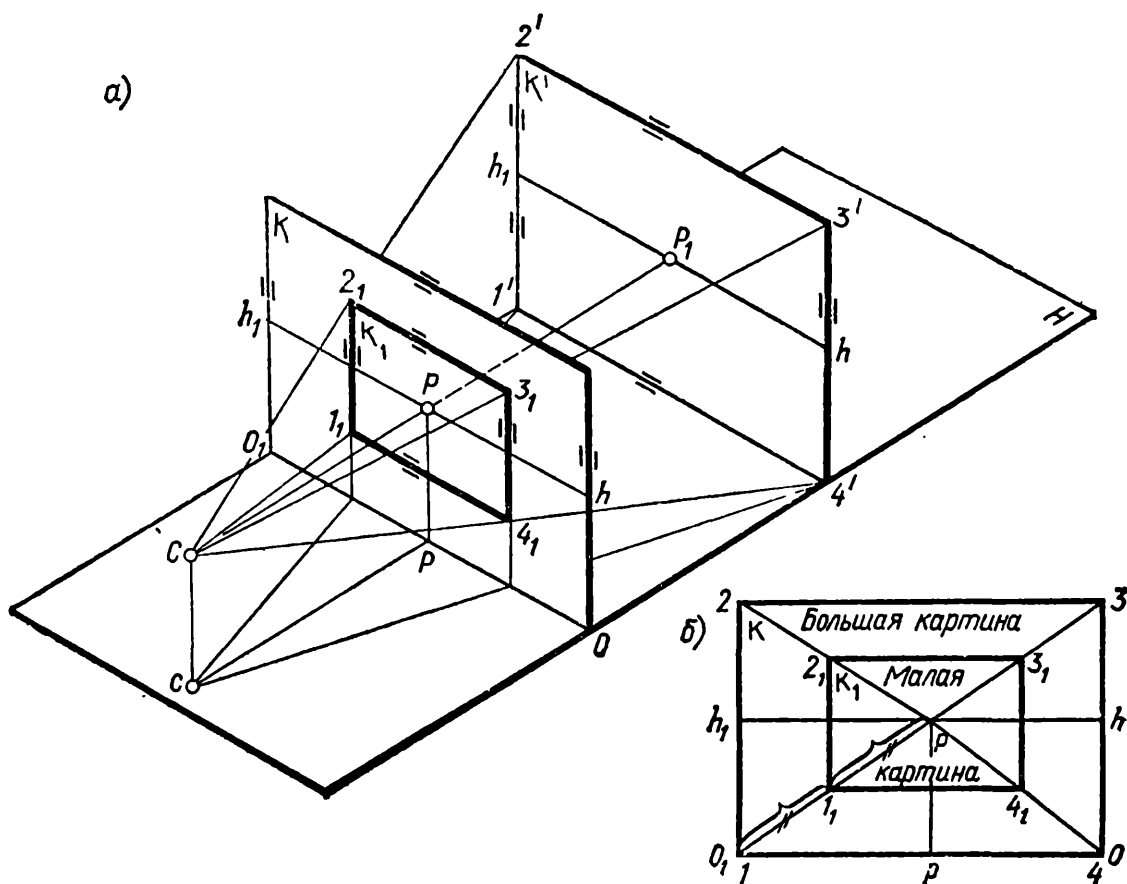


Рис. 409

ку PP_1 . Обе плоскости K и K' между собой подобны, поскольку они являются основаниями пирамид $S I'2'3'4'$ и $S I_12_13_14_1$ с общей вершиной S . Коэффициент подобия определяется отношением расстояний точки зрения от плоскостей K и K' ($CP_1:CP$), т. е. отношение взято 1:2, поэтому линейные размеры K' получились на картине вдвое меньше.

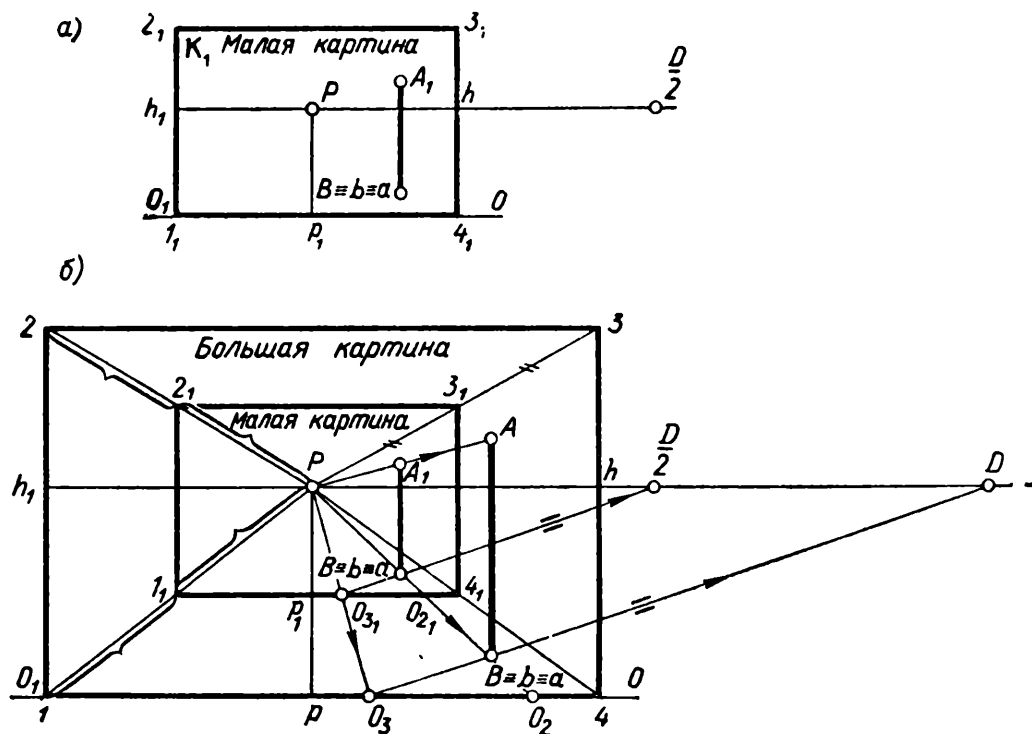


Рис. 410

При совмещении плоскостей K' и K (рис. 409, б) получим малую и большую картины, расположенные в одной плоскости. При переходе от малой картины к большой необходимо соблюдать свойства подобных фигур: 1) две соответствующие точки подобных фигур лежат на одной прямой, проходящей через центр подобия; 2) два соответствующих отрезка, взятых на малой картине, параллельны соответствующим отрезкам на большой картине.

Предположим, что на малой картине K изображена перспектива отрезка AB (рис. 410, а). Требуется увеличить малую картину и перспективу отрезка AB в два раза.

Основываясь на положении о том, что точки подобных фигур лежат на одной прямой, проходящей через центр подобия (рис. 410, б), определим соответствующие вершины большой картины. Для этого соединим точку P с вершинами малой картины и продолжим эти прямые за рамки картины. На продолжении прямой $P-A_1$ точки P отложим отрезок $P-A_1$, увеличенный в два раза. Точка 4 получится на основании большой картины.

Основываясь на втором положении о параллельности отрезков подобных фигур, построим стороны большой картины. Через точки 1 и 4 проведем прямые, параллельные малой картине. Таким образом, получим рамку большой картины $1\ 2\ 3\ 4$.

На большой картине определим перспективу отрезка AB . Для этого проведем прямую PB_1 и продолжим ее до основания большой картины. Получим точку O_2 на малой картине и точку O_2 на большой. Через вершину B_1 и точку $D/2$ проведем прямую до пересечения с основанием картины в точке $O_{3,1}$. Точку $O_{3,1}$ соединим прямой с основанием большой картины в точке O_3 . Из точки O_3 проведем прямую, параллельную прямой $O_{3,1} - D/2$, до пересечения с линией горизонта в точке D . Прямая O_3D пересечет прямую O_2P в искомой точке B . Из точки B восставим перпендикуляр до пересечения с прямой PA_1 в точке A .

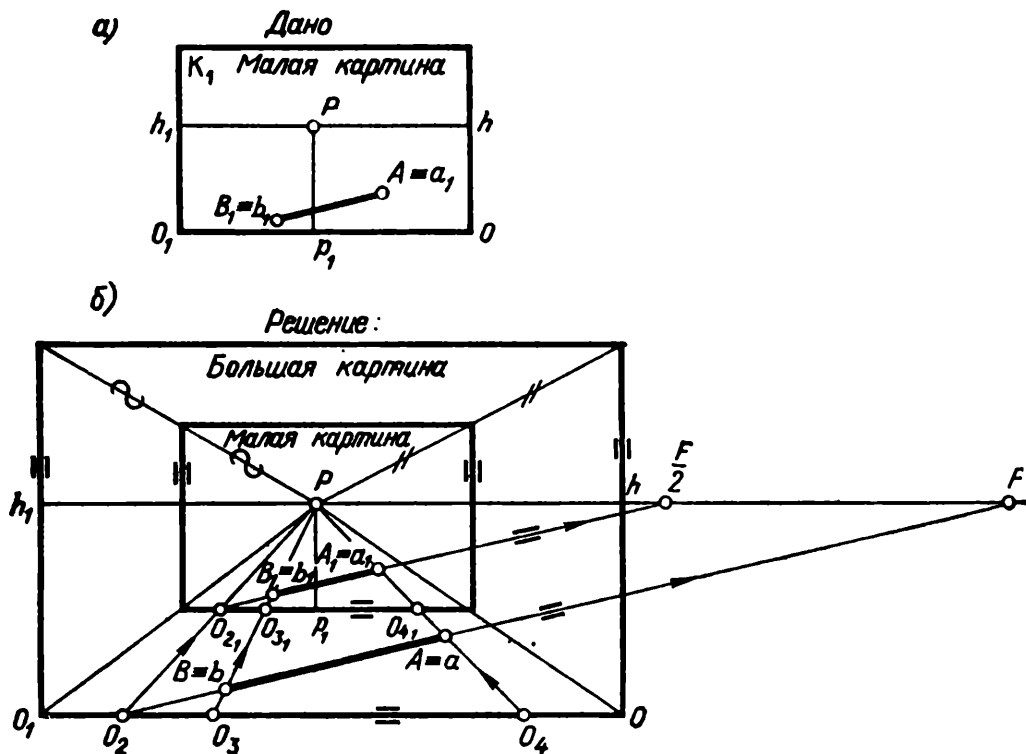


Рис. 411

При совмещении плоскости K' с плоскостью K метрические элементы картины находятся между собой в определенном отношении: если увеличение выполняется в три раза, то дистанционные точки на малой картине обозначаются $D/3$, $D_1/3$, а точки схода для параллельных прямых — $F/3$, $V/3$.

Если отрезок AB задан на малой картине под некоторым произвольным углом к картине (рис. 411, а) и необходимо построить его перспективу на большой картине, увеличенной в два раза, то сначала определяют на малой картине картинный след $O_{2,1}$ (рис. 411, б) и точку $F/2$. Затем строят большую картину, увеличенную в два раза. Через концы отрезка A_1B_1 и точку $O_{2,1}$ проводят из точки P прямые до пересечения с основанием большой картины в точках O_2 , O_3 и O_4 . На большой картине из точки O_2 проводят прямую, параллельную A_1B_1 , до пересечения с линией горизонта в точке F . Отрезки $P - F/2$ и $F/2 - F$ должны быть равны. Искомый отрезок AB на большой картине расположен на пересечении прямой O_2F с прямыми O_3P и O_4P .

Допустим, что на большой картине задана перспектива отрезка AB , лежащего на предметной плоскости. Требуется построить перспективу квадрата $ABEQ$. На картине заданы точки P и $D_{1/3}$ (рис. 412).

Решение задачи выполняем с помощью построения перспективы квадрата на малой картине. Поскольку на большой картине задана дробная дистанционная точка $D_{1/3}$, то малую картину

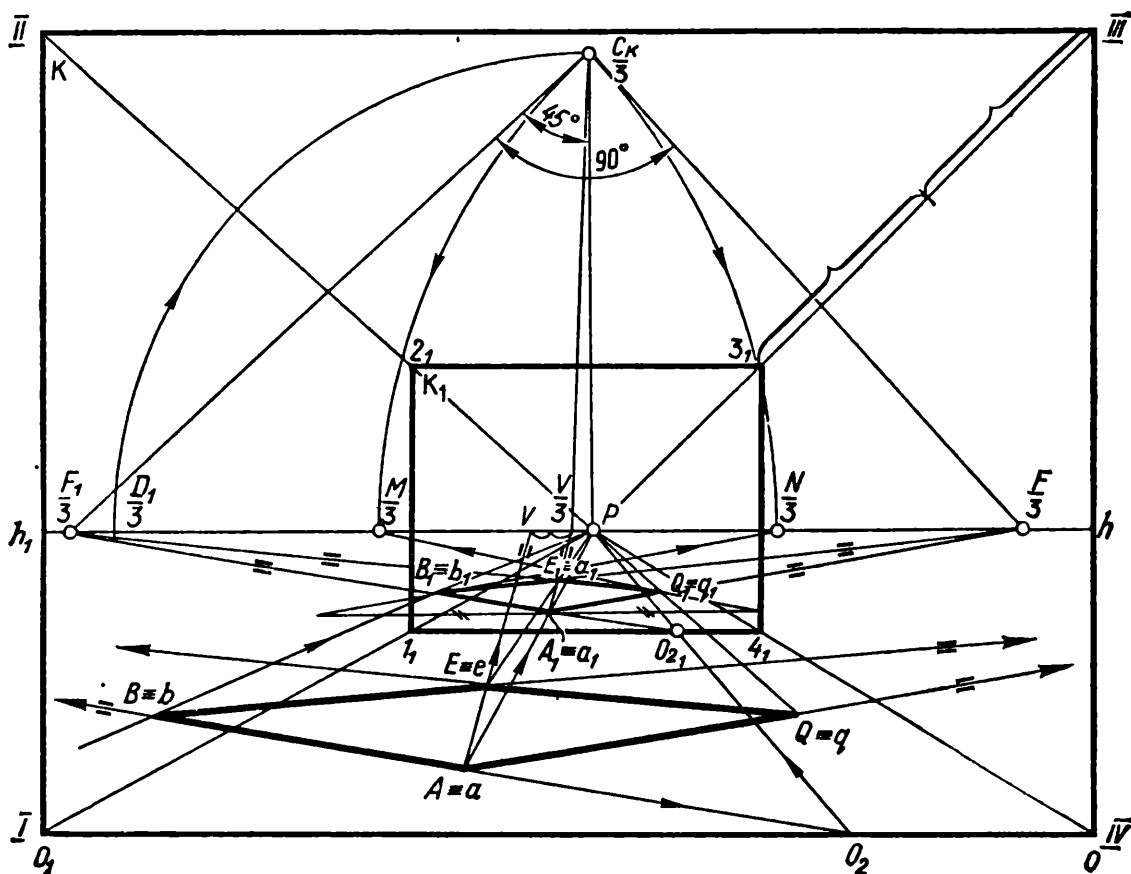


Рис. 412

берем с уменьшением в три раза. Для этого вершины большой картины соединим с точкой P . Отрезки $P-I$, $P-II$, $P-III$ и $P-IV$ разделим на три равные части. Построим малую картину $I_1 2_1 3_1 4_1$. Продолжим отрезок AB до основания большой картины в точке O_2 . Полученный картинный след O_2 соединим прямой с точкой P . Отрезок PO_2 пересечет основание малой картины в точке O_{2_1} . Через точку O_{2_1} проведем прямую, параллельную отрезку AB , до пересечения ее с линией горизонта в точке $F_{1/3}$.

Таким образом, определим направление стороны AB на малой картине. Чтобы определить перспективу AB на малой картине, надо через концы отрезка AB провести прямые (перпендикуляры) в точку P , которые пересекут прямую $O_{2_1} F_{1/3}$ в точках A_1 и B_1 . Дальнейшее построение выполняем на малой картине.

Определим совмещенную точку зрения $C_K/3$. Построим при ней прямой угол. Определим масштабные точки $M/3$ и $N/3$ с помощью которых построим перспективу квадрата $A_1 B_1 E_1 Q_1$. На большой картине через вершину A проведем прямую, параллельную отрез-

ку A_1Q_1 , через вершину B — прямую, параллельную стороне B_1E_1 . Затем из точки P проведем прямые PQ_1 и PE_1 до пересечения с прямыми, проведенными через вершины A и B на большой картине, параллельно сторонам A_1Q_1 и B_1E_1 в искомым точках Q и E . Соединив прямой точки Q и E , получим перспективу квадрата $ABEQ$ на большой картине. Перспектива квадрата на большой картине подобна перспективе квадрата на малой картине, так как вершины квадратов лежат на параллельных прямых, расположенных в предметной плоскости, и все стороны одного квадрата параллельны сторонам другого квадрата.

Рассмотрим пример построения перспективы угла комнаты с применением способа малой картины.

Допустим, что необходимо построить перспективу угла комнаты на большой картине, имея следующие данные: высота линии горизонта 1,5 м, высота потолка 3 м. Правая стена комнаты примерно в два раза больше левой. Расстояние зрителя до картины PD немного больше диагонали картины. На полу начерчена сетка, состоящая из квадратов размером в 1 м². Большая картина в четыре раза превышает малую.

Начертим рамку малой картины $A_1B_1F_1Q_1$, сдвинув ее немного вправо по отношению к формату листа, поскольку правая стена комнаты больше левой по условию (рис. 413). Ниже и правее малой картины начертим линейный масштаб. Проведем линию горизонта на высоте 1,5 м и продолжим ее вправо и влево за рамку картины. На линии горизонта определим положение точек P и $D_1/4$ с учетом того, чтобы совмещенная точка $C_K/4$ не выходила за рамку большой картины. Для этого прикинем размер большой картины. Соединим прямой точку P_1 с вершиной B_1 и, продолжив ее вверх, отложим на этой прямой от точки P_1 четыре отрезка P_1B_1 . Если точка B ниже точки $C_K/4$, то отрезок P_1D_1 надо уменьшить.

На малой картине проведем вертикальную прямую, отстоящую от правой рамки картины примерно на две трети ширины картины. Эта прямая определит границу левой и правой стен комнаты. На левой раме картины возьмем в произвольном месте точку I_1 и проведем через нее прямую произвольного направления до пересечения с линией горизонта в точке $F_1/4$, как показано на рис. 413. Прямая $I_1—F_1/4$ пересечется с вертикальной прямой в точке II_1 . От точки II_1 отложим вверх отрезок $III_1—IV_1$, равный отрезку $II—III$.

Определим совмещенную точку зрения $C_K/4$ и из нее проведем прямую в точку $F_1/4$. Перпендикулярно прямой $F_1/4—C_K/4$ проведем прямую $C_K/4—V_1/4$, получим прямой угол $V_1/4—C_K—F_1/4$. Полученные точки $F_1/4$ и $V_1/4$ являются точками схода для левой и правой стен комнаты. Начертим перспективу стен, пола и потолка комнаты на малой картине. Чтобы расчертить пол комнаты на квадратные метры, используем для этого масштабные точки $M_1/4$ и $N_1/4$. Через точку II_1 проведем горизонтальную прямую и отложим на ней вправо четыре отрезка, равных одному метру. От

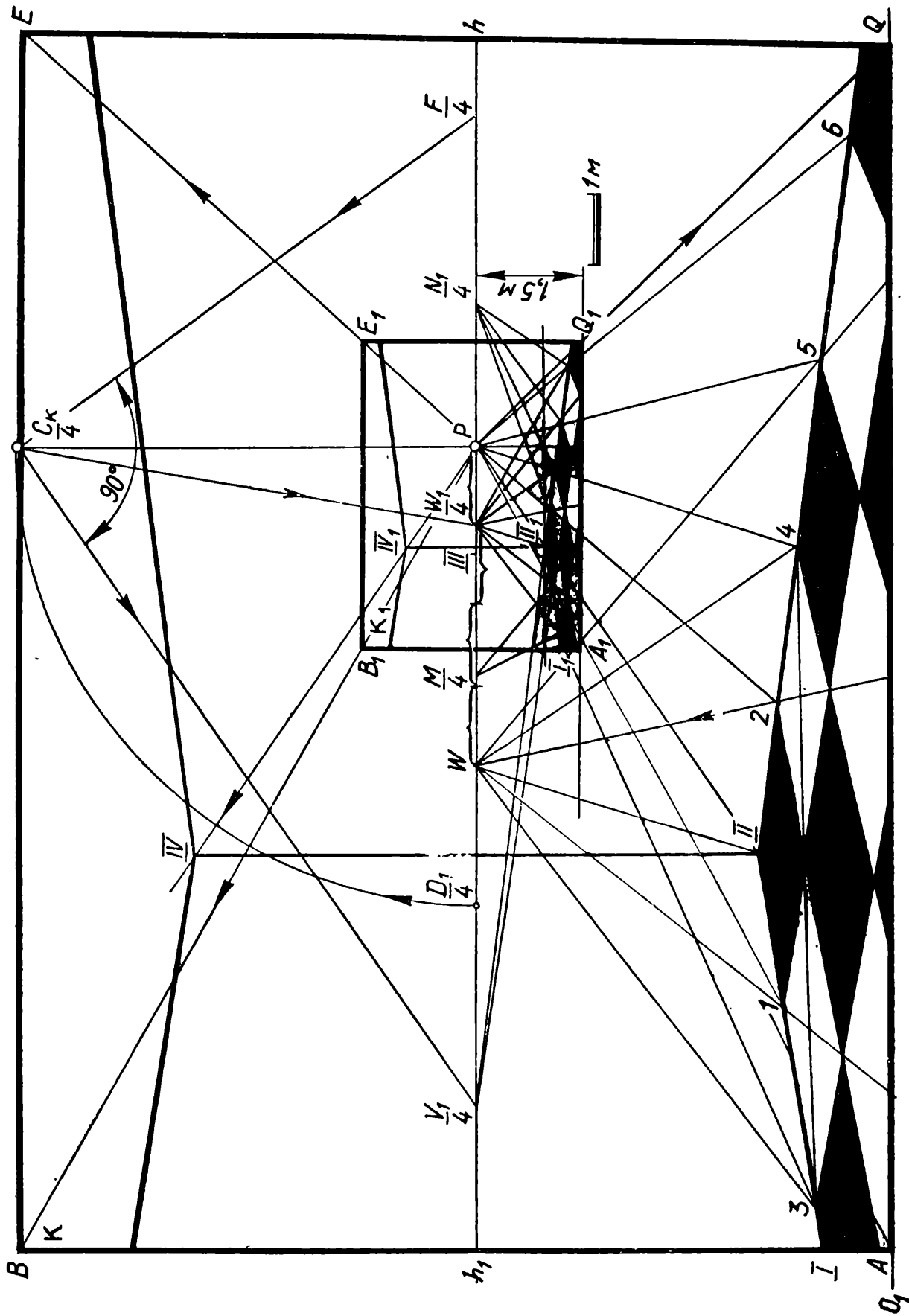


Рис. 413

точки II_1 на основании левой стены отложим два отрезка по одному метру и на основании правой стены четыре метра. Через полученные точки делений проведем параллельные прямые в точки $F_1/4$ и $V_1/4$, как показано на рис. 413. Квадраты, полученные на малой картине, заштрихуем в шахматном порядке.

Начертим большую картину, увеличенную в четыре раза. Построим линию пересечения стен, т. е. отрезок $II-IV$. Для этого проведем прямую $P-II_1$, на которой отложим четыре отрезка, равных $P-II_1$, определим точку II . Из точки II восставим перпендикуляр до пересечения с прямой $P-IV_1$ в точке IV . Линии пересечения стен с полом и потолком проведем параллельно этим же линиям на малой картине. Продолжим прямые, проходящие через точку P и точки деления на основаниях стен до пересечения их с соответствующими основаниями стен на большой картине. Для построения перспективы сетки, состоящей из квадратных метров, надо на малой картине из точки C_K провести биссектрису угла

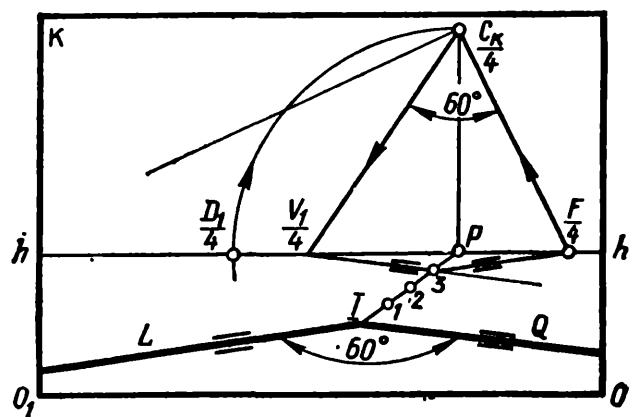


Рис. 414

$V_1/4-C_K/4-F_1/4$. Затем отрезок $P-W_1/4$ отложить от точки P влево четыре раза, получим точку W . Через точку W проведем прямые, проходящие через точки деления стен комнаты на большой картине до пересечения основания большой картины. Эти прямые пересекут пол в точках $1, 3$ на левой стене и в точках $2, 4, 5, 6$ на правой стене. Соединим точки 1 и $2, 3$ и 4 прямыми, которые являются диагоналями квадратов. Пересечение полученных диагоналей с прямыми $W-1, W-2, W-3, W-4$ образуют недостающие вершины квадратов.

При построении перспективы объектов не всегда на картине изображают рамку малой картины, а пользуются дробными точками. Допустим, что на картине задана прямая L произвольного направления (рис. 414) и точка I , лежащая на прямой L ($L \supset I$). Заданы точки P и $D_1/4$. Требуется через точку I провести прямую Q под углом 60° к прямой L .

Точку I соединим с точкой P прямой $I-P$, т. е. построим перпендикуляр к картине. Прямую $I-P$ разделим на четыре равные части точками $1, 2, 3$. Через точку 3 проведем прямую, параллельную прямой L , которая пересечет линию горизонта в точке $F/4$. Определим совмещенную точку зрения $C_K/4$. Соединим прямой точки $C_K/4$ и $F/4$. При точке $C_K/4$ построим угол 60° , как показано на рис. 414. Точку $V_1/4$ соединим с точкой 3 .

Если через точку I провести прямую, параллельную прямой $3-V_1/4$ до пересечения с рамкой картины, то эта прямая Q составит с прямой L угол 60° .

**§ 71. НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ,
ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ КОМПОЗИЦИЙ
И РИСУНКОВ С НАТУРЫ**

При составлении композиций чаще всего используют те способы перспективных построений, которые позволяют выполнять все построения в рамках картины. Иначе говоря, с помощью предлагаемых способов можно осуществлять проверку правильности перспективных построений, как, например, определять положение линии горизонта относительно нескольких параллельных прямых, вносить исправления в рисунки плоских и объемных фигур и т. д.

На картине изображена перспектива двух параллельных прямых Q и L (рис. 415). Требуется определить, верно ли задано положение линии горизонта относительно прямых Q и L . Задачу решить в пределах рамки картины.

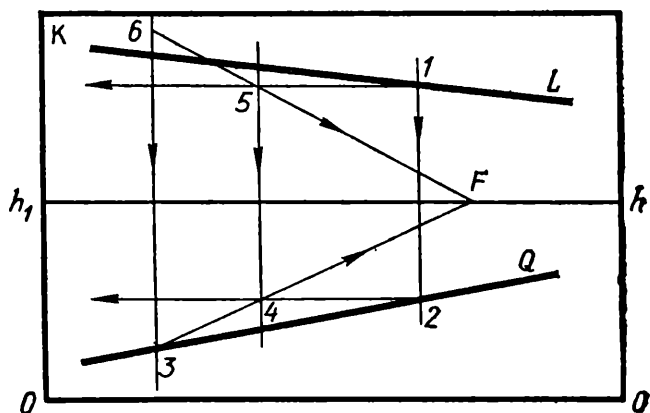


Рис. 415

Для параллельных прямых Q и L точка схода обязательно должна находиться на линии горизонта, согласно условию задачи. Если же точка схода прямых Q и L расположится выше или же ниже линии горизонта, то в таком случае положение линии горизонта задано неверно. Сущность предлагаемого способа состоит в том, что параллельные отрезки, расположенные между параллельными прямыми, равны между собой. Основываясь на теореме о равенстве параллельных отрезков, расположенных между параллельными прямыми, решим эту задачу.

Пересечем обе прямые вертикальной прямой, расположенной правее середины картины. Точки пересечения прямых обозначим цифрами 1 и 2. Немного левее прямой 1—2 проведем прямую, параллельную прямой 1—2, которая пересечет прямую Q в точке 3. Через точки 1 и 2 начертим горизонтальные прямые, направленные влево. Между точками 2 и 3 в произвольном месте проведем еще одну вертикальную прямую, которая пересечет горизонтальные прямые в точках 4 и 5. Соединим точки 3 и 4 прямой и продолжим ее до пересечения с линией горизонта в точке F . Через точки F и 5 проведем прямую до пересечения с вертикальной прямой, проходящей через точку 3. Получим точку 6, которая расположилась выше прямой L . Из построения видно, что положение линии горизонта по отношению к параллельным прямым L и Q задано неверно. По масштабу высоты отрезок 1—2 должен быть равен отрезку 3—6, но поскольку точка 6 не лежит на прямой L , то отрезок 3—6 не равен отрезку 1—2, следовательно, положение линии горизонта соответствует лишь сторонам 3—4 и 5—6 параллелограмма 3 4 5 6, но не прямым L и Q .

Пересечем обе прямые вертикальной прямой, расположенной правее середины картины. Точки пересечения прямых обозначим цифрами 1 и 2. Немного левее прямой 1—2 проведем прямую, параллельную прямой 1—2, которая пересечет прямую Q в точке 3. Через точки 1 и 2 начертим горизонтальные прямые, направленные влево. Между точками 2 и 3 в произвольном месте проведем еще одну вертикальную прямую, которая пересечет горизонтальные прямые в точках 4 и 5. Соединим точки 3 и 4 прямой и продолжим ее до пересечения с линией горизонта в точке F . Через точки F и 5 проведем прямую до пересечения с вертикальной прямой, проходящей через точку 3. Получим точку 6, которая расположилась выше прямой L . Из построения видно, что положение линии горизонта по отношению к параллельным прямым L и Q задано неверно. По масштабу высоты отрезок 1—2 должен быть равен отрезку 3—6, но поскольку точка 6 не лежит на прямой L , то отрезок 3—6 не равен отрезку 1—2, следовательно, положение линии горизонта соответствует лишь сторонам 3—4 и 5—6 параллелограмма 3 4 5 6, но не прямым L и Q .

Пусть задана перспектива некоторого прямоугольника, лежащего в предметной плоскости (рис. 416, а). Необходимо проверить, насколько верно построена его перспектива.

Проверим, соответствует ли положение линии горизонта для двух сторон AQ и BE прямоугольника. Способ основан на правилах построения перспективного масштаба высоты. Продолжим сторону BE вправо. Из

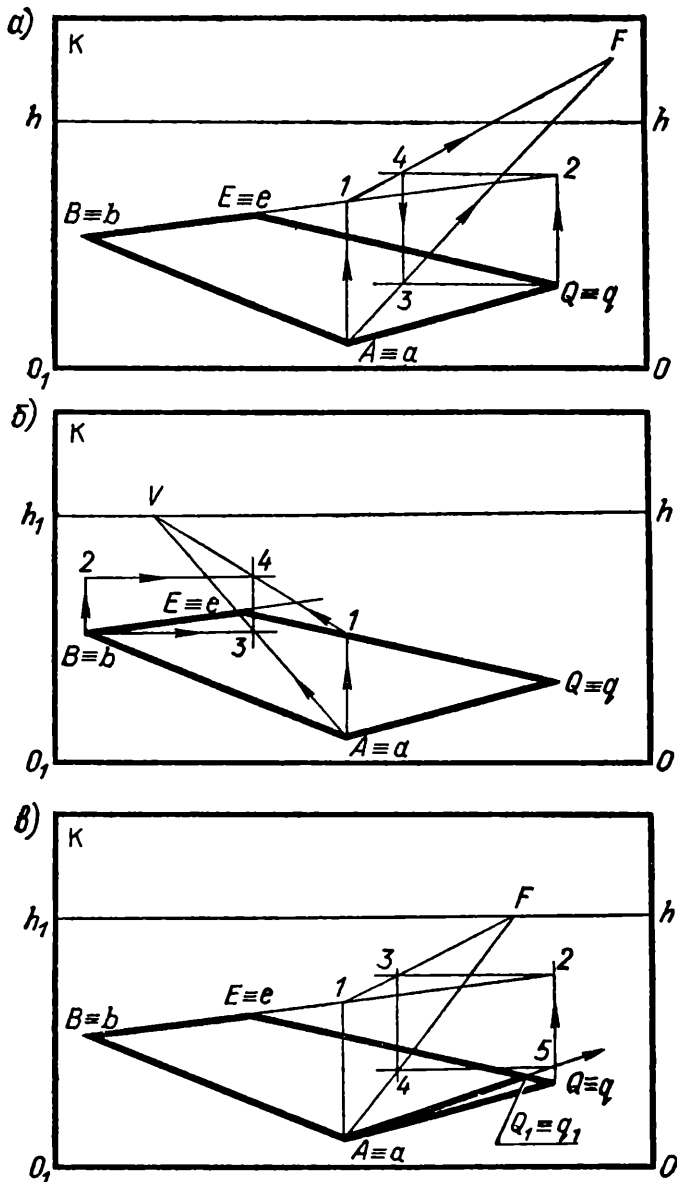


Рис. 416

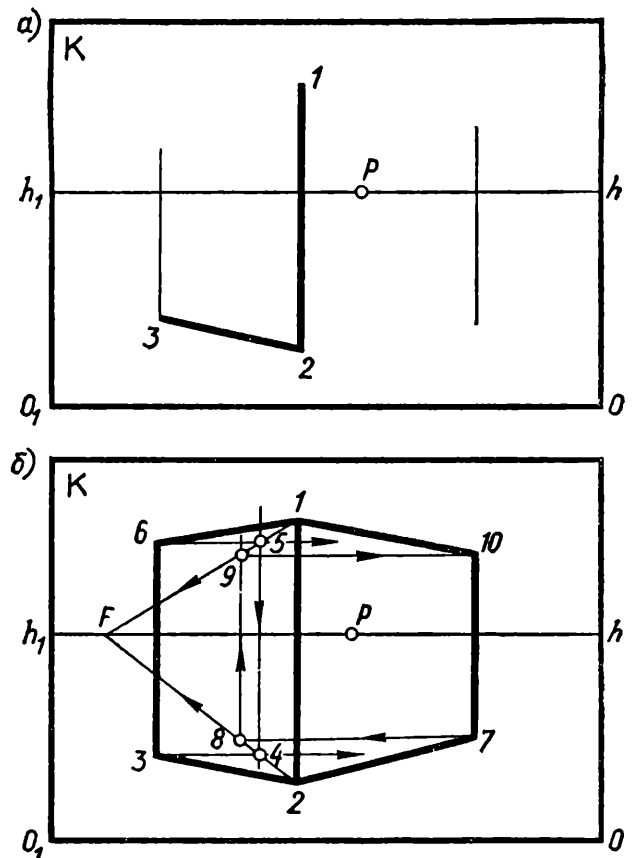


Рис. 417

точки Q проведем две прямые: одну вертикальную вверх, а другую горизонтальную. Из вершины A восставим перпендикуляр, который пересечет продолженную сторону BE в точке 1 . Сторона BE пересечется с вертикальной прямой, проведенной из вершины Q в точке 2 . Через точку 2 проведем влево горизонтальную прямую. Далее в произвольном месте между прямыми $A-1$ и $Q-2$ проведем вертикальную прямую, которая пересечет две горизонтальные прямые в точках 3 и 4 , как показано на рис. 416, а. Через вершину A и точку 3 проведем прямую до пересечения с прямой, проходящей через точки 1 и 4 . Продолженные прямые $A-3$ и $1-4$ пересекутся в точке F , которая получилась выше линии горизонта. Следовательно, стороны AQ и BE построены неверно, и в чертеж необходимо внести исправление.

Проверим параллельность двух других сторон прямоугольника AB и QE точно таким же способом (рис. 416, б). Из построения видно, что стороны AB и QE изображены верно.

Поправим стороны AQ и BE (см. рис. 416, б). Для этого продолжим сторону BE . Из вершины A восставим перпендикуляр до пересечения с продолженной прямой BE в точке 1 . Из вершины Q также восставим перпендикуляр до пересечения со стороной BE в точке 2 . Через точку 2 проведем влево горизонтальную прямую. Далее начертим произвольную вертикальную прямую, которая пересечется с горизонтальной прямой в точке 3 . Через точки 1 и 3 проведем прямую до пересечения с линией горизонта в точке F . Начертим прямую AF , которая пересечется с вертикальной прямой, проходящей через точку 3 , в точке 4 . Из точки 4 проведем вправо горизонтальную прямую до пересечения с прямой $Q-2$ в точке 5 . Искомой прямой является прямая $A-5$. Таким образом, перспектива прямоугольника $ABEQ$ исправлена.

Данный способ не является единственным. Однако его можно использовать и при проверке рисунков, выполненных с натуры. Например, при рисовании с натуры параллелепипеда, стоящего на предметной плоскости под некоторым углом к картине. Допустим, что рисующий изобразил на картине линию горизонта, определил размер выступающего ребра $1-2$, ширину двух граней и направление одного ребра $2-3$ (рис. 417, а). Требуется закончить построение перспективы параллелепипеда, используя рассмотренный способ.

Через точку 3 проведем вправо горизонтальную прямую (рис. 417, б) и пересечем ее в произвольном месте между точками 3 и 2 вертикальной прямой, получим точку 4 . Проведем прямую $2-4$ до пересечения с линией горизонта в точке F . Точку 1 соединим прямой с точкой F . Прямая $1-F$ пересечется с вертикальной прямой в точке 5 . Через точку 5 проведем горизонтальную прямую до пересечения с вертикальным ребром 3 в точке 6 . Начертим прямую $1-6$, которая является ребром параллелепипеда.

Для построения перспективы другой грани определим на глаз положение ребра $2-7$, т. е. на вертикальной прямой возьмем произвольную точку 7 и начертим ребро $2-7$. Точка 7 может быть расположена выше или ниже вершины 3 или на одинаковом уровне с ней, т. е. положение ребра $2-7$ выбирается произвольно. Допустим, что положение ребра 7 будет выше вершины 3 . Соединим прямой точку 2 и точку 7 . Через точку 7 проведем горизонтальную прямую до пересечения с прямой $2-F$ в точке 8 . Из точки 8 восставим перпендикуляр до пересечения с прямой $1-F$ в точке 9 . Из точки 9 проведем вправо горизонтальную прямую до пересечения ее с вертикальным ребром 7 в точке 10 . Точку 10 соединим прямой $1-10$. Таким образом закончим построение перспективы параллелепипеда, не выходя за пределы рамки картины.

На рис. 418 показан пример проверки рисунка натюрморта, выполненного с натуры. Линия горизонта определилась возле верхней рамки картины. Рисунок построен верно. Аналогичным спосо-

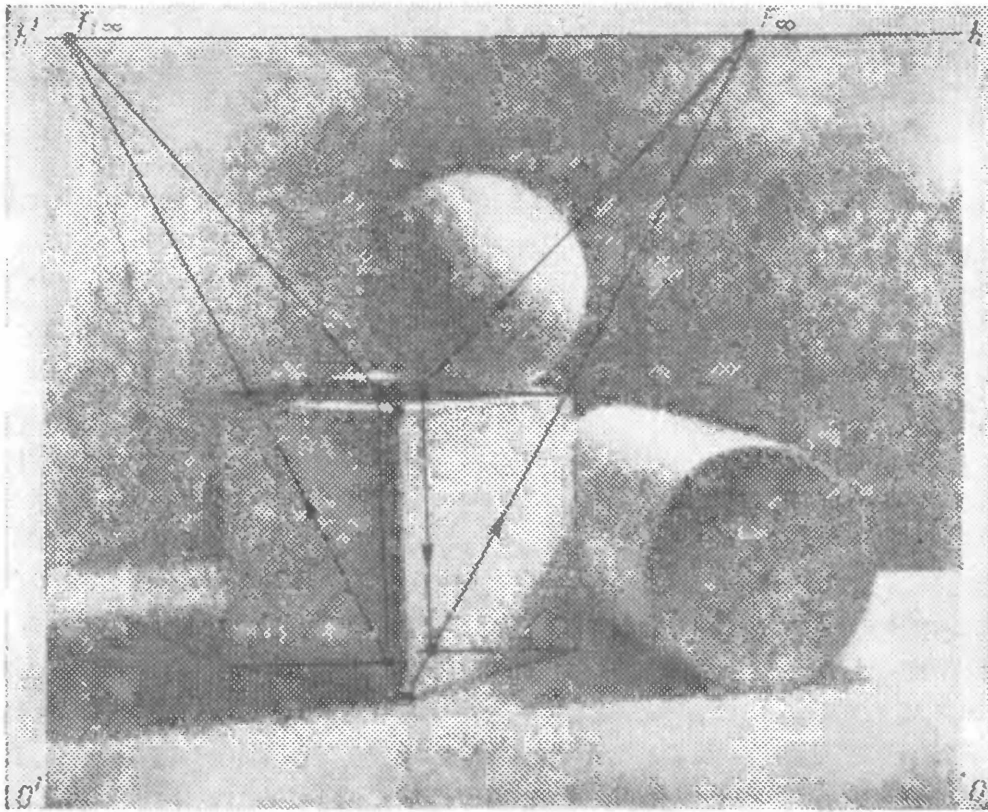


Рис. 418

бом выполнена проверка перспективного построения интерьера (рис. 419). Анализ проверки подтверждает, что точки схода для левой и правой стен комнаты расположатся на линии горизонта. Следовательно, построение перспективы стен, пола и потолка комнаты построены верно. Для проверки построения перспективы окна можно применить этот же способ.

Рассмотренным способом можно осуществить не только проверку построения перспективы пучка параллельных прямых в пределах рамки картины, но и вносить в рисунок соответствующие исправления. Однако следует заметить, что при неправильном выборе главного расстояния PD перспективное изображение исказится и в этом случае и данный способ не поможет исправить наглядность изображения.

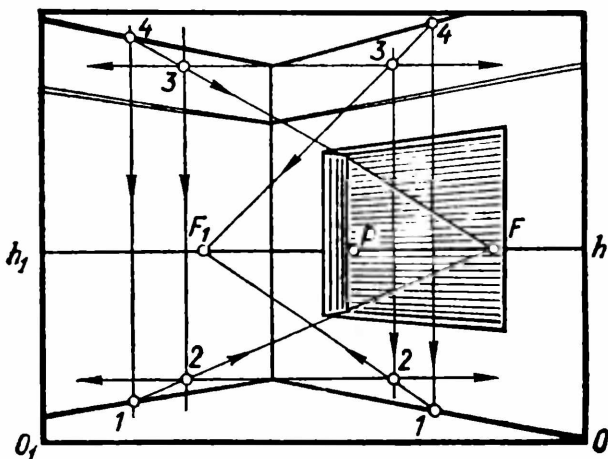


Рис. 419

Контрольные вопросы. 1. Объясните сущность одного из способов построения перспективы прямой, параллельной заданной на картине прямой при недоступной точке схода. 2. Как построить перспективу вертикально стоящего прямоугольника, если на картине заданы его две стороны? Дать теоретическое обоснование способа. 3. Для чего применяют способ малой картины? В чем сущность этого способа? 4. Нужно ли всегда на картине изображать рамку малой картины, если известны дробные точки схода?

Глава 21

ТЕОРИЯ ТЕНЕЙ

Правильно построенная перспектива предмета правдиво передает его форму и пропорции. Но если на перспективное изображение предмета умело нанести свет и тень, то наглядность предмета значительно улучшится. Поэтому умение выполнять построение теней в перспективе на основе закономерности освещения является важнейшей задачей для художника, скульптора и архитектора.

Начиная с эпохи Возрождения, светотень становится одним из главных изобразительных средств в реалистической живописи.

Накопленный веками опыт по изображению особенностей освещения позволил художникам разработать определенные правила, с помощью которых можно грамотно передавать в рисунке и чертеже объемную форму предмета. Так, в изобразительном искусстве имеется немало примеров, когда художник с помощью света и тени сосредоточивает внимание зрителя на главном персонаже, освещая в картине одни фигуры и погружая в тень другие. Одна и та же модель выглядит на рисунке неодинаково, если брать для нее различное освещение, например направить сначала свет сверху, затем снизу, потом сбоку, спереди и сзади. Следовательно, умение строить светотень позволяет художнику находить очень интересные и сложные композиционные решения.

В окружающем нас пространстве лучи света распространяются по прямым линиям. Световые лучи, расходящиеся от источников света, освещают ту часть предмета, которая обращена к свету. Неосвещенная часть предмета называется *собственной тенью*. Границы собственной тени определяются лучами света, проведенными от источника света, касательными к предмету. Граница между освещенной и неосвещенной частями предмета определяет линию, которая называется контуром собственной тени или линией раздела света и тени.

Тень, отбрасываемая освещенным предметом на плоскость или какую-либо другую поверхность, называется *падающей тенью*. Контур падающей тени является проекцией контура собственной тени. Иначе говоря, контур падающей тени от предмета есть линия пересечения лучевой поверхности, касательной к поверхности данного предмета, с какой-либо поверхностью. Таким образом, для построения контуров падающих теней вначале необходимо определить границы собственных теней, т. е. линии светораздела, а затем строить падающую тень.

При построении теней рассматривают два вида освещения: естественное — параллельное (свет от солнца и луны) и искусственное — центральное (свет факела, электрической лампочки и пр). Если предмет освещается естественным источником света, то световые лучи принято считать параллельными, так как такие источники, как солнце и луна, находятся на бесконечно большом расстоянии. При солнечном освещении лучи, ка-

сательные к предмету, образуют цилиндрическую или призматическую поверхность. В различное время дня падающие от предметов тени меняют свою форму, т. е. становятся длиннее или короче. Наиболее длинные тени от предметов можно наблюдать в утренние и вечерние часы, а самые короткие — в полдень, когда солнце находится над головой. Когда плоскость, на которую падает тень от некоторой фигуры, параллельна фигуре, форма тени, получаемой на плоскости, подобна форме фигуры. Например, тень от шара может получиться в виде окружности, когда световые лучи направлены перпендикулярно плоскости, т. е. в земле, над которой поднят шар. Если солнечные лучи направлены не перпендикулярно, то падающая тень от шара получится эллипсообразной. Тень от прямоугольника при перпендикулярном направлении лучей к плоскости получится также прямоугольной, а при направлении лучей под острым или тупым углом тень изобразится растянутой, длинной.

При искусственном освещении, когда источник света находится недалеко от предмета, световые лучи, касаясь предмета, образуют как бы пирамидальную или коническую поверхность, т. е. свет идет из некоторой точки. Поэтому искусственный источник света принято называть точечным, факельным, центральным освещением или просто светящейся точкой S . Светящаяся точка, как и всякая точка пространства, определяется на картине как перспектива самой светящейся точки S и ее основания s .

Если предмет освещается несколькими источниками света, то падающие тени накладываются одна на другую (рис. 420). Место наложения двух падающих теней называется полной тенью, несовпадающие части теней называются полутенями, так как

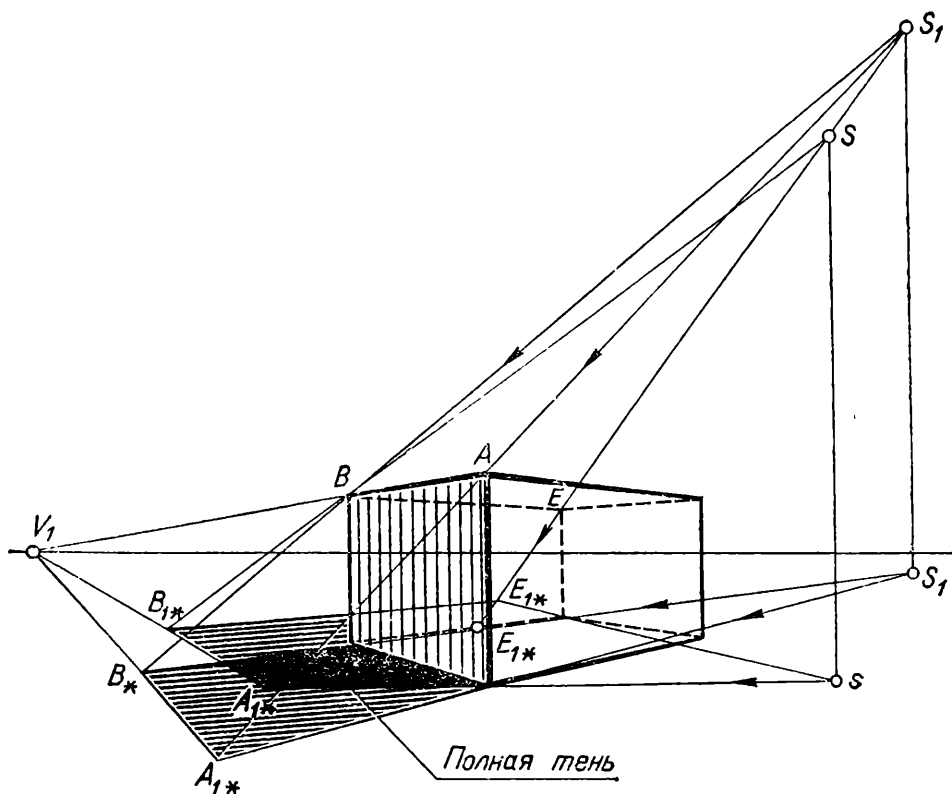


Рис. 420

они менее насыщены, чем полная тень. Если потребуется построить падающие тени от нескольких источников света, то выполняют каждую из них отдельно, т. е. строят сначала падающую тень от предмета, освещенного источником света S , а затем выполняют такое же построение тени предмета, освещенного источником света S' . Насыщенность (густота) тени никогда не бывает абсолютно черной, так как всякая поверхность помимо основного источника света освещается отраженным светом от других, рядом стоящих предметов. Кроме того, окружающий воздух имеет множество пылинок, которые рассеивают лучи света во всех направлениях.

Интенсивность освещения предмета зависит от угла наклона световых лучей. Наибольшая интенсивность освещения достигается тогда, когда световые лучи направлены к предмету перпендикулярно. Кроме того, интенсивность освещения зависит от силы света и расстояния предмета от источника света. Искусственный свет во много раз слабее солнечного. Интенсивность освещения поверхностей предмета значительно ослабевает при удалении его от источника света.

На поверхностях многогранников наиболее темные места тени расположены ближе к источнику света, т. е. на границе светораздела. Собственные тени на предмете чаще всего изображают светлее падающих, так как он освещается светом, отраженным от других предметов (рефлексов). Падающие тени у контура основания предмета темнее, а по мере удаления тень становится светлее. При построении светотени на поверхностях вращения переход от самой темной части тени к наиболее светлой должен осуществляться постепенно. Следует заметить, что при построении собственных и падающих теней способом отмывки* контуры предмета и падающей тени не обводят карандашом. Светотень наносят так, чтобы не было видно контуров, а были бы четко видны оттененные поверхности предмета и падающие тени от него.

§ 72. ПОСТРОЕНИЕ ТЕНЕЙ ОТ ПРЕДМЕТОВ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ

Допустим, что дана перспектива отрезка AB , расположенного перпендикулярно предметной плоскости. На картине задана светящаяся точка S и ее основание s . Требуется построить падающую тень отрезка AB (рис. 421, a). Из точки S проведем световой луч так, чтобы он прошел через точку A и через точки s и a — проекцию прямой SA . Точка A_* , полученная от пересечения луча SA с проекцией sa , является тенью точки A . Точку A_* можно рассматривать как след луча, проходящего через точку A и пересекающегося с предметной плоскостью.

* Оттенение предметов способом отмывки в учебнике не рассматривается. Со способом отенения отмывкой учащиеся знакомятся на занятиях живописи.

Тень от точки B совпадает с самой точкой B . Тень от точки A лежит на пересечении луча SA с предметной плоскостью. Таким образом, тень отрезка AB получится в виде отрезка A_*B . В данном примере конус световых лучей превратился в теньевую плоскость, пересечение которой с предметной плоскостью дает прямую

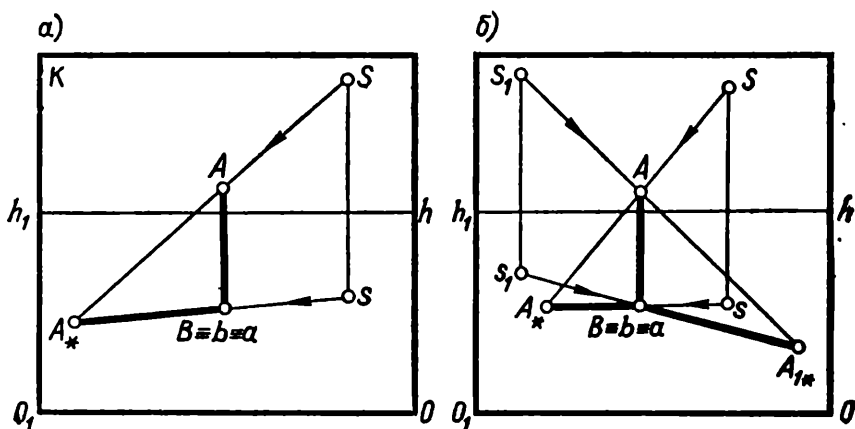


Рис. 421

линию. Линию пересечения лучевой плоскости с предметной называют *предметным следом плоскости*. Следовательно, задача на определение падающей тени от отрезка сводится к вопросу нахождения линии пересечения «теневого плоскости» с предметной или с той, на которую падает тень.

При построении падающих теней от искусственного (центрального) освещения светящуюся точку можно брать слева, справа, сверху, сзади предмета (рис. 421, б) в зависимости от того, как пожелает художник использовать свет в композиции картины. Длина тени зависит от высоты светящейся точки и расстояния ее от предмета.

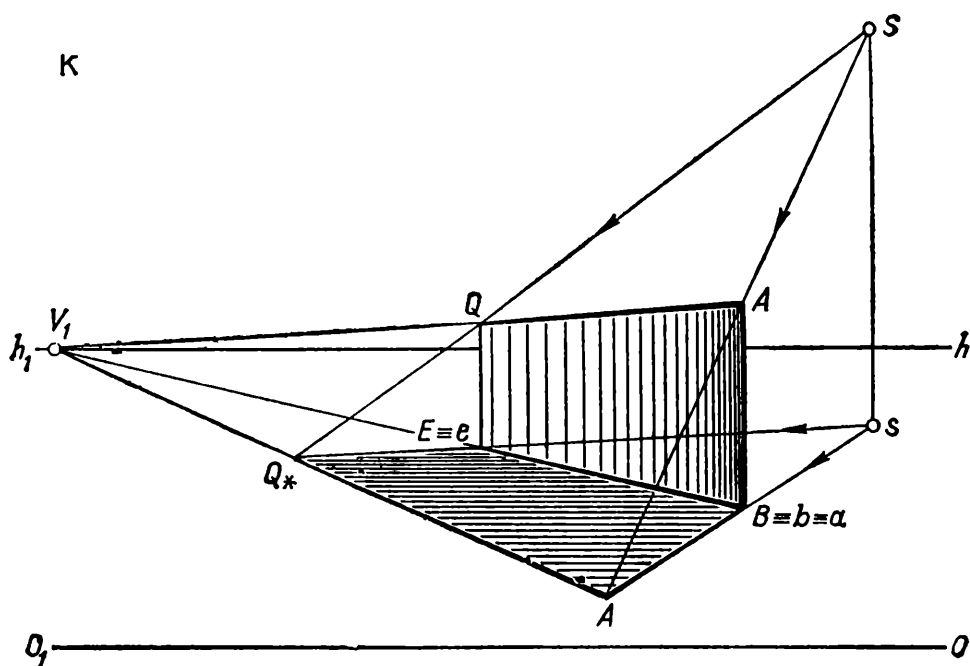


Рис. 422

Рассмотрим ряд примеров на построение падающих теней от различных предметов при условии, что на картине заданы светящаяся точка S и ее основание s .

Заданы перспектива прямоугольника $ABEQ$, светящаяся точка S и ее основание s . Необходимо построить падающую тень от прямоугольника (рис. 422). Построим сначала падающие тени от отрезков AB и QE , затем соединим прямой точки A_* и Q_* . Прямую A_*Q_* продолжим до линии горизонта — точка V_1 . Из построения видно, что падающая тень от прямой AQ направлена в общую точку схода V_1 , т. е. падающая тень A_*Q_* расположится параллельно прямой AQ .

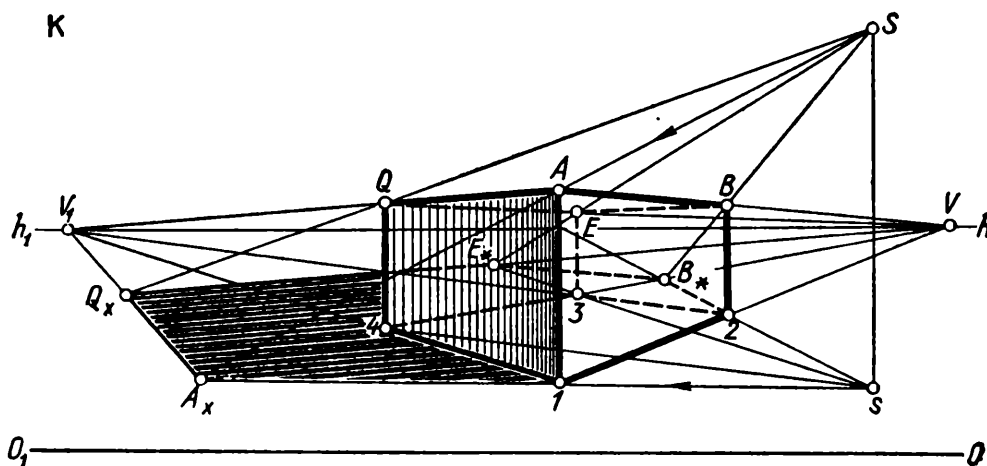


Рис. 423

При построении падающей тени от параллелепипеда (рис. 423) сначала определяют падающие тени от его вертикальных ребер. Полученные на предметной плоскости точки A_* , Q_* , E_* , B_* соединяют прямыми, которые определяют падающую тень от параллелепипеда. Ребра $A-1$ и $E-3$ являются границей собственной тени. Собственная тень наиболее темная на границе светораздела, т. е. возле ребра $A-1$. Падающая тень должна быть темнее собственной. Наиболее темное место у падающей тени расположится возле ребра $1-4$. Далее тень несколько ослабевает, т. е. становится светлее.

На рис. 424 показано построение собственной и падающей теней от пирамиды $L-1-2-3-4$, стоящей на предметной плоскости. Построение теней производят в такой последовательности. Сначала строят падающую тень от вершины пирамиды L и ее основания l . Затем точку L_* соединяют прямыми с вершинами 1 и 3 . Фигура $1L_*3$ является падающей тенью от пирамиды. Ребра $L-1$ и $L-3$ определяют границу собственной тени пирамиды.

Построение падающей тени от прямого кругового конуса, стоящего на предметной плоскости (рис. 425), начинают с построения от его вершины, т. е. строят падающую тень от отрезка AB (высоты конуса). Из точки A_* проводят две касательные к основанию конуса — точки 1 и 2 . Касательные A_*-1 и A_*-2 определяют границу падающей тени. Через точки 1 и 2 проводят образующие, которые ограничивают собственную тень конуса.

Для построения собственной и падающей теней от прямого кругового цилиндра, стоящего на предметной плоскости (рис. 426), проводят из основания точки s к нижнему основанию цилиндра две касательные $s-1$ и $s-5$, которые являются горизонтальными проекциями (предметными следами) лучевых плоскостей SA_{*s}

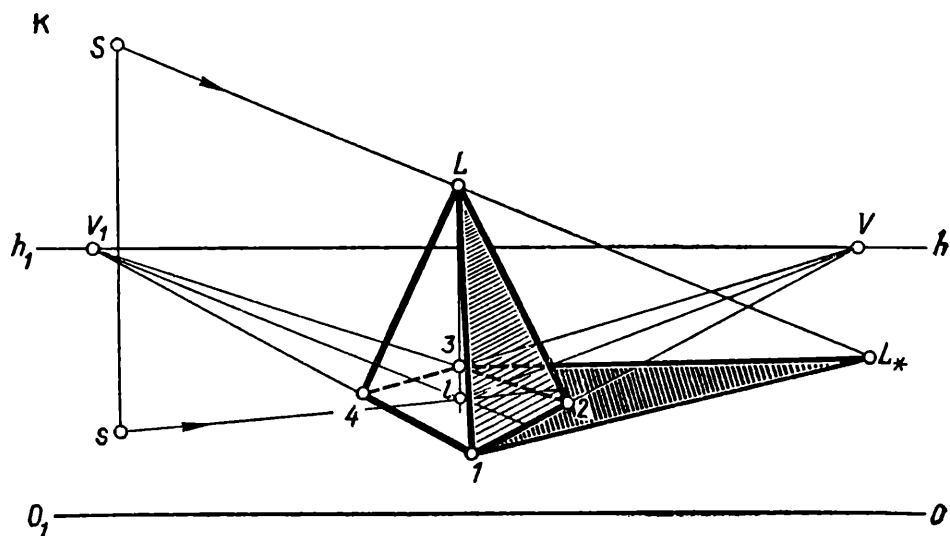


Рис. 424

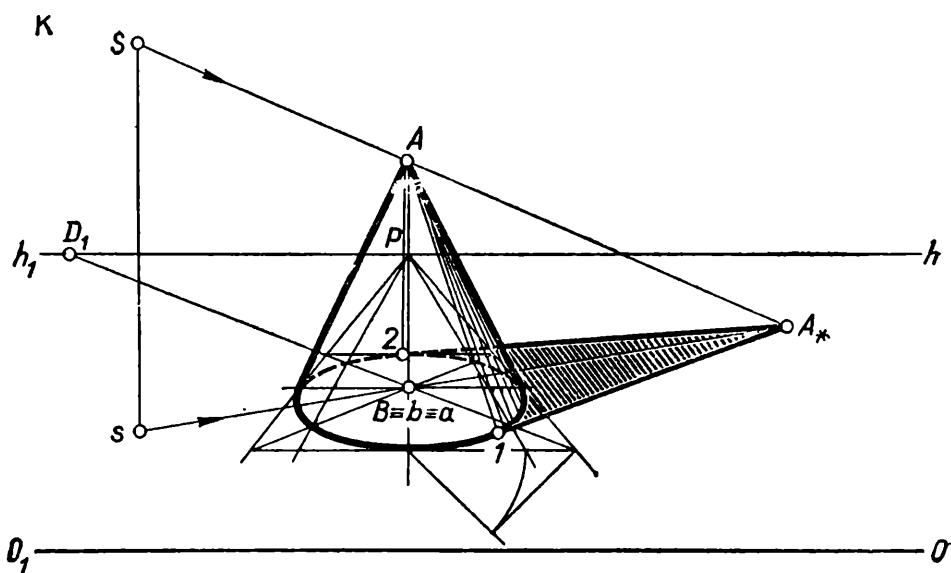


Рис. 425

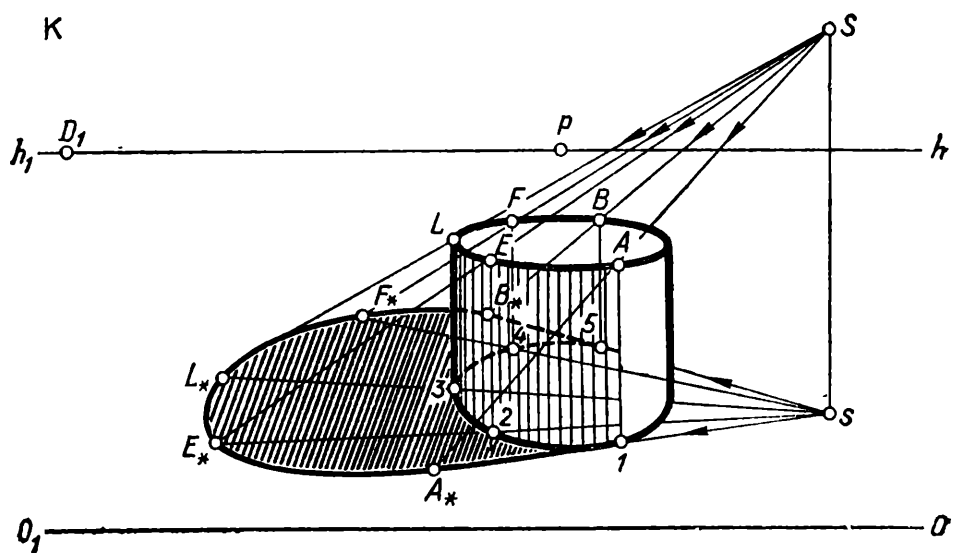


Рис. 426

и SB_{*s} , касательных к поверхности цилиндра. Касание плоскостей осуществляется по образующим $A-1$ и $E-5$. Эти образующие определяют границу собственной тени на цилиндре. Построим падающие тени от образующих $A-1$ и $E-5$. Падающая тень от цилиндра пойдет прямолинейно до точек A_* и B_* . В теневой части цилиндра на его основании возьмем несколько произвольных точек и проведем через них еще несколько образующих, как показано на рис. 426. Построив падающие тени от намеченных образующих, определим на предметной плоскости несколько точек E_*, L_*, F_*, \dots . Соединим плавной кривой полученные точки и определим падающую тень от цилиндра на предметную плоскость.

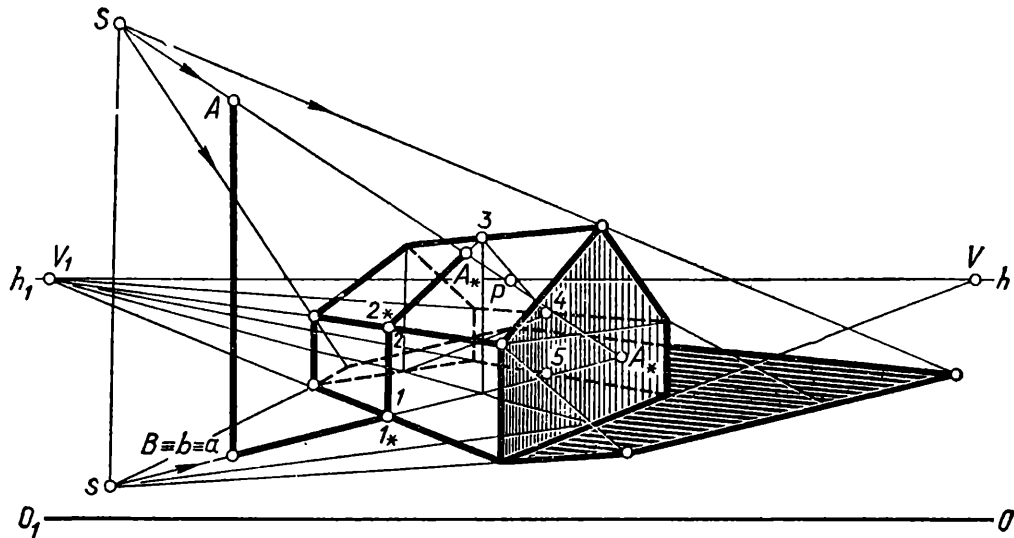


Рис. 427

Итак, контур падающей тени от цилиндра или какого-либо другого предмета является проекцией или тенью от контура собственной тени.

Рассмотрим построение теней от предметов на различные поверхности. Допустим, что требуется построить падающую тень от некоторого шеста AB , стоящего на предметной плоскости, на поверхности многогранника, расположенного на той же плоскости (рис. 427). На картине дана светящаяся точка S и ее проекция s .

Построим падающую тень от шеста AB на предметную плоскость. Для этого из точки S проведем луч через точку A до пересечения с продолженной его проекцией as в точке A_* . Падающая тень от шеста изобразится отрезком aA_* . Из построения видно, что многогранник частично закроет тень от шеста на предметной плоскости и падающая тень его попадет на поверхности многогранника. Для определения тени от шеста найдем линию пересечения плоскости S_sA_* с многогранником. В сечении получим фигуру 12345 . Падающая тень представлена в виде ломаной линии $1_*2_*A_*$. Тень от точки A получится на пересечении прямой SA с прямой $2-3$. Часть тени на предметной плоскости, закрытой предметом, является мнимой, или недействительной. Таким обра-

зом, для определения падающей тени от шеста на поверхности многогранника необходимо построить лучевую плоскость $S_s A_*$ и определить линию пересечения этой плоскости с поверхностью многогранника, на которой расположится падающая тень от шеста.

Секущие плоскости можно применять для рассечения сразу нескольких предметов, что позволяет определять контур падающей тени от одного предмета на другой.

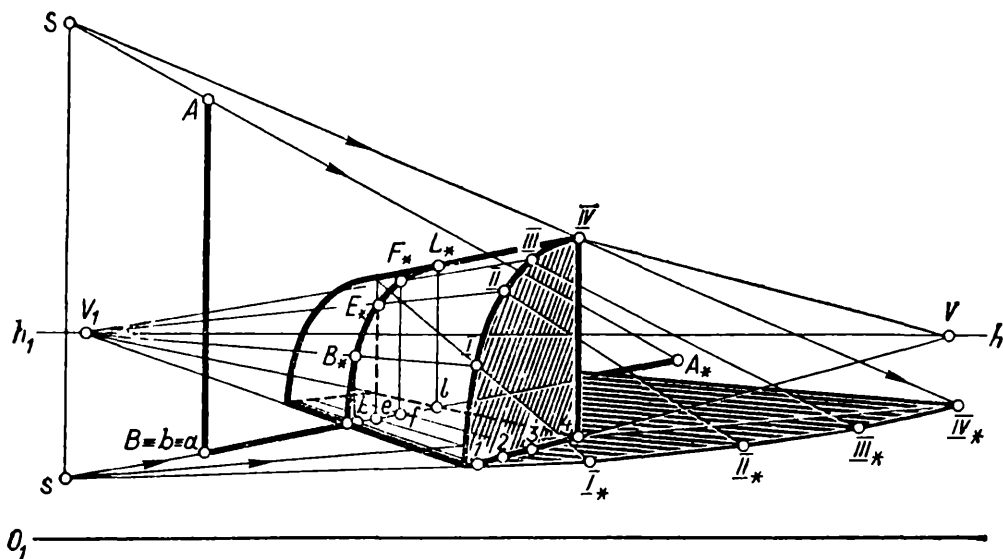


Рис. 428

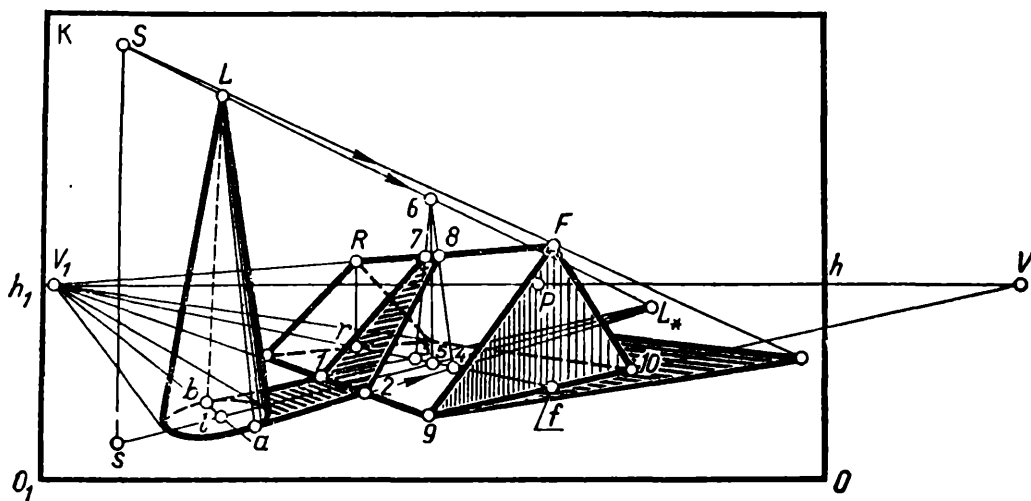


Рис. 429

Если падающая тень от шеста AB попадает на круглую поверхность (рис. 428), то она уже не будет прямой, а примет форму кривой линии. В данном случае эта кривая представляет собой часть эллипса, полученного в результате сечения части цилиндра секущей плоскостью $S_s A_*$. Построение падающей тени от предмета с криволинейными очертаниями выполняют обычно по точкам, расположенным на близком расстоянии друг от друга.

На рис. 429 показан пример построения падающей тени от конуса на поверхность призмы.

Построение падающих теней от конуса и призмы предлагаем разобрать учащимся самостоятельно.

При построении падающей тени от отрезка AB , перпендикулярного некоторой плоскости T , определяют сначала вторичную проекцию светящейся точки S и ее горизонтальной проекции s , т. е. точки S' и s' (рис. 430). Затем из точки S' проводят прямую $S'B'$, а из точки S — прямую SA . Прямые $S'B'$ и SA пересекутся в точке A_* . Падающая тень от отрезка AB изобразится отрезком $B'A_*$.

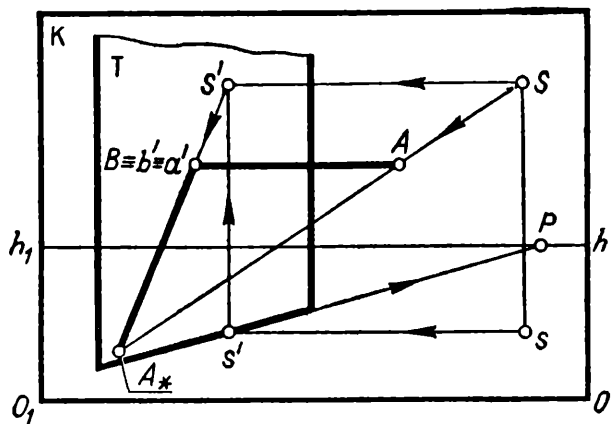


Рис. 430

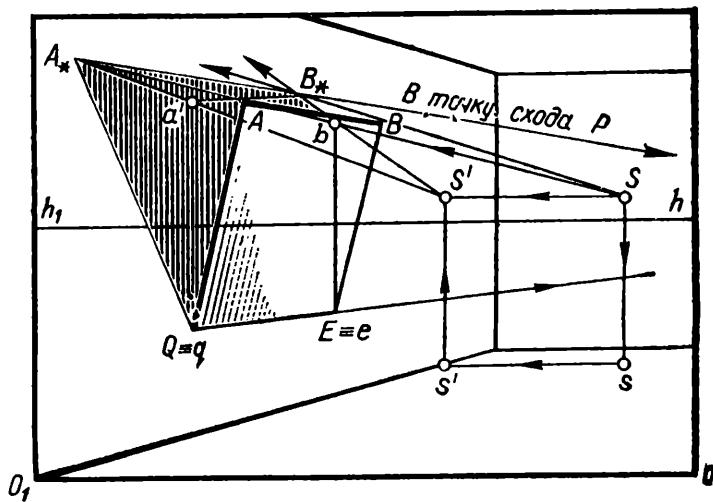


Рис. 431

Допустим, что необходимо построить падающую тень от картины, висящей на стене комнаты (рис. 431). Для этого на стене комнаты, где висит картина, построим вторичную проекцию светящейся точки и ее горизонтальной проекции, т. е. получим точки S' и s' . Через точку A проведем проекции световых лучей, расположенных на стене. Построим проекцию картины на стене, т. е. точки $a'b'eq$. Из точки S через точку A проведем прямую до пересечения с прямой Sa' в точке A_* . Аналогично построим тень точки B , т. е. получим точку B_* . Соединим прямой точки A_* и B_* . Прямая A_*B_* параллельна прямой AB , так как имеет общую точку схода — точку P . Поскольку точки E и Q находятся непосредственно на стене и проекции их совпадают $E \equiv e$, $Q \equiv q$, то, соединив точку A_* с точкой Q , а точку B_* с точкой E , получим падающую тень от картины на стене.

На рис. 432 показано построение перспективы падающих теней от открытой двери и стоящего у стены предмета. Построения вы-

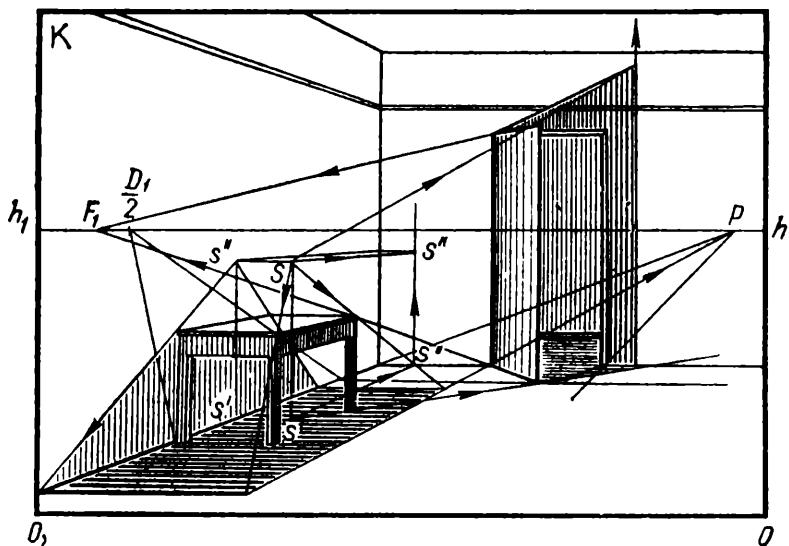


Рис. 432

полнены по тому же принципу. Стрелки на чертеже показывают направления световых лучей и параллельных прямых, идущих в точку схода.

§ 73. ПОСТРОЕНИЕ ТЕНЕЙ ОТ ПРЕДМЕТОВ ПРИ СОЛНЕЧНОМ ОСВЕЩЕНИИ

Построение теней при параллельном освещении осуществляется по тому же принципу, что и построение теней при искусственном (центральном) освещении. Отличительной особенностью построения падающих теней при параллельном освещении является то, что

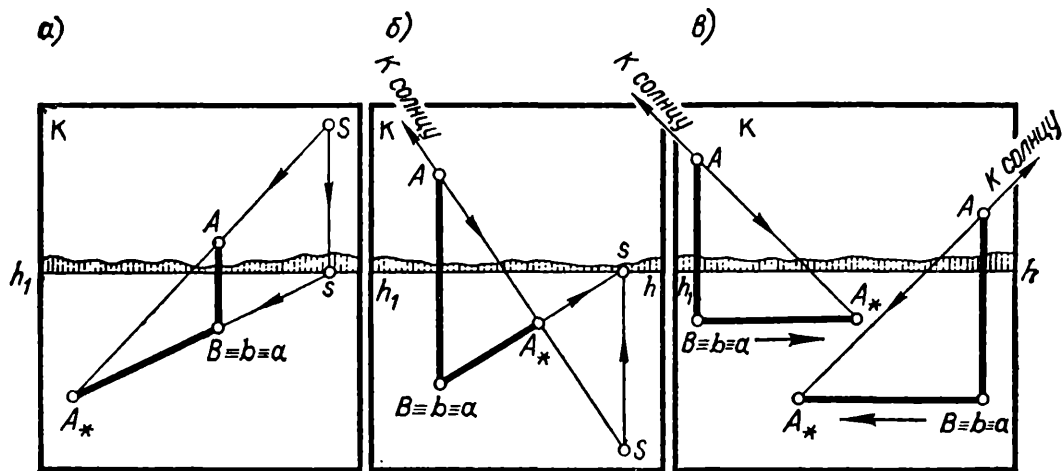


Рис. 433

задается направление лучей света в пространстве и их проекции на предметной плоскости. Поэтому на картине необходимо задавать точку схода S световых лучей в соответствии с их заданным или выбранным направлением. Проекция s точки схода S световых лучей на предметной плоскости находится на линии горизонта. Таким образом, когда на картине имеется перспектива S источника света (солнца), то для определения его проекции надо опустить перпендикуляр S_s на линию горизонта.

Солнце может находиться перед зрителем в предметном пространстве (рис. 433, а). В этом случае точка схода S перспектив световых лучей расположена на произвольной высоте над линией горизонта, а проекция точки схода — на перпендикуляре, опущенном из точки S на линию горизонта.

Если солнце находится сзади зрителя в мнимом пространстве (рис. 433, б), то световые лучи направлены сверху вниз как бы из-за спины зрителя. Точка схода S световых лучей расположится под линией горизонта в противоположном направлении относительно солнца. Проекция точки схода S лежит на линии горизонта. Когда солнце находится за спиной зрителя (в мнимом пространстве), точка схода S световых лучей не является изображением солнца на картине. Задача сводится к построению предметных следов перспектив солнечных лучей, проходящих через вершины заданного объекта.

Солнце может находиться сбоку (рис. 433, в). Световые лучи при этом направлены параллельно плоскости картины и наклонены к предметной плоскости под произвольным углом. Если световые лучи параллельны картинной плоскости, то точку схода S световых лучей на картине не показывают. Для удобства построения примем наклон световых лучей под углом 45° .

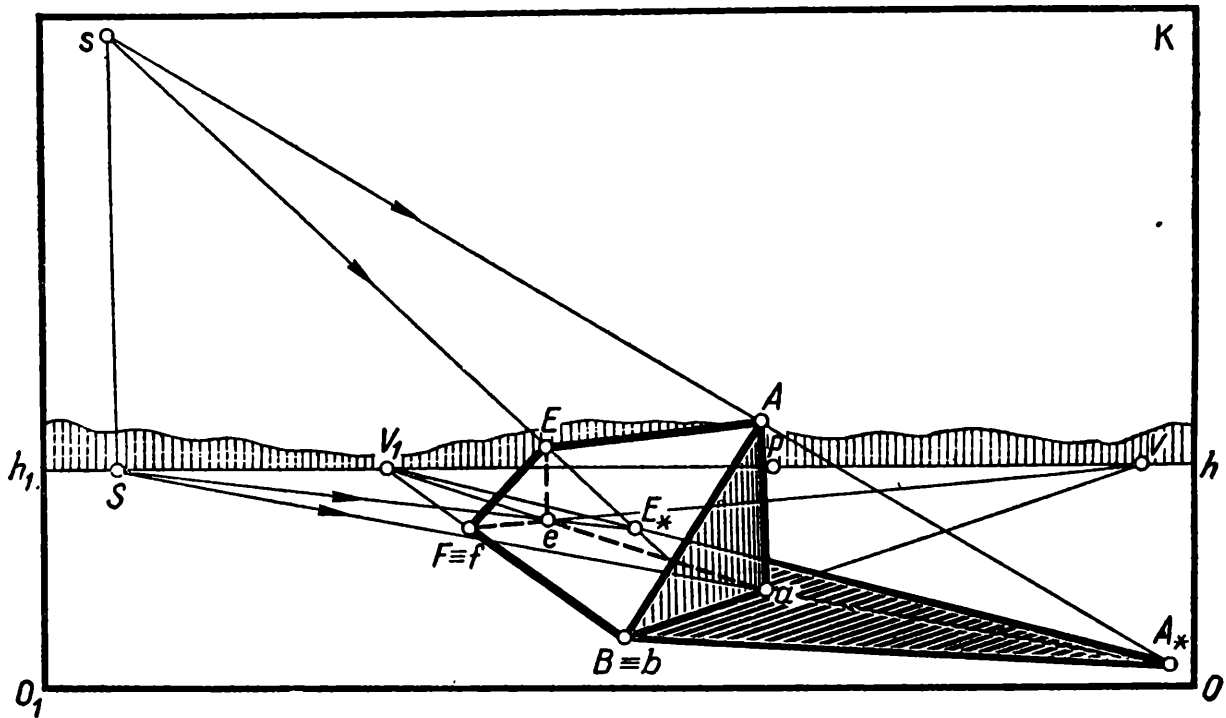


Рис. 434

Предположим, что задана перспектива треугольной призмы, стоящей на предметной плоскости (рис. 434). Требуется построить падающую от нее тень при условии, что солнце находится перед зрителем.

Построим падающую тень от грани $AEea$, получим фигуру aA_*E_*e . Затем построим падающую тень от грани ABa , получим фигуру BA_*a . Плоскости $AEea$ и ABa находятся в тени, а плоскость $ABEF$ — на свету. Падающая тень от ребра AE , т. е. прямая A_*E_* , направлена в точку схода V_1 .

Допустим, что необходимо построить падающую тень от правильной шестиугольной призмы, стоящей на предметной плоскости, при условии, что солнце находится сзади зрителя (рис. 435).

Обозначим ребра призмы буквами. Построим падающую тень от точки A и ее основания a на предметную плоскость. Таким же образом построим падающую тень от точки Q и ее основания q . Полученные точки A_* и Q_* соединим прямой. Прямая A_*Q_* направлена в точку схода V_1 . Далее определим падающие тени от точек B и M . Аналогично построим тени от всех вершин призмы. Полученные тени от вершин соединим прямыми. Таким образом, падающая тень от шестиугольной призмы получится в виде ломаной линии. Собственная тень закроет две грани призмы.

При построении падающей тени от цилиндра, когда солнце находится справа от него, сначала проводят касательные к нижнему основанию цилиндра (рис. 436), затем из точек касания проводят образующие и строят от них падающие тени. Образующие цилиндра разграничат на поверхности цилиндра световую и теневую части. В теневой части цилиндра проводят несколько образующих, от

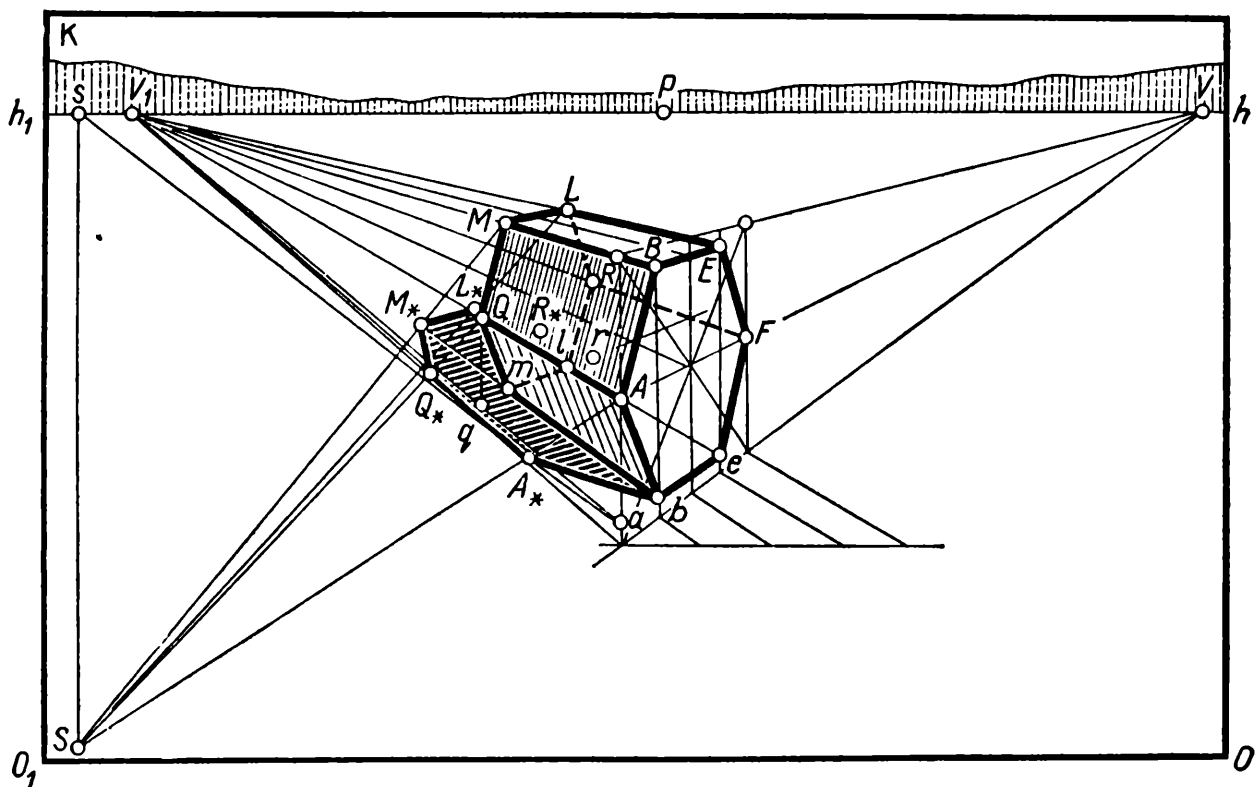


Рис. 435

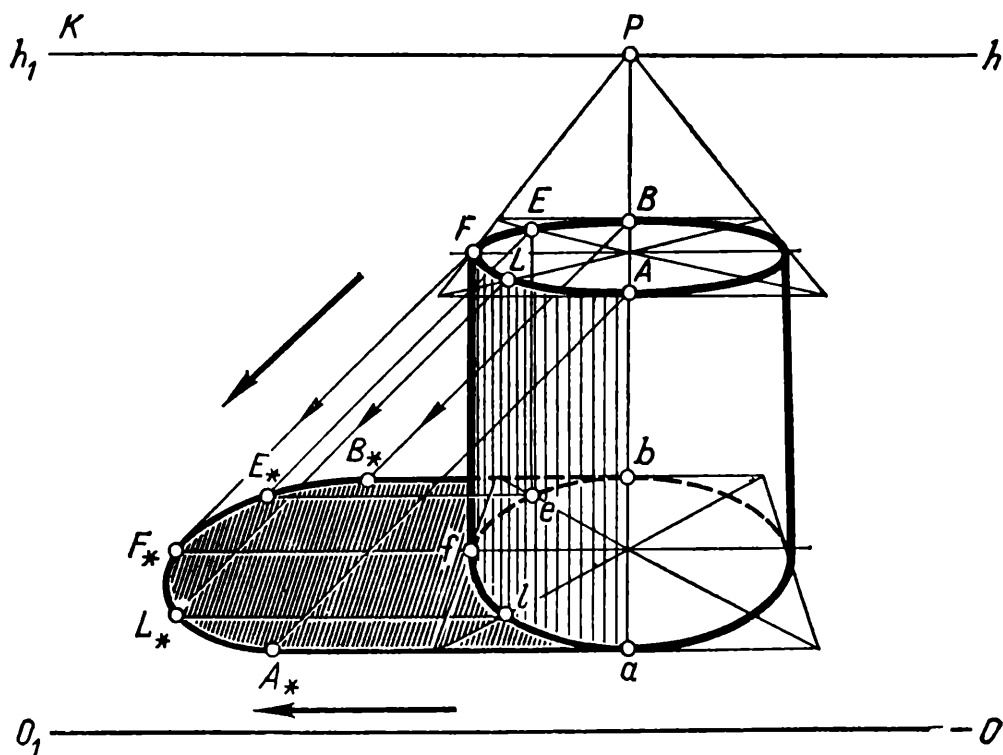


Рис. 436

которых строят падающие тени, — точки L_* , F_* , E_* . Соединив эти точки плавной кривой, получают падающую тень от цилиндра.

Предположим, что необходимо построить падающие тени от цилиндра и параллелепипеда, стоящих на предметной плоскости (рис. 437). В данном случае источник света (солнце) находится сзади, слева от зрителя, поэтому тени на предметах расположатся с правой стороны, а падающие тени будут направлены в сторону линии горизонта, т. е. уходящими от зрителя.

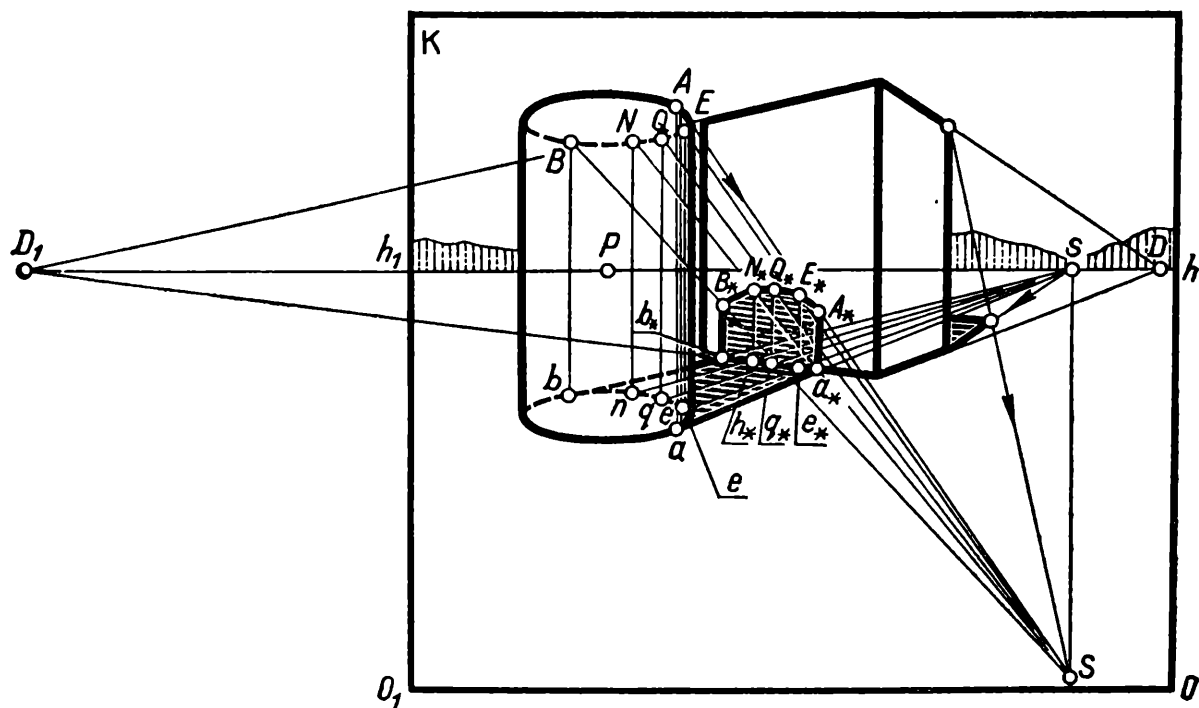


Рис. 437

Световые лучи, идущие к цилиндру, образуют две лучевые плоскости SAa и SBb , касательные к поверхности цилиндра. Горизонтальные проекции лучевых плоскостей (предметные следы) изображаются в виде прямых sa и sb . Таким образом, чтобы определить границу собственной тени на цилиндре, надо из точки s провести две касательные к цилиндру sa и sb , а через точки a и b — образующие aA и bB , которые определяют границу собственной тени на цилиндрической поверхности.

Падающие тени от образующих Aa и Bb при встрече с гранью параллелепипеда преломляются в точках a_* и b_* и принимают вертикальное направление. Падающая тень от точки A определяется на пересечении луча SA с вертикальной прямой, проведенной через точку a_* в плоскости параллелепипеда. Аналогично строят падающую тень от точки B . Падающая тень от верхнего основания цилиндра спроецируется в эллипс. Для его построения необходимо на основании цилиндра наметить несколько точек E, Q, N , провести через них образующие Ee, Nn, Qq и построить тени точно так же, как от образующих Aa и Bb . Следует заметить, что точки E, Q, N необходимо брать в теневой части цилиндра. Падающая тень на плоскости параллелепипеда изобразится прямолинейно

до точек A_* и B_* , а затем в виде эллипса. Для более точного изображения эллипса следует взять на основании цилиндра большее число точек, провести через них образующие и построить от них тени на плоскости параллелепипеда.

Для построения падающей тени от параллелепипеда надо провести лучевые плоскости через ребра параллелепипеда, как показано на рис. 437.

Контрольные вопросы. 1. Что называется контуром собственной тени? 2. Как определяются границы собственной тени на прямом круговом конусе и цилиндре? 3. Где располагаются наиболее темные места на поверхностях многогранника? 4. Какие тени темней, собственные или падающие? 5. Где находится точка схода световых лучей, когда солнце находится сзади зрителя? 6. В чем заключается разница между заданием искусственного и естественного источника света в том случае, когда они находятся впереди зрителя?

Глава 22

ПОСТРОЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПРЕДМЕТА ПО ЕГО ПРЯМОУГОЛЬНЫМ (ОРТОГОНАЛЬНЫМ) ПРОЕКЦИЯМ

§ 74. СПОСОБ АРХИТЕКТОРОВ

Построение перспективного изображения заданного объекта по способу архитекторов основано на использовании прямоугольных проекций объекта, по которым выполняется его перспектива. Сущность способа сводится к построению перспективы отдельных точек и линий, взятых с горизонтальной и фронтальной проекций заданного объекта. Вертикальные размеры определяются по масштабу высоты.

Изображение перспективы любого объекта по способу архитектора включает и художественные моменты, предъявляемые к художнику при построении им композиции картины. Имеется в виду следующее: выбор точки зрения, композиция изображения на листе, графическое выявление светотени (отмывка). Удачный выбор точки зрения и размещение перспективного изображения объекта на листе достигается в основном путем практических упражнений. Окончательная композиция объекта на картине устанавливается архитектором путем выполнения нескольких предварительных эскизов и выбора наилучшего из них.

Допустим, что заданы две проекции арки, т. е. фасад (главный вид) и план (вид сверху) (рис. 438). Требуется построить перспективу арки.

Выберем положение точки зрения на заданный объект. Выбор точки зрения включает три основных элемента: положение главного луча зрения sp , угол зрения, положение линии горизонта. Все три элемента взаимосвязаны. При изменении одного из них необходимо корректировать остальные. Положение главного луча зрения при симметричной композиции рекомендуется проводить через середину объекта. Главный луч зрения надо направлять в ту часть композиции объекта, которая имеет большее пространственное

развитие (см. рис. 438). В противном случае основная часть объекта может получиться с резким ракурсом и отверстие в арке не будет просматриваться насквозь, что не желательно. Ракурсом называется отношение двух вертикальных, равных в натуре отрезков, расположенных в перспективе на переднем и дальнем планах изображения. Если основная часть композиции объекта имеет круглую форму, то главный луч зрения лучше проводить через ось этой части.

Следует заметить, что расстояние точки зрения считается от ближайшего элемента объекта (ребра или плоскости), а расстояние дистанционной точки, т. е. отрезок PD , считается от картины. Эти расстояния могут совпадать, если картина проходит через ребро или плоскость объекта. Размер главного луча зрения должен быть на плане в два раза больше самого большого размера объекта, взятого с плана или же с фасада объекта.

Размер угла зрения зависит от выбора расстояния зрителя до картины. Расстояние точки зрения от объекта принимается таким, чтобы он целиком размещался в конусе лучей зрения с углом при вершине примерно 30° и осью примерно совмещающейся с главным лучом зрения. Главный луч зрения не обязательно должен размещаться в середине угла зрения на плане, так как такое размещение не всегда приводит к лучшим результатам. Перспективное изображение объекта может строиться с двумя или одной точкой схода. Однако в практике построения перспективных проекций чаще всего применяют построения с одной точкой схода.

Положение линии горизонта выбирают на фасаде объекта. От положения линии горизонта будет зависеть композиция перспективного изображения объекта.

На плане объекта начертим под некоторым углом прямую, проходящую через вершину 4. Примем эту прямую за горизонтальный след картинной плоскости. Картина и ее основание сольются в одну прямую OO_1 . На картине выберем положение горизонтальной проекции точки зрения, т. е. поставим точку p . Из точки p восставим перпендикуляр к картине, на котором отметим проекцию точки стояния — точку c . Размер отрезка cp возьмем больше самого большого размера, имеющегося на объекте, взятого с плана или с

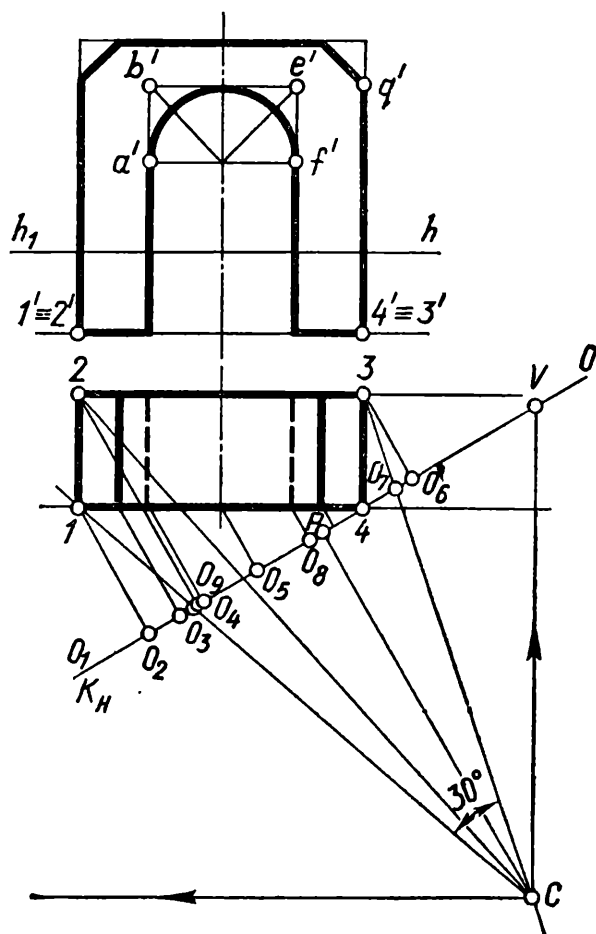


Рис. 438

фасада. При таком выборе главного луча зрения сквозное отверстие арки на перспективном изображении получится видимым насквозь. Построим угол зрения. Для этого из точки c проведем проекции лучей в крайние вершины объекта на плане, т. е. в точки I и 3 . Лучи $c-I$ и $c-3$ пересекут картину в двух точках. Отметим точки пересечения этих прямых $c-I$ и $c-3$ с картиной, получим точки O_3 и O_7 . Проверим получившийся угол зрения. В данном случае угол зрения составляет 30° . Проекция главного луча зрения, т. е. точка p , должна располагаться примерно в средней трети отрезка O_3O_7 . Из точки стояния c проведем две проекции лучей параллельно сторонам прямого угла арки. Одна проекция луча пересечется с картиной в точке V , которая является точкой схода для всех прямых, расположенных параллельно прямой cV . Другая пересечется за пределами чертежа. Поэтому перспективу арки построим с одной точкой схода V . На фронтальной проекции арки проведем линию горизонта hh_1 значительно ниже ее середины. Итак, определив положения картины, точки зрения, угла зрения и линии горизонта, приступим к построению перспективы арки.

Наметим сначала основание картины OO_1 (рис. 439). Для большей наглядности перспективное изображение арки построим с увеличением вдвое. При переносе размеров с плана и фасада арки на картину, расположенную фронтально, все размеры увеличим в два раза. Начертим линию горизонта hh_1 , подняв ее от основания вдвое выше, чем она задана на фасаде арки. Чтобы лучше скомпоновать перспективу арки на листе, сначала определим на линии горизонта точки схода V и P . Точку V расположим в правой части

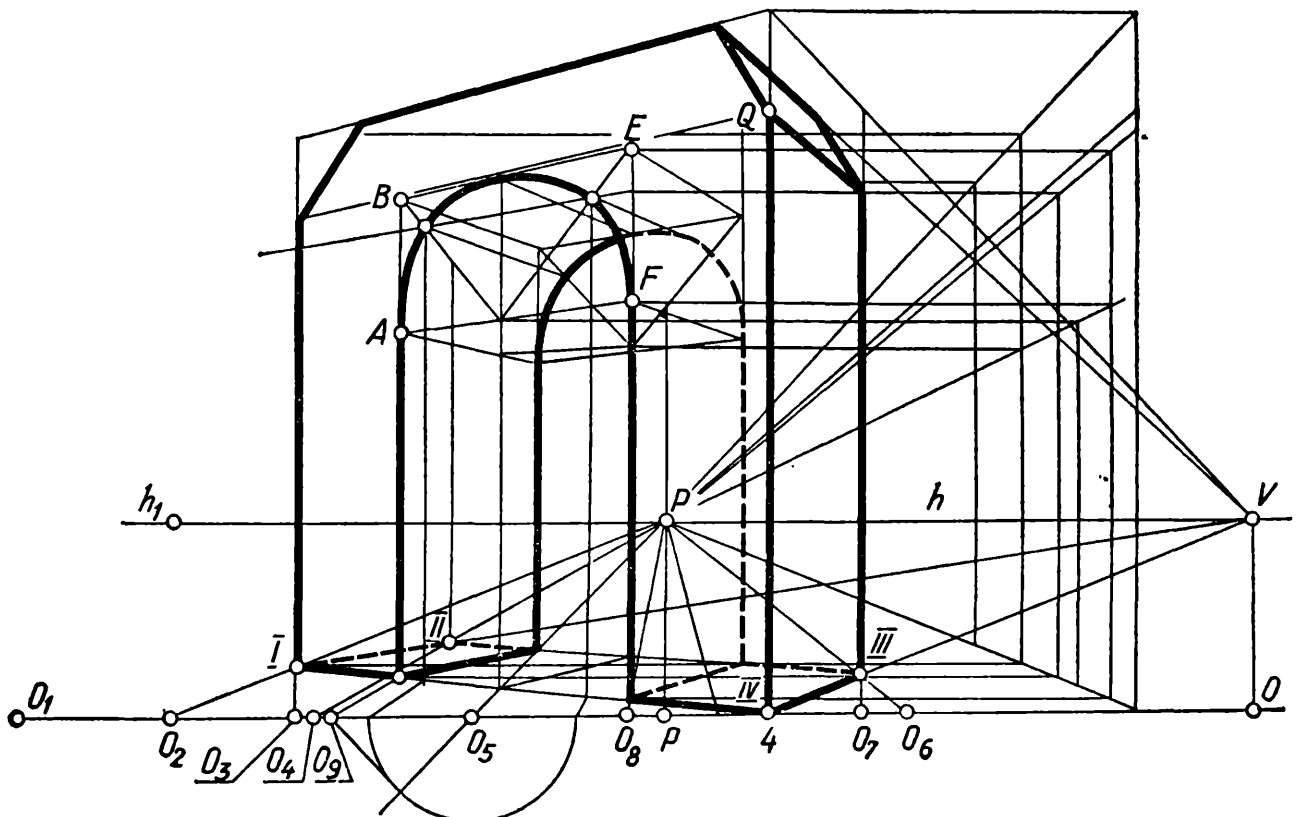


Рис. 439

картины. Затем, удвоив отрезок VP , определим положение точки P . Из точки P опустим перпендикуляр на основание картины, получим отрезок Pp , т. е. главную линию картины. В дальнейшем не будем напоминать о том, что переносимые размеры с плана и фасада на картину, расположенную фронтально, должны быть увеличены вдвое. Из вершин каждого угла арки на плане (см. рис. 438) опустим на картину перпендикуляры, которые в пересечении с картиной образуют точки O_2, O_4, O_6 . Полученные точки O_2, O_4, O_6 на плане картины отметим на основании фронтальной картины (см. рис. 439). Определим на фронтальной картине вершину 4 и точки O_3 и O_7 . Перпендикуляры, проведенные из вершин плана арки на картину (см. рис. 438), в перспективе (рис. 439) изобразятся прямыми O_2P, O_4P, O_6P , поскольку точкой схода для прямых, перпендикулярных картине, является точка P . Вершины основания арки в перспективе расположатся на этих прямых.

Определим перспективу вершины I . Для этого из точки O_3 восставим перпендикуляр до пересечения с прямой O_2P в точке I . Точку I соединим тонкой линией с точкой 4 , получим перспективу одной из сторон основания арки. Точка V является точкой схода для всех прямых, расположенных параллельно сторонам $1-2$ и $3-4$ на плане. Через вершины I и $4-IV$ проведем прямые в точку V , получим направление сторон $I-II$ и $IV-III$. Перспективу вершины II определим на пересечении прямых $I-V$ с прямой O_4P . Перспективу вершины III определим на пересечении прямых $IV-V$ с прямой O_6P или же с помощью перпендикуляра, восставленного из точки O_7 до пересечения с прямой $IV-V$. Соединив прямой точки II и III , получим перспективу основания арки, т. е. точки I, II, III и IV .

Построим сначала перспективу арки упрощенно в виде параллелепипеда без полукруглого сквозного отверстия и наклонных скосов. Из каждой вершины основания восставим перпендикуляры и определим высотные размеры арки по масштабу высоты. Для построения перспективы полукруглого отверстия определим на плане (см. рис. 438) точки O_5, O_8 и O_9 . Полученные точки построим на фронтальной картине и проведем из них прямые в точку P , т. е. прямые O_5P, O_8P и O_9P . Эти прямые пересекут сторону $I-IV$ в трех точках, через которые проведем прямые в точку схода V . Таким образом, наметим ширину арочного проема. Для изображения перспективы полуокружности сначала следует определить ее центр, построить перспективу прямоугольника $ABEF$, а затем вписать в него перспективу полуокружности. Верхние скосы арки построим аналогично построению сквозного отверстия в арке, как показано на рис. 439.

Контрольные вопросы. 1. Для чего применяют способ архитектора? 2. В чем состоит сущность способа архитектора? 3. На каком расстоянии должна помещаться проекция точки зрения относительно заданного плана объекта? 4. От чего зависит размер угла зрения? 5. Какие художественные моменты необходимо учитывать при построении перспективы объекта способом архитектора?

ПЕРСПЕКТИВА НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

Плоскость, проходящая через главный луч зрения параллельно предметной плоскости, называется плоскостью горизонта. Плоскость горизонта пересекает картину по прямой hh_1 , называемой *линией горизонта*. Таким образом, линия горизонта представляет предельную прямую предметной плоскости. Все параллельные прямые, расположенные в плоскости горизонта, имеют точки схода на линии hh_1 . Плоскость, параллельная основанию картины, имеет предельную прямую, расположенную параллельно линии горизонта.

Восходящие и нисходящие параллельные прямые, расположенные в плоскостях, наклоненных параллельно основанию картины, имеют точки схода на предельных прямых этих плоскостей. Например, трамвайные рельсы, поднимающиеся или идущие на спуск, имеют точки схода на линиях, расположенных выше или ниже линии горизонта, параллельных основанию картины.

Наклонная плоскость, не параллельная основанию картины, так же как и наклонная прямая, имеет картинный след и предельную прямую. *Картинным следом плоскости* называется линия пересечения заданной плоскости с картиной. *Предельной прямой наклонной плоскости* называется перспектива бесконечно удаленной прямой данной плоскости. Чтобы построить предельную прямую наклонной плоскости произвольного направления, надо через точку зрения S провести дополнительную лучевую плоскость параллельно заданной. Линия пересечения лучевой плоскости с картиной представит перспективу предельной прямой наклонной плоскости.

Параллельные прямые или же фигуры, лежащие в наклонной плоскости, удобнее строить, зная предельную прямую наклонной плоскости. Предельная прямая (линия схода) наклонной плоскости проходит через точки схода перспектив ее прямых, т. е. через предельные точки прямых, лежащих в наклонной плоскости.

§ 75. ФРОНТАЛЬНАЯ ПЕРСПЕКТИВА ЛЕСТНИЦЫ

Лестница представляет наклонную плоскость, имеющую ступени. Наклон лестницы берется согласно требованиям, предъявляемым к строительным чертежам, иначе говоря, ГОСТам. Лестница, расположенная ступенями параллельно картине, называется фронтальной перспективой. Для построения фронтальной перспективы лестницы необходимо знать угол ее подъема, число ступеней и их размеры. Лестница состоит из площадок и соединяющих их маршей.

Маршем называется наклонная ступенчатая плоскость, по которой можно подняться или спуститься с этажа на этаж. Каждый

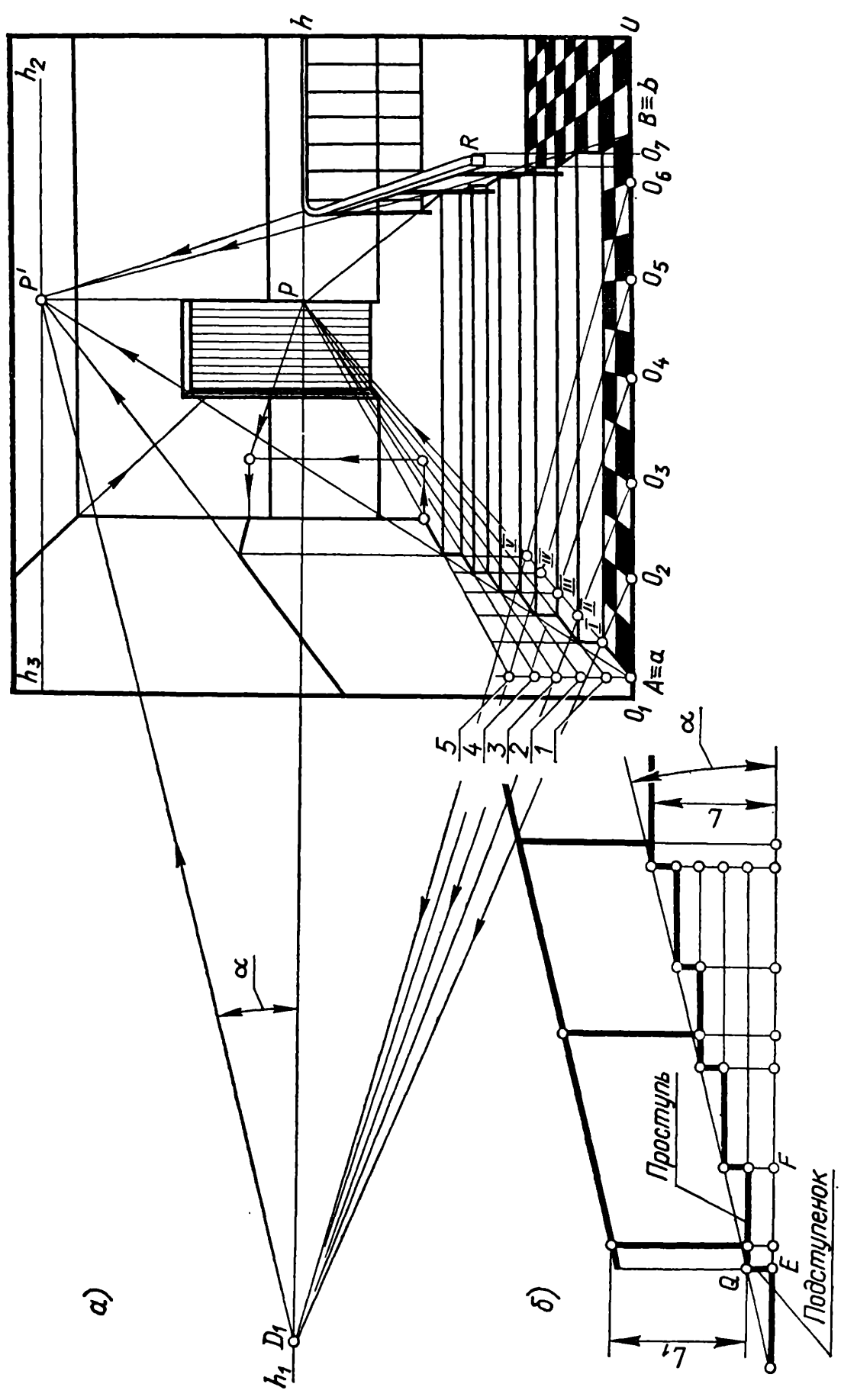


Рис. 440

марш включает в себя ступени. Ступень состоит из проступи EF (рис. 440, б), на которую ставится нога, и подступенка EQ . Размеры маршей и ступеней лестницы стандартизированы. Рассмотрим построение перспективы лестницы, не придерживаясь стандартных размеров.

Построение перспективы лестницы можно выполнить с помощью способа архитекторов или по описанию и заданным линейным размерам.

Построим фронтальную перспективу одномаршевой лестницы по следующим данным: ширина лестницы AB (рис. 440 а.), высота ее L , угол подъема α число ступеней пять, высота перил L_1 (рис. 440, б). На картине заданы точки P и D_1 . Построение выполним упрощенно (схематически). Начертим угол α при точке D_1 . Продолжим сторону угла α до пересечения с главной линией картины в точке P' .

Точка P' является точкой схода для наклонной плоскости марша лестницы. Через точку P' проведем горизонтальную прямую h_2h_3 . Прямая h_2h_3 представляет предельную прямую для перспективы бесконечно удаленной наклонной плоскости.

На основании картины отложим отрезок AB или ширину марша и проведем из концов отрезка AB прямые в точки P и P' . Из точки A восставим перпендикуляр и отложим на нем пять делений, каждое из которых равно высоте подступенка EQ . Через точки делений $1, 2, 3, 4, 5$ проведем прямые в точку P . Затем на отрезке AB от точки A отложим также пять делений — $A-O_2, O_2-O_3, O_3-O_4, O_4-O_5, O_5-O_6$, равных ширине проступи EF . Из точек O_2, O_3, O_4, O_5, O_6 проведем прямые в точку D_1 , которые пересекут прямую AP в точках I, II, III, IV, V . Через эти точки проведем вертикальные прямые до пересечения с прямой AP' . Таким образом, прямая $A-5$ представляет собой масштаб высоты, прямая AP — масштаб глубины, а прямая AB — масштаб ширины. Профиль ступеней лестницы выявим по перспективной сетке, размещенной в плоскости APP' . Определив профиль ступени, проводим горизонтальные прямые через углы ступеней до пересечения с прямой BP' . Затем из полученных точек пересечения восставим перпендикуляры до пересечения с прямой BP' . Таким образом перспектива проступи марша получит направление в точку схода P , а сам марш имеет точку схода P' , расположенную на предельной прямой h_2h_3 .

Для построения перспективы перил отступим влево от точки B на расстояние BO_7 , равное половине размера подступенка, и из точки O_7 восставим перпендикуляр. Отложим на перпендикуляре отрезок O_7R , равный высоте перил L_1 и высоте подступенка. Через концы отрезка O_7R проведем прямые в точку P' . Затем от точки O_7 отложим влево отрезок, равный расстоянию между стойками перил, и с помощью перспективных масштабов построим перспективу перил. Ширину поручня перил можно взять произвольного размера.

§ 76. ПОСТРОЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ЛЕСТНИЦЫ, РАСПОЛОЖЕННОЙ ПОД ПРОИЗВОЛЬНЫМ УГЛОМ К КАРТИНЕ

Перспективу лестницы построим по заданным ее плану (рис. 441, *а*) и профилю (рис. 441, *б*). При построении применим способ архитекторов.

Наметим горизонтальную проекцию OO_1 картины (рис. 441, *а*) и начертим план лестницы под некоторым углом к нему. На плане лестницы поставим точки a, b, e, f, q, l . Точку a расположим на следе картины $K_H \equiv OO_1$. Определим проекцию точки стояния c и из нее восставим перпендикуляр cP , т. е. проекцию луча CP . Из точки c проведем проекции лучей в крайние точки b и f плана. Пересечение прямой cb со следом картины определит точку O_5 . На пересечении прямой cf со следом картины получим точку O_6 . Полученный угол зрения bcf должен быть острым, т. е. не более $35...40^\circ$. Из точки стояния c проведем прямую, параллельную прямой ab , до пересечения со следом картины OO_1 картины в точке V_1 . Точка V_1 является точкой схода для всех прямых, параллельных направлению луча cV_1 .

Перспективное изображение лестницы построим на картине, расположенной фронтально над планом лестницы. Начертим основание картины OO_1 и с помощью линии связи определим на нем вершину a . Проведем линию горизонта hh_1 на расстоянии от основания OO_1 картины примерно в полтора раза превышающем высоту лестницы, т. е. отрезок Vb (рис. 441, *б*). Определим положение точек P и V_1 . Так как лестница расположена под некоторым углом к картине, то для определения точки схода лестничного марша или восходящих параллельных прямых воспользуемся масштабной точкой M . На плане из точки V_1 проведем дугу окружности радиусом V_1c до пересечения со следом $K_H \equiv OO_1$ картины в точке M . Точку M определим на линии горизонта с помощью линии связи. Затем при точке V_1 построим угол α , одна сторона которого должна пересекаться с перпендикуляром, проходящим через точку V_1 в точке V_2 . Точка V_2 — точка схода для пучка параллельных восходящих прямых.

Построим перспективу точки b . Для этого на плане опустим из точки b на след картины $K_H \equiv OO_1$ перпендикуляр bO_2 . Точку O_2 по линии связи определим на основании OO_1 картины, расположенной фронтально. Точку O_2 соединим с точкой P , т. е. начертим прямую O_2P . Аналогично определим точку O_5 . Перспектива точки b определится на пересечении прямой O_2P с перпендикуляром, восставленным из точки O_5 к основанию OO_1 картины. Таким образом построим перспективу точек e, f, q, l . Далее из полученных на картине точек e, f, q, l проведем параллельные прямые в точку V_1 . Из перспективы точек a, l, q, f восставим перпендикуляры, на которых определим высотные размеры пандусов. На перпендикуляре, восставленном из точки a , отложим отрезок aA , равный размеру отрезка, заданного на профиле (рис. 441, *б*). Размеры отрезков

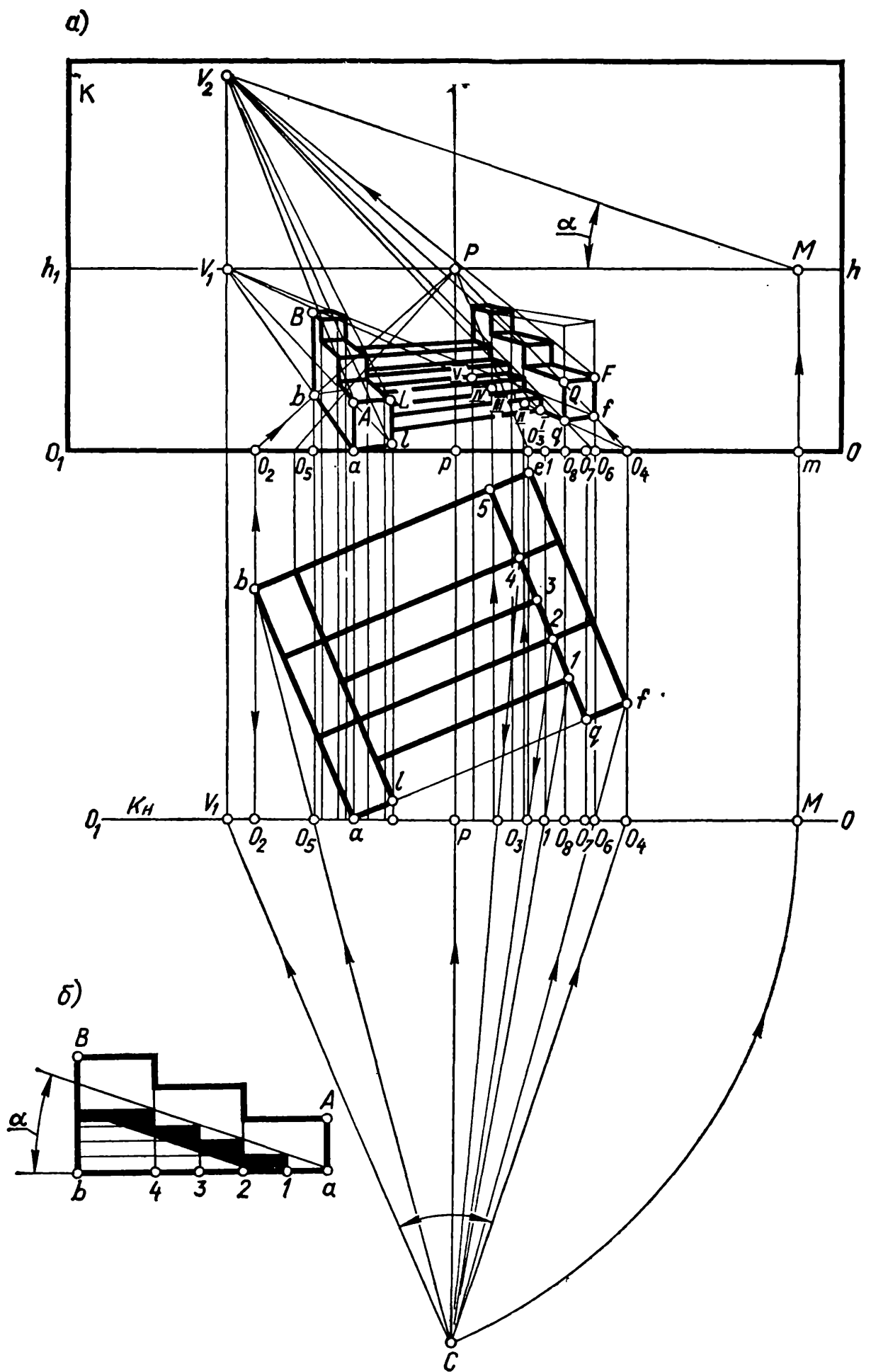


Рис. 441

Ll , Qq и Ff определим по масштабу высоты. Затем из перспективы точек A , L , Q , F поведем прямые в точку схода V_2 , так как вершины углов пандусов также лежат на наклонной плоскости, параллельной маршу лестницы. Горизонтальные плоскости выступов имеют точку схода V_1 на линии hh_1 . На плане отдельные углы выступов пандусов обозначены цифрами 2 и 4. Чтобы построить их перспективу, надо из точки стояния s провести прямые в точки 2 и 4, а затем точки пересечения прямых $s-2$, $s-4$ со следом картины определить по линиям связи на основании OO_1 картины и восставить из них перпендикуляры до пересечения с прямой qV_1 в точках II и IV . Из перспективы точек II и IV проведем вверх вертикальные прямые до встречи с прямой QV_2 . Таким образом найдем две вершины углов пандусов. Аналогично построим левую сторону пандуса, после чего соединим прямыми полученные перспективы углов пандусов.

Для построения перспективы ступеней лестницы из перспективы точек l и q проведем в точку схода V_2 параллельные прямые, которые определяют наклон марша. Перспективу ступеней лестницы строим в такой же последовательности, что и перспективы пандусов, с той лишь разницей, что в данном случае можно обойтись без применения масштаба высоты. Высотные размеры ступеней марша лестницы ограничиваются, с одной стороны, прямой qV_2 , с другой — прямой lV_2 .

Контрольные вопросы. 1. Где располагаются точки схода пучков параллельных прямых, лежащих в плоскости горизонта? 2. Где располагаются точки схода восходящих параллельных прямых? 3. Как располагается перспектива предельной прямой наклонной плоскости, если она параллельна основанию картины? 4. Что называется предельной прямой наклонной плоскости? 5. Какие данные необходимо иметь, чтобы построить фронтальную перспективу лестницы?

Глава 24

ПОСТРОЕНИЕ ОТРАЖЕНИЙ ПРЕДМЕТОВ В ЗЕРКАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

§ 77. ПОСТРОЕНИЕ ОТРАЖЕНИЙ ПРЕДМЕТОВ В ЗЕРКАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ

Плоская поверхность воды зеркально отражает свет и предметы, расположенные над ней. Поэтому при рисовании пейзажей с водоемами, например берега реки или морского залива, необходимо уметь строить зеркальное отражение в воде. На рис. 442 показан пример отражения в воде скульптурной композиции — «Рабочий и колхозница» скульптора Мухиной В. И.

Построение зеркальных отражений основывается на известных законах оптики: 1. Луч падающий AB (рис. 443) и луч отраженный CB располагаются в одной плоскости с перпендикуляром BT , проведенным к плоскости зеркала через точку B . 2. Угол падения α равен углу отражения α_1 .



Рис. 442

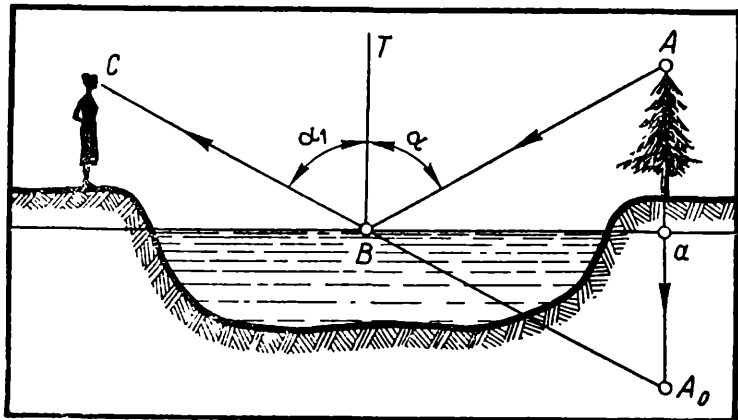


Рис. 443

Если провести горизонтально - проецирующую плоскость параллельно картине через вершину дерева, т. е. точку A , то луч, падающий от точки A на поверхность воды под углом α к вертикали BT , отразится под тем же углом и попадает в глаз наблюдателя в точке C . Зрительное отражение A_0 точки A окажется на продолжении отраженного луча CB ниже уровня зеркала на размер отрезка aA . Образовавшиеся прямоугольные треугольники BaA и BaA_0 равны, так как имеют по два одинаковых катета. Следовательно, изображение отраженных предметов в зеркальной поверхности воды располагается ниже уровня поверхности воды в перевернутом виде на расстоянии, равном надводной части предметов, т. е. симметрично относительно поверхности воды.

На рис. 444 показан вертикально стоящий в воде параллелепипед. Необходимо построить его отражение на зеркальной поверхности воды.

Обозначим ребра параллелепипеда буквами

A, B, E . Построение начнем с продолжения вниз ребер на высоту их надводной части $Aa = aA_0, Bb = bB_0$ и т. д. Как видно из построения, отражение параллелепипеда в зеркальной поверхности воды получилось перевернутым. Стороны оснований параллелепипеда имеют общие точки схода V и V_1 .

При изображении отражения в воде в некоторой наклонной плоскости (рис. 445) $ABEF$, выступающей из воды, строят так называемый зеркальный план $abEF$, т. е. горизонтальную проекцию наклонной плоскости. Затем от точки a откладывают вниз отрезок

$aA_0 = Aa$. Аналогично строят отражение точки B . Полученные точки A_0 и B_0 соединяют прямой, которая имеет точку схода V . Точки F и E соединяют прямыми с точками A_0 и B_0 . Таким образом получают отражение на зеркальной поверхности воды наклонной плоскости $ABEF$.

На рис. 446 изображен причал, на котором стоит вертикальный шест AB , и показано построение зеркального отражения причала и стоящего на нем шеста. Построение выполнено в такой последовательности. Через точку B проводят прямую, которая пересекает линию горизонта в точке V_1 , а край причала — в точке E . Через прямую EV_1 проводят вспомогательную плоскость, пересекающую причал по прямой Ee . Точку e соединяют с точкой схода V_1 . Прямая eV_1 является линией пересечения вспомогательной плоскости с поверхностью воды. Продолжая отрезок AB вниз до пересечения с прямой eV_1 , определим зеркальный план отрезка AB . Затем от полученной точки a откладывают отрезок aA_0 , равный отрезку aA , на котором получают зеркальное отражение в воде отрезка AB . Построение отражения причала не требует объяснений.

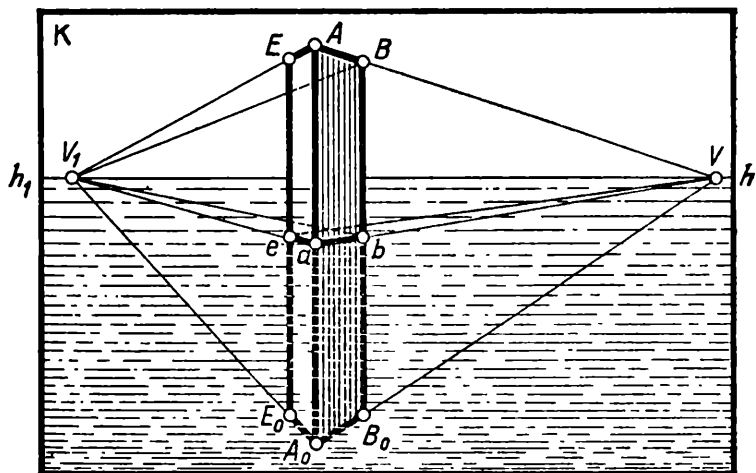


Рис. 444

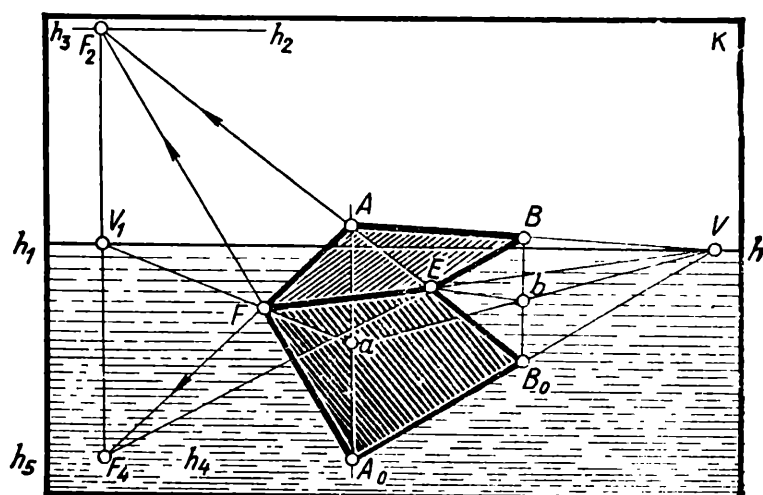


Рис. 445

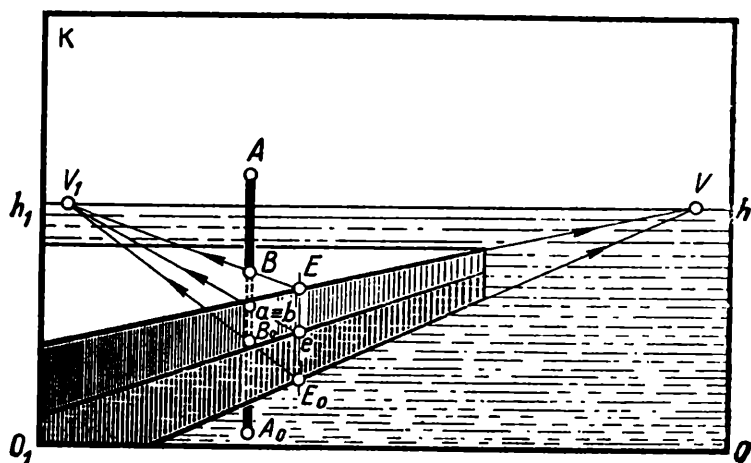


Рис. 446

**§ 78. ПОСТРОЕНИЕ ОТРАЖЕНИЙ ПРЕДМЕТОВ
В ПЛОСКОМ ЗЕРКАЛЕ**

На рис. 447 изображено зеркало, расположенное перпендикулярно картинной плоскости. Чтобы построить отражение отрезка AB в таком зеркале, проведем через концы отрезка параллельные прямые, перпендикулярные плоскости зеркала. Эти прямые образуют фронтальную плоскость, перпендикулярную зеркалу, которая пересечется с плоскостью зеркала по прямой $I—I$. От линии пересечения $I—I$ отложим в глубину зеркала отрезок $I—B_0$, равный отрезку $I—B$, т. е. расстоянию, на которое удален отрезок AB от плоскости зеркала. Затем из точки B_0 восставим перпендикуляр до пересечения с прямой $I—A$ в точке A_0 . Отрезок A_0B_0 является зеркальным отражением отрезка AB .

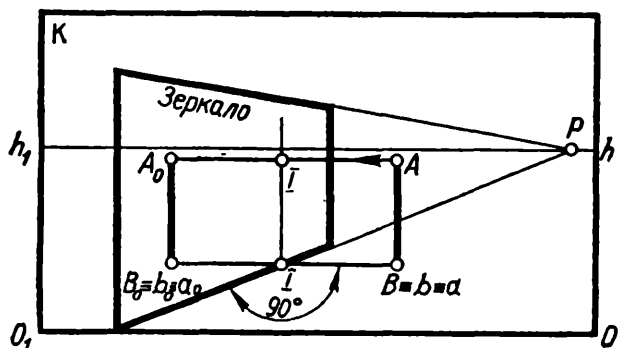


Рис. 447

Аналогично выполняется отражение отрезка AB в зеркале, если зеркало расположено параллельно фронтальной стене (рис. 448). Размер $I—B_0$, откладываемый в глубину зеркала, определяется с помощью перспективного масштаба глубины.

В тех случаях, когда плоскость зеркала расположена вертикально и под произвольным углом к картине (рис. 449), построение отражения отрезка выполняется в такой последовательности. Продолжим прямые, ограничивающие плоскость зеркала, до линии горизонта в точке V . Определим на картине совмещенную точку зрения C_K , при которой построим прямой угол VC_KV_1 . Через концы отрезка AB проведем прямые в точку V_1 ; образовавшаяся плоскость ABV_1 перпендикулярна плоскости зеркала. Далее определим линию $I—I$ пересечения плоскостей. Отложим от прямой $I—I$ в глубину зеркала расстояние, равное удалению отрезка AB от зеркала. Для этого можно использовать способ увеличения отрезка. На линии горизонта возьмем произвольную точку схода W и соединим ее прямой с точкой B . Затем начертим горизонтальную прямую, проходящую через основание зеркала в точке I и пересекающую прямую BW в точке 2 . Отрезок $I—2$ отложим на горизонтальной прямой от точки I в глубину зеркала. Из точки 2_0 , расположенной в глубине зеркала, проведем прямую в точку W . Прямая $2_0—W$ пересечется с прямой BV_1 в точке B_0 . Из точки B_0 восставим перпендикуляр до пересечения с прямой AV_1 в точке A_0 . Полученный таким образом отрезок A_0B_0 является отражением отрезка AB в зеркале. Как видно из построения, отраженный отрезок A_0B_0 получился перспективно уменьшенным.

Рассмотренные способы построения отражений в зеркале дают возможность строить перспективные отражения объемных предметов.

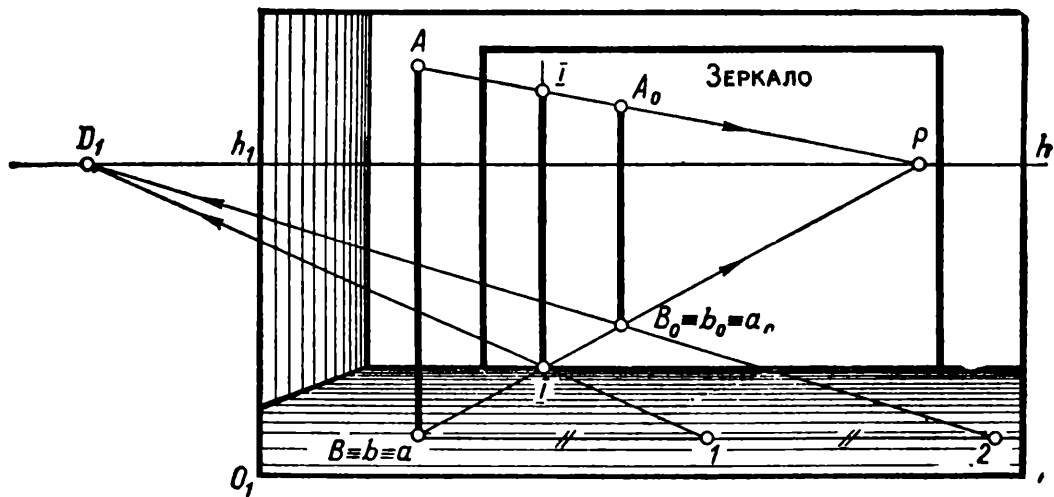


Рис. 448

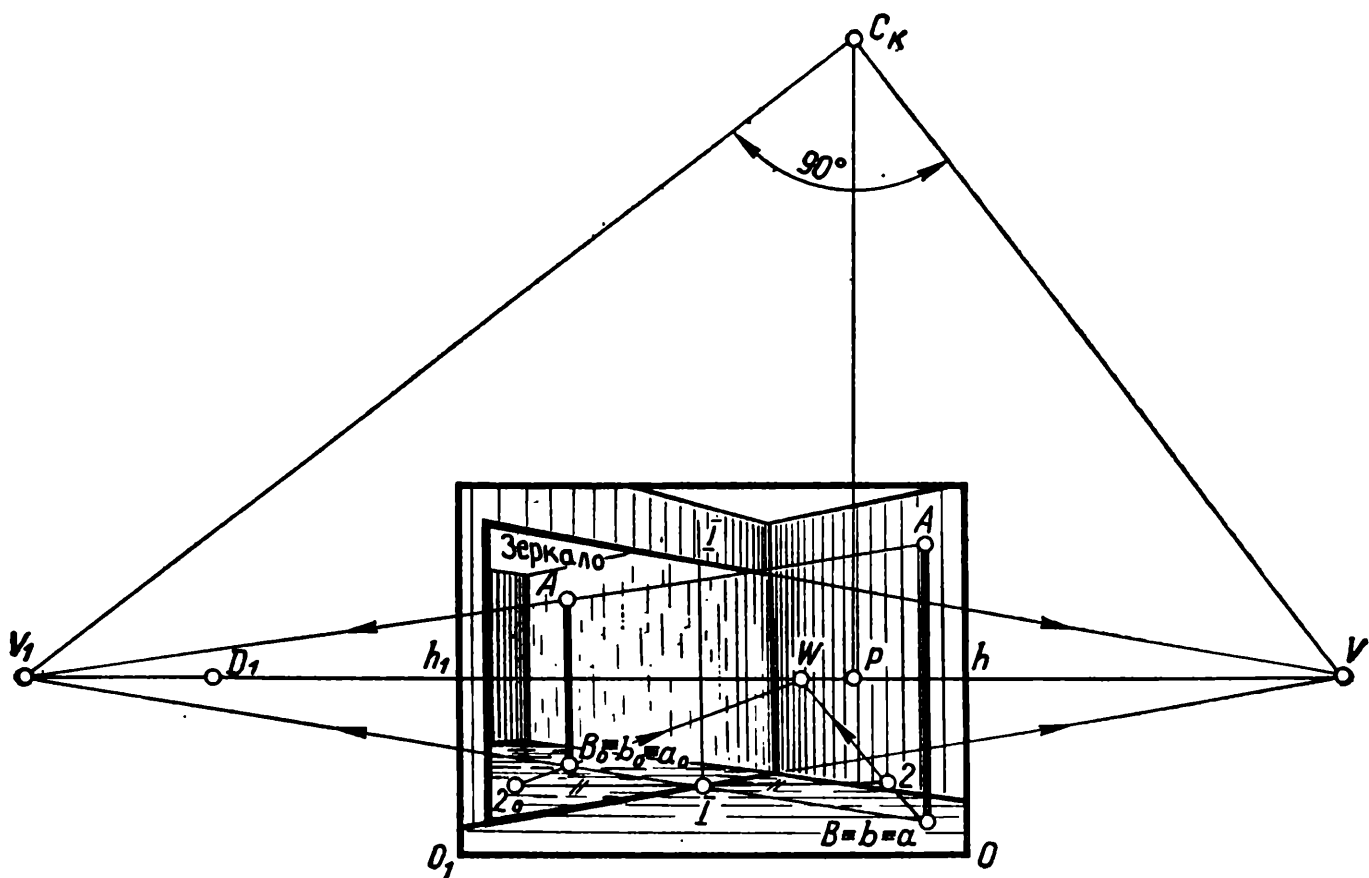


Рис. 449

Отражение предметов в наклонном зеркале строят по общему правилу построения отражений. На рис. 450 изображено зеркало прямоугольной формы, расположенное перпендикулярно картине и наклоненное к левой вертикальной стене на угол α . Чтобы построить отражение в зеркале отрезка AB , проведем через него вспомогательную плоскость, перпендикулярную зеркалу. След плоскости пересечет предметную плоскость по прямой $B-I$, параллельной основанию картины.

Линия пересечения $I-I$ плоскости зеркала с вспомогательной плоскостью параллельна плоскости зеркала, т. е. наклонена на

угол α относительно вертикальной стены. На прямую $I—I$ опустим перпендикуляры из точек A и B . Перспективное изображение отрезка AB определим на продолжении перпендикуляров, проведенных в глубину зеркала от прямой $I—I$.

На рис. 451 выполнено построение отражения паркетного пола, вертикально расположенного шеста AB и двери в наклонном зеркале. Зеркало наклонено к стене под углом α .

Чтобы построить зеркальное отражение шеста, проведем через заданный отрезок вспомогательную фронтальную плоскость, перпендикулярную плоскости зеркала. Определим линии $I—I$ пересечения этой плоскости с

плоскостью зеркала и опустим на нее перпендикуляр. От линии пересечения $I—I$ в глубину зеркала откладываем отрезки, равные длине опущенных перпендикуляров.

Отражение в зеркале паркетного пола строят так же, как отражение шеста AB . На полу в точках пересечения плиток паркета наметим точки

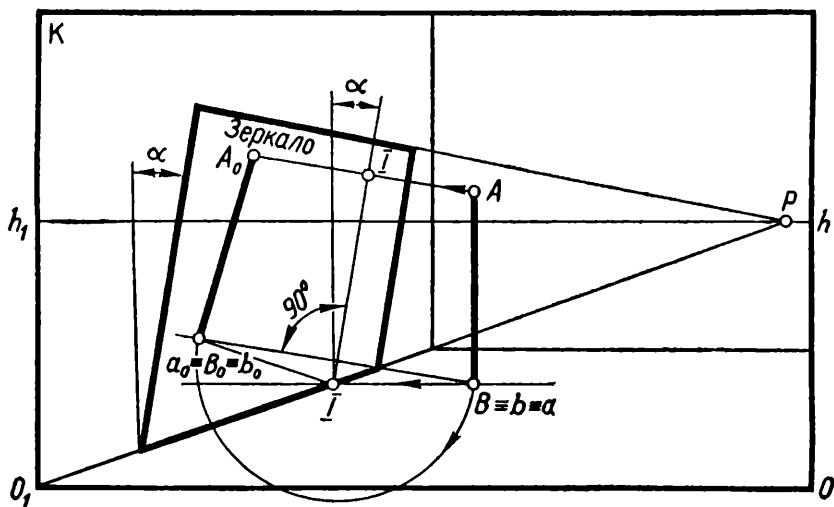


Рис. 450

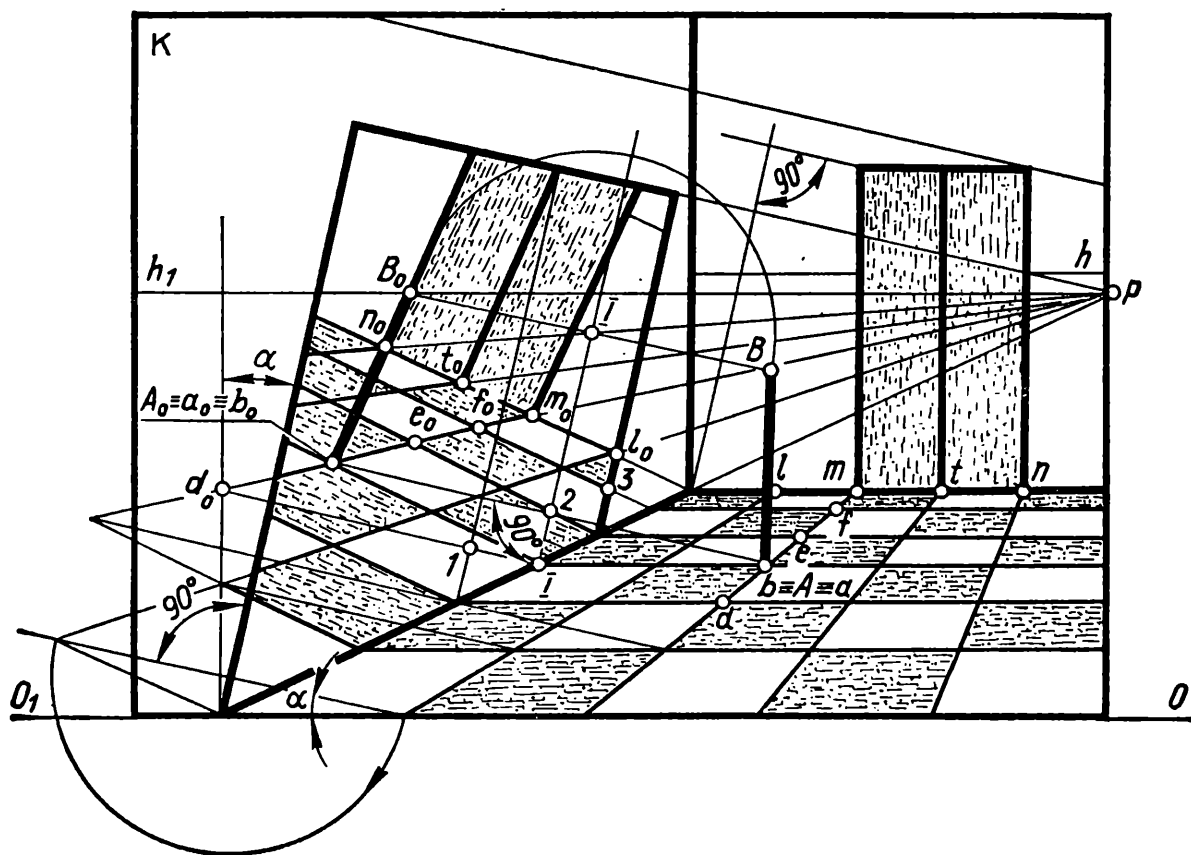


Рис. 451

d, e, f , затем построим зеркальное отражение каждой точки. Отраженные в зеркале точки d_0, A_0, e_0, f_0 лежат на одной прямой, идущей в точку схода P . Начертим отраженные в зеркале горизонтальные прямые. Для этого проведем параллельные прямые через точки d_0, A_0, e_0, f_0 до пересечения их с горизонтальными прямыми, расположенными на полу у основания зеркала, как показано на рис. 451.

Для построения отражения двери и параллельных, перпендикулярных картине, мысленно продолжим плоскость зеркала до фронтальной стены. Начертим отраженные в зеркале точки l, m, t, n , т. е. получим точки l_0, m_0, t_0, n_0 . Через отраженные точки проведем прямые в точку P , поскольку они перпендикулярны картине. Из точек m_0, t_0, n_0 восставим перпендикуляры до пересечения с верхним основанием зеркала. Таким образом, построим отражение в наклонном зеркале паркетного пола и двери комнаты.

Контрольные вопросы. 1. На чем основывается построение перспективы предмета, отраженного в плоском зеркале? 2. Как располагаются перспективы предметов, отраженных в зеркальной поверхности воды? 3. Объяснить сущность построения отражения вертикально стоящего отрезка в зеркале, расположенном перпендикулярно картине. 4. С помощью каких элементов картины выполняется перспективное изображение вертикального отрезка в плоском зеркале, расположенном параллельно картине?

Глава 25

АНАЛИЗ РИСУНКОВ И КАРТИН ХУДОЖНИКОВ

Перспективные проекции дают возможность художнику очень наглядно передавать на плоскости бумаги или на полотне объемность форм различных предметов и их взаимное расположение в пространстве. Поэтому линейная перспектива для художника является одним из наиболее выразительных средств, с помощью которого он может правдиво изображать реальный мир и создавать художественные произведения.

В зависимости от того, как художник задумает расположить на картине линию горизонта и главную точку картины, какое возьмет главное расстояние, меняется композиция картины, а следовательно, и эмоциональное воздействие композиции на зрителя.

§ 79. АНАЛИЗ РИСУНКОВ ПЛОСКИХ И ОБЪЕМНЫХ ФИГУР

Прежде чем приступить к анализу построения перспективы в произведениях художников, необходимо научиться выполнять следующие построения: определять положение линии горизонта на картине, осуществлять проверку параллельности прямых, заданных на картине, определять на картине главную точку зрения, расстояние зрителя до картины и угол зрения. Первые два пункта рассматривались в § 71. Разберем подробно последний пункт.

Допустим, что на картине изображен рисунок (чертеж) квад-

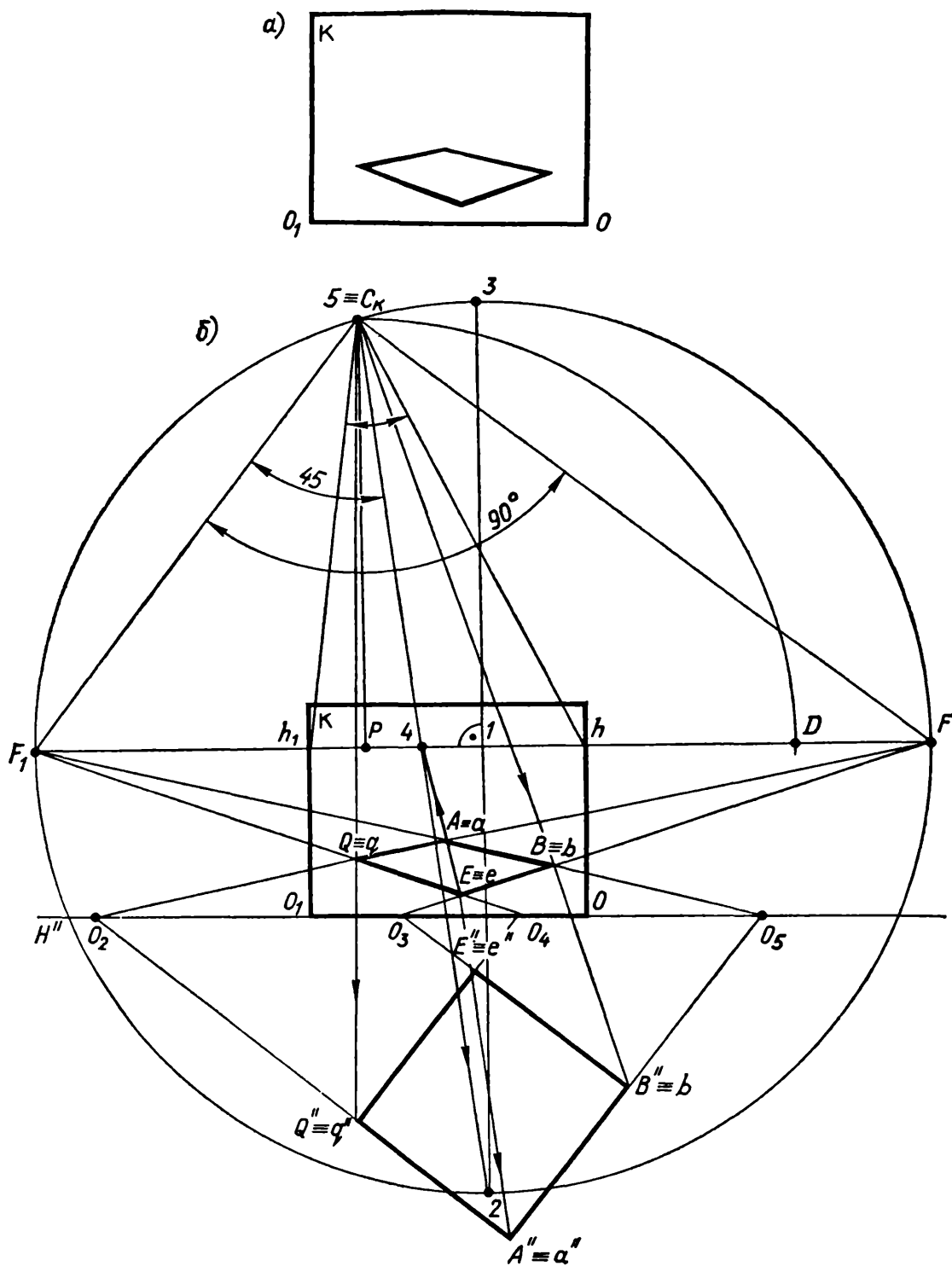


Рис. 452

рата (рис. 452.а). Требуется определить положение линии горизонта и главной точки зрения, расстояние зрителя до картины и угол зрения.

Определим сначала линию горизонта на картине (рис. 452,б). Для этого продолжим стороны квадрата до пересечения их в точках F и F_1 . Точки F и F_1 соединим прямой hh_1 , которая является линией горизонта для заданного квадрата. Отрезок FF_1 разделим пополам точкой 1 . Через точку 1 проведем вертикальную прямую. Далее из точки 1 радиусом $1-F$ проведем окружность, которая пересечется с вертикальной прямой в точках 2 и 3 . В квадрате проведем диагональ AE и продолжим ее до пересечения с линией го-

ризонта в точке 4. Определим совмещенную точку зрения C_K . Для этого через точки 2 и 4 проведем прямую до пересечения с окружностью в точке 5. Из точки 5 опустим перпендикуляр на прямую hh_1 . Точка пересечения перпендикуляра с линией hh_1 явится искомой точкой P . Точка 5 совпадает с точкой C_K . Отрезок $C_K P$ определит расстояние зрителя до картины. Из точки P радиусом PC_K проведем дугу до пересечения с hh_1 , получим точку D . Совмещенную точку зрения C_K соединим с точками F и F_1 получим прямой угол, опирающийся на диаметр $FC_K F_1$. Прямая $C_K A$ — биссектриса угла $FC_K F_1$.

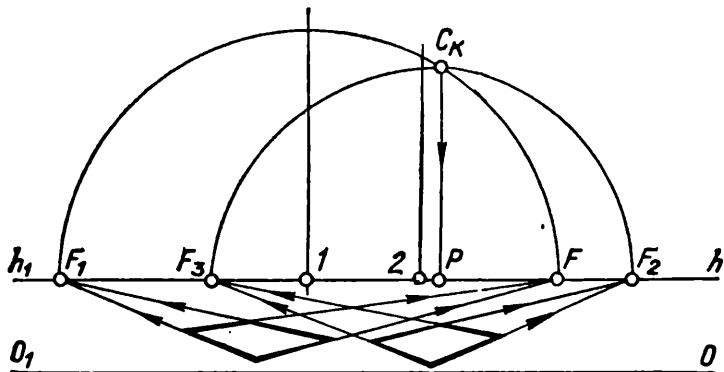


Рис. 453

Чтобы убедиться в достоверности способа, проверим точность построения перспективы квадрата. Для этого продолжим стороны квадрата до основания картины. Точки пересечения обозначим O_2, O_3, O_4 и O_5 .

Через точки O_2 и O_3 проведем прямые, параллельные прямой $C_K F_1$, а через точки O_3 и O_5 — прямые, параллельные прямой $C_K F$. Пересечение двух пар параллельных прямых определит в совмещенной плоскости H'' квадрат $A'' B'' E'' Q''$. Если из точки зрения C_K провести прямые в точки $A'' B'' E'' Q''$, то эти прямые непременно пройдут через одноименные вершины квадрата в перспективе.

Для определения угла зрения из совмещенной точки зрения C_K проводим две прямые в точки пересечения линии горизонта с вертикальными рамками картины.

Рассмотренный способ нахождения главной точки зрения картины позволяет найти положение точки P не только перспективы квадрата, но также и перспективы любого прямоугольника. Определение положения точки P и расстояния зрителя до картины упрощается, если на картине изображены два квадрата или два прямоугольника.

Предположим, что дана перспектива двух прямоугольников, лежащих на предметной плоскости (рис. 453). Необходимо определить точку P , расстояние PD и угол зрения.

Построение выполним в такой последовательности. Определим точки схода для одного прямоугольника, расположенного слева, — точки F и F_1 (см. рис. 452). Проведем через точки F и F_1 линию горизонта. Определим точки схода и линию горизонта для другого прямоугольника — точки F_2 и F_3 . Отрезки FF_1 и $F_2 F_3$ разделим пополам — точки 1 и 2. Из точки 1 проведем полуокружность радиусом $1-F_1$, а из точки 2 пересечем эту полуокружность дугой, проведенной из точки 2, равной радиусу $2-F_2$. Получим искомую точку C_K . Остальное построение аналогично предыдущему и не требует объяснений.

Умение определять по заданной перспективе квадрата или прямоугольника элементы картины позволяет анализировать рисунки не только плоских, но и объемных фигур. Большинство объемных предметов при построении в перспективе выполняют упрощенно. Например, при построении перспективы стола круглой формы (окружности) чертят сначала перспективу квадрата, в который вписывают окружность, а сам стол вписывают в куб или параллелепипед.

§ 80. АНАЛИЗ КАРТИН ХУДОЖНИКОВ

В картине великого русского художника И. Е. Репина «Не ждали» (рис. 454) линия горизонта расположена выше середины картины, на высоте зрителя, стоящего в рост. Главная точка зрения картины сдвинута от середины несколько влево и помещается между основными фигурами. Таким образом, правая часть комнаты получилась немного больше. Комната изображена во фронтальной перспективе. Центр композиции лежит на пересечении продолженных линий пола и потолка. Для усиления внимания зрителя к главной точке зрения картины художник расположил головы двух основных персонажей как бы на продолжении линий потолка. Кроме того, взоры детей обращены в сторону вошедшего в комнату человека, голова которого немного повернута вправо. Такое решение композиции заставляет обратить внимание зрителя на две главные фигуры, между которыми должно что-то произойти. Если принять рост служанки, стоящей возле открытой двери, за средний (165 см), то, построив под картиной линейный масштаб, нетрудно определить высоту потолка комнаты, размеры комнаты, расстояние зрителя до картины и угол зрения. Из построения видно, что угол зрения получился равным примерно 48° .

В картине художника А. И. Морозова «Сельская бесплатная школа» (рис. 455) изображена перспектива угла комнаты. Линия горизонта определяется на пересечении продолженных линий потолочных балок. Из-за сравнительно низкого горизонта создается впечатление, как будто художник сидел в этой же избе и наблюдал за всем происходящим. Композиция построена так, что глаз зрителя с трудом охватывает всю картину. Художник берет угол зрения 73° , т. е. больше допустимого, отсюда расстояние зрителя до картины равно $\frac{3}{4}$ ее диагонали. Центр композиции в данной картине не ярко выражен, поэтому не сразу его можно определить. Очевидно, главная точка зрения картины должна быть расположена между группами детей, сидящих возле дальней стены комнаты. Левая группа состоит из четырех фигур, правая — из пяти, включая фигуру учительницы.

Известный советский художник Б. В. Иогансон в картине «Допрос коммунистов» (рис. 456) применяет своеобразный композиционный прием. Он располагает линию горизонта почти у самого верхнего края картины. В результате этого фигуры коммунистов возвышаются над белогвардейскими офицерами. Горизонт прохо-

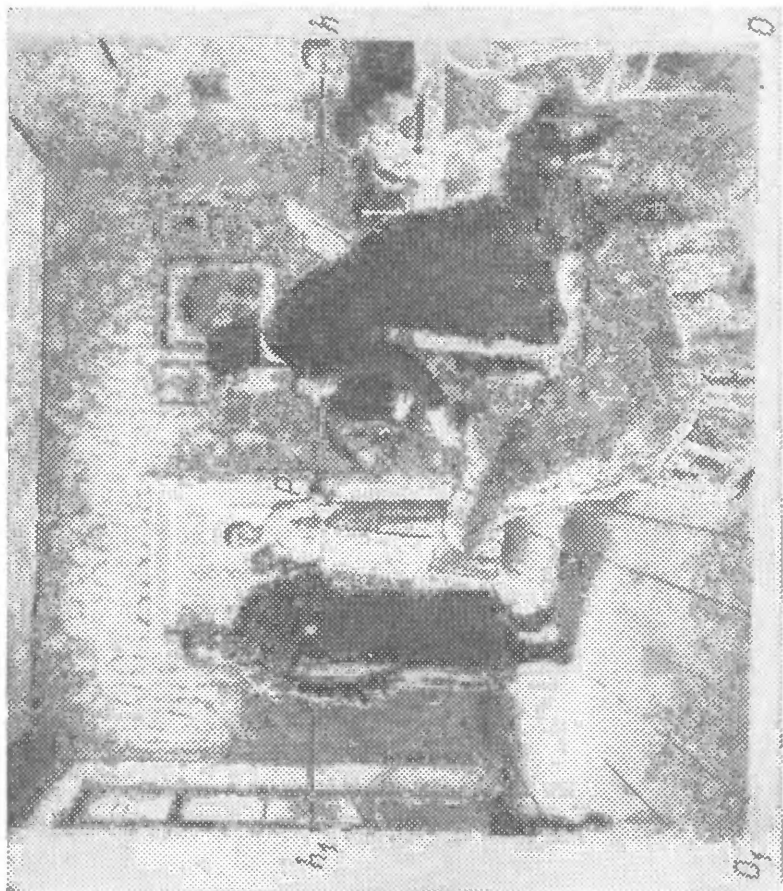
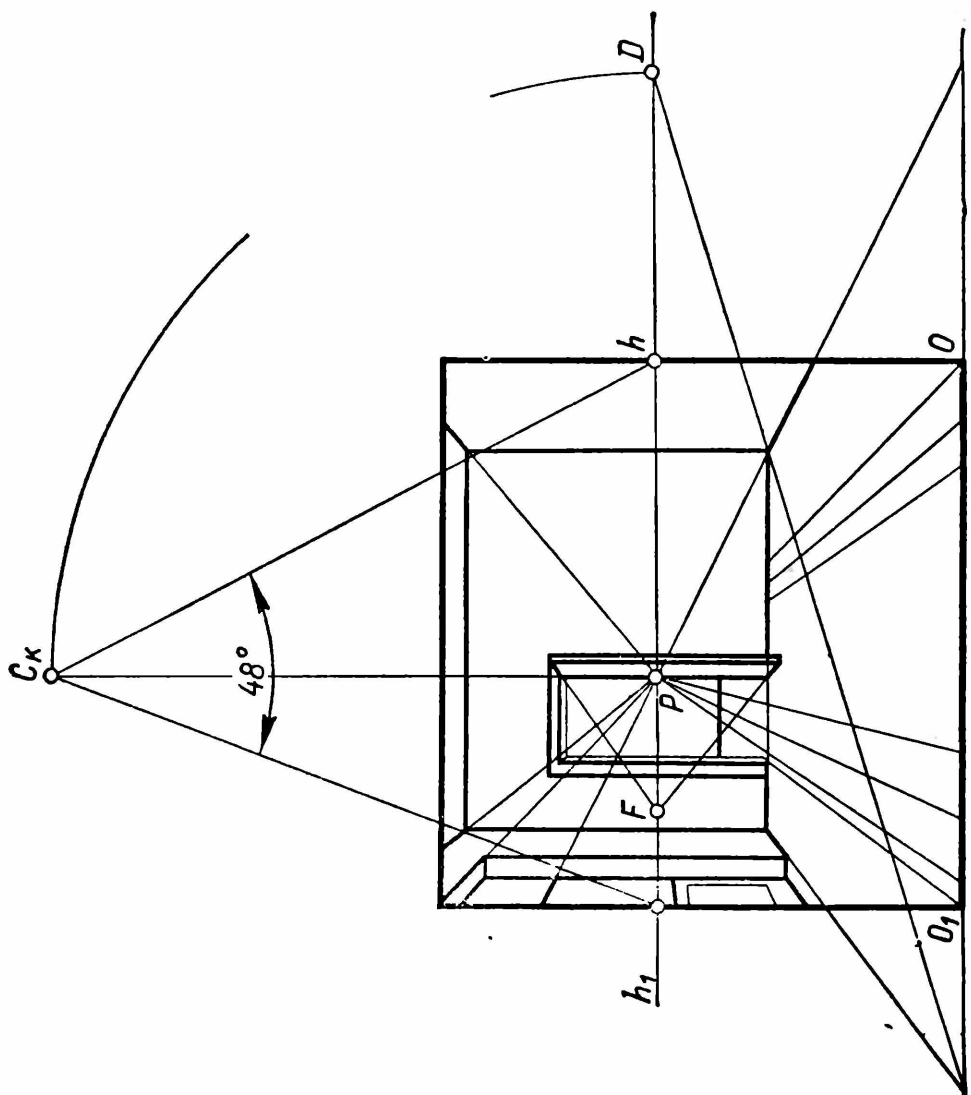


Рис. 454

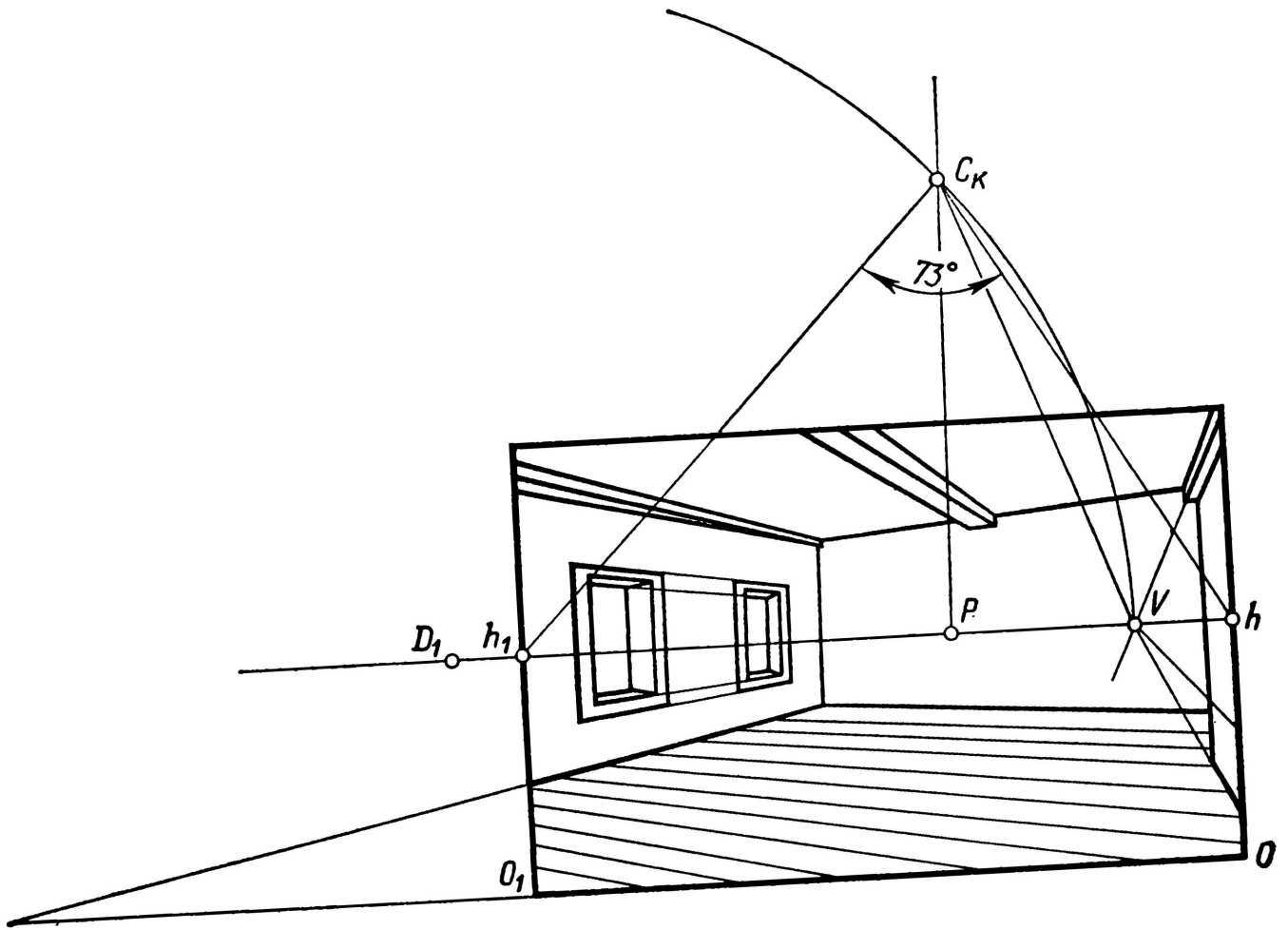


Рис. 455

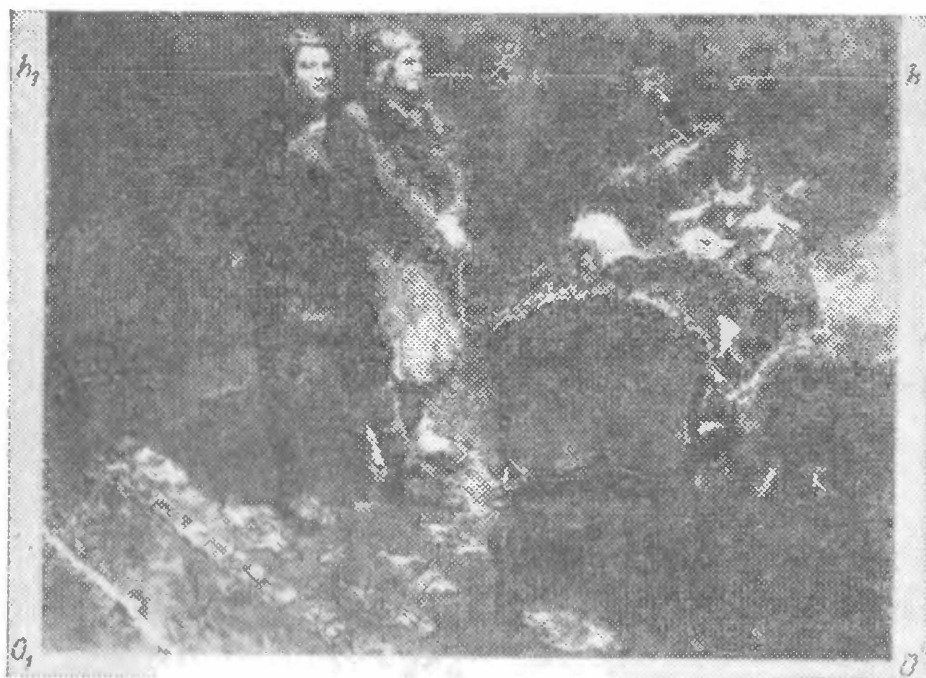
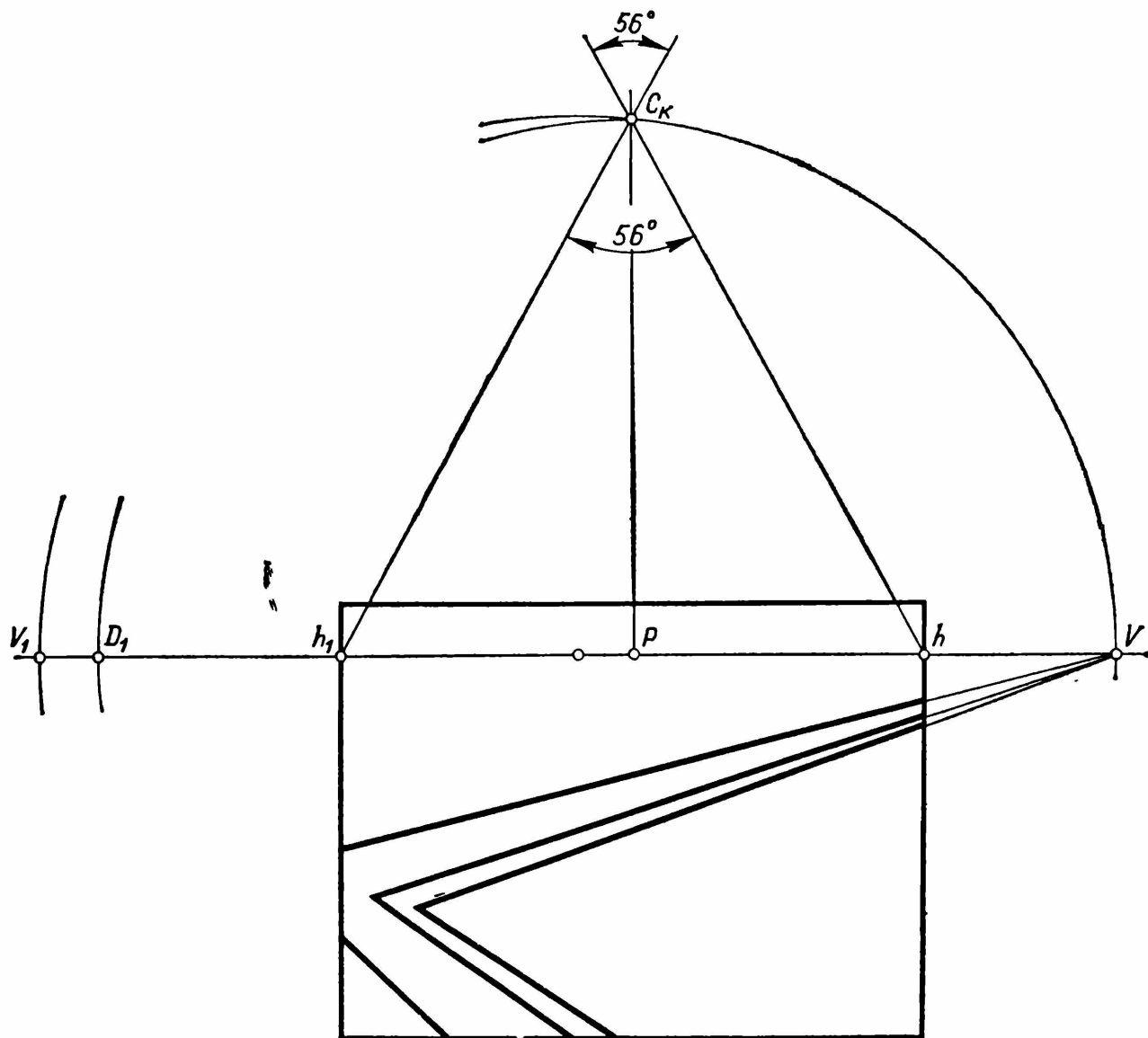


Рис. 456

дит на высоте глаз основных персонажей. Главная точка зрения расположена в центре между фигурами коммунистов и белыми офицерами. Таким образом, все внимание сосредоточивается в одно место. Резкие сокращения плоскости ковра, прикрывающего пол, усиливают напряженность обстановки. Угол зрения взят более 50° . Зритель как бы стоит за спиной сидящего генерала.

Контрольные вопросы. 1. Как определить элементы картины, если на картине задана перспектива прямоугольника, лежащего в предметной плоскости? 2. Как проверить правильность перспективного построения рисунка параллелепипеда, стоящего на предметной плоскости под произвольным углом к картине? 3. Подберите репродукцию с картины известного художника и составьте план проверки перспективного построения ее композиции.

Задачи, поставленные ЦК КПСС и правительством Советского Союза в области идеологической работы, требуют совершенствования системы образования в учебных заведениях искусств, значительного углубления и органического единства профессионального и идейно-эстетического воспитания учащейся творческой молодежи.

Коммунистическая идеология, в духе которой воспитывается молодое поколение, основана на великом учении марксизма-ленинизма, воплотившем в себе все многовековые достижения прогрессивной научной мысли и непрерывно развивающемся на основе достижений научного знания. Гармоническое развитие личности немыслимо без приобщения к сокровищам отечественной и мировой культуры. Для успешного построения коммунистического общества воспитание высококвалифицированных, идеологически подготовленных молодых специалистов имеет принципиальное значение.

Одной из основных специальных дисциплин, формирующих пространственное представление и образное мышление будущего художника декоративно-прикладного искусства, является «Черчение и перспектива», изучаемая на первом курсе.

Цель курса — дать учащимся определенную систему знаний по черчению и перспективе, обучить самостоятельному их приобретению.

Программой данного курса предусматривается изучение теоретических основ и методов проецирования пространственных фигур на плоскости, обучение практическим приемам построения чертежей деталей согласно требованиям «Единой системы конструкторской документации» (ЕСКД), а также чертежей различных объектов, выполненных по законам и правилам линейной перспективы.

В процессе изучения курса учащиеся должны научиться: рациональным приемам работы чертежными инструментами, аккуратности и точности выполнения чертежей всех разделов программы; технике написания отдельных букв, слов, предложений и цифровых обозначений на чертежах чертежным шрифтом; компоновать чертежи на листах стандартного формата; анализировать конструктивную форму предметов, в том числе технического характера; строить проекции предметов по методу прямоугольных (ортогональных), аксонометрических (параллельных) и центральных (перспективных) проекций; выполнять эскизы, технические рисунки и рабочие чертежи с моделей и деталей; пользоваться справочной литературой и ГОСТами; читать несложные чертежи предметов и деталей; строить различными способами перспективу предметов, интерьеров и других объектов; строить собственные и падающие тени от предметов при задании различных источников освещения: естественного (солнечного), искусственного (факельного); производить анализ перспективы рисунков предметов, выполненных с натуры (определять по репродукциям с картин художников основные элементы картин — линию горизонта, главную точку картины, угол зрения, т. е. производить анализ построения композиции картины с точки зрения построения перспективных изображений); строить перспективные изображения, отраженные в плоском зеркале.

Изучение курса «Черчение и перспектива» должно быть направлено на дальнейшее расширение круга интересов учащихся, воспитание у них эстетических потребностей и эмоционально-эстетического отношения к действительности. В процессе изучения курса «Черчение и перспектива» учащиеся знакомятся с новыми формами познания действительного мира и вопросами техники с помощью чертежа, с применением теории перспективы в изобразительном искусстве. На занятиях развиваются мыслительные способности учащихся, т. е. умение наблюдать, сопоставлять, анализировать геометрическую форму и конст-

рукцию реальных предметов и их положение в пространстве. Важное значение имеет использование на уроках богатейшего исторического наследия, связанного с именами выдающихся ученых и художников нашей страны в области науки, техники, изобразительного искусства.

Совершенствование знаний и дальнейшее формирование умений и навыков учащихся осуществляются также во внеклассной работе (создание учебно-наглядных пособий и пр.), работе кружков, организации выставок графических работ учащихся, проведении тематических вечеров, конкурсов, олимпиад, экскурсий и т. д. Знания, умения и навыки, усвоенные учащимися в процессе изучения черчения и перспективы, найдут применение при прохождении других смежных учебных предметов: рисунка, живописи и композиции.

Порядок изучения программного материала в пределах каждой темы планируется самим преподавателем с учетом общедидактических требований. Советская дидактика (часть педагогики, изучающая образование и обучение) формирует ряд общих правил проведения упражнений. Дидактика учитывает не только общие, но и специфические для каждого предмета особенности обучения. Первым правилом является доведение до сознания учащегося цели и порядка выполнения упражнения. Разнообразие упражнений — второе правило их организации. Третье правило — систематичность проведения упражнений. Причем после объяснения нового материала упражнения даются чаще. Постепенное нарастание трудностей упражнений — следующее правило их проведения.

Теоретический материал курса должен закрепляться в практических работах учащихся. На выполнение практических работ следует использовать не менее двух третей общего количества времени, отведенного на предмет.

Учащиеся записывают необходимый учебный материал, даваемый преподавателем, в рабочую тетрадь, а основная графическая работа выполняется на листах чертежной бумаги стандартных размеров с помощью чертежных инструментов карандашом или тушью (по усмотрению педагога). При выполнении заданий по линейной перспективе желательно применять технику отмывки и цвет. Эту основную графическую работу учащиеся должны выполнять в аудитории под руководством преподавателя. Для закрепления учебного материала выполняются домашние задания (повторение учебного материала по учебнику или записям в рабочей тетради, а также по задачку черчения и перспективе). В домашнюю работу может входить окончательное завершение аудиторных работ и др.

Практические работы, выполненные учащимися и проверенные преподавателем, рекомендуется брошюровать в отдельные папки по разделам программы, а лучшие работы желательно хранить в училище. Контроль за работой учащихся осуществляется преподавателем посредством наблюдения за текущей работой, устного опроса, обязательных самостоятельно выполненных практических работ по разделам курса, контрольных (итоговых) работ.

Учебник состоит из четырех разделов: геометрическое черчение, проекционное черчение, техническое рисование, линейная перспектива.

Раздел первый. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ. При изучении учебного материала к главе «Чертежные принадлежности и инструменты. Рекомендации по их использованию» учащимся необходимо обратить внимание на перечень принадлежностей и инструментов, которые надо приобрести для выполнения чертежей; организацию своего рабочего места (расположение чертежей инструментов и принадлежностей на столе); правильную посадку за рабочим столом; заточку карандашей (заточку карандашей рекомендуется производить дома); технику обводки линий с помощью угольника и циркуля (см. иллюстрации в учебнике); изучение материалов Государственных общесоюзных стандартов: ГОСТ 2.301—68 — форматы чертежей; ГОСТ 2.303—68 — линии чертежа; ГОСТ 2.302—68 — масштабы; ГОСТ 2.307—68 — нанесение размеров.

Стандарт — это нормативно-технический документ, утвержденный компетентным органом, устанавливающий нормы, правила, требования к объекту стандартизации. Стандарты содержат показатели, которые дают возможность повысить качество продукции и экономичность ее изготовления. Стандартизация основывается на объединенных достижениях науки, техники и практического опыта и определяет основу не только настоящего, но и будущего развития; она должна осуществляться неразрывно с прогрессом. В нашей стране ни одно предприятие не имеет права изготавливать изделие по своему усмотрению, если на него имеется стандарт. Объектами стандартизации являются единицы,

терминология и обозначения физических величин, характеристики изделий и требования к ним, требования к технике безопасности и сохранению материальных ценностей и др.

Изучение темы «Чертежный шрифт» должно осуществляться на всем протяжении изучения курса, поскольку практические навыки в написании текста приобретаются путем систематических тренировок. Главной и конечной задачей при изучении чертежного шрифта является умение выполнять надписи в штампе и на чертежах, а также проставлять цифровые обозначения (размеры). Правила выполнения надписей в штампе приведены в учебнике, помимо этого преподаватель показывает процесс оформления штампа на классной доске в течение нескольких занятий (желательно в течение всего учебного года). Написание букв и цифр чертежного шрифта начинают с разлиновки специальной сетки с наклонными прямыми к горизонтальной прямой под углом 75° (для крупного размера шрифта № 10).

Изучение конструкций букв чертежного шрифта осуществляется не в алфавитном порядке, а по группам (см. учебник). Совместная группировка родственных по форме букв прописного и строчного шрифтов способствует быстрейшему освоению учащимися надписей чертежным шрифтом. Написание шрифта начинают с прописных (заглавных) букв.

Первые тренировочные упражнения, связанные с изучением конструкций букв, можно выполнять в тетради в косую линейку. Прделав упражнения в тетради, учащиеся выполняют самостоятельную работу по шрифту с определенным расположением отдельных букв (или текста) на чертежной бумаге стандартного формата, заполняют графы в штампе по образцу, данному в учебнике и задачнике (с. 16, рис. 26).

В главе «Геометрические построения» приведены следующие построения: проведение прямой, параллельно данной, построение перпендикулярных прямых, деление отрезка пополам и на равные части, деление окружности на равные части и др. Все эти построения выполнялись учащимися на уроках геометрии и черчения в средней школе. Знание основных геометрических построений дает возможность учащимся правильно и быстро чертить, выбирая для каждого построения рациональные приемы построения (см. учебник).

На занятиях по черчению геометрические построения рекомендуется выполнять на чертежной бумаге с соблюдением большой точности и аккуратности. Особое внимание обращается на самостоятельную работу учащихся, во время которой используется учебник и задачник, откуда учащиеся могут брать задания по вариантам. В задачнике приведены не только задания, но и образцы выполнения заданий по всем разделам курса. При составлении самостоятельных композиций орнаментов важно, чтобы учащиеся больше проявляли творческой инициативы. Творческая инициатива будит мысль учащихся, делает труд одухотворенным и увлекательным.

Одной из тем раздела «Геометрическое черчение» является тема «Сопряжения». Важность и значение этой темы объясняется большим распространением скруглений в технических формах деталей машин и строительных конструкций. В ряде случаев скругления не только обеспечивают удобство пользования деталью, но также и прочность (галтели в валах, скругления в отливках). От умения правильно начертить скругление зависит качество чертежа, быстрота его выполнения и, следовательно, экономичность в работе.

Изучение сопряжений начинают с разбора примеров на различные случаи сопряжений, приведенные в учебнике, а затем переходят к выполнению практической работы. Примеры заданий приведены в задачнике. При выполнении индивидуальных заданий на построение сопряжений необходимо обращать внимание на компоновку чертежа на листе (одного или нескольких), технику и точность исполнения (все контурные линии должны быть обведены плавной линией одной толщины, расстановку размеров, написание цифровых обозначений, заполнение всех граф в штампе. Окончательную обводку чертежа выполняют после того, как закончится построение всего чертежа в тонких линиях. Обводку чертежа начинают с больших дуг окружностей, затем переходят к обводке дуг меньших размеров. Прямые линии обводят после того, как обведены кривые. Чтобы толщина контурных линий дуг окружностей и прямых линий получилась одинаковой, рекомендуется в циркуль вставлять грифель мягче того, которым обводят прямые линии. Например, если мягкость грифеля в циркуле ТМ, то прямые линии обводят карандашом марки Т.

Раздел второй. **ПРОЕКЦИОННОЕ ЧЕРЧЕНИЕ.** В разделе приведен учебный материал, связанный не только с графическими построениями чертежей, но и с развитием пространственного мышления учащихся. Трудно назвать хотя бы одну область деятельности человека, где бы умение ориентироваться в пространстве (видимом или воображаемом) не играло существенной роли. Свободное ориентирование пространственными образами является тем фундаментальным умением, которое объединяет разные виды учебной и трудовой деятельности. Оно рассматривается как одно из профессиональных качеств в подготовке художника декоративно-прикладного искусства, техника, инженера, архитектора, строителя, оператора и т. д.

Учитывая постепенность и индивидуальность развития пространственного мышления учащихся, следует больше выполнять упражнений с моделями (геометрическими телами, деталями несложной формы). Научившись понимать построение проекций геометрических тел и простых по форме деталей, можно в качестве упражнения задавать на поверхностях этих тел отдельные точки, отрезки и строить проекции этих точек и отрезков на всех видах. Весьма полезно делать упражнения на определение положения точки на аксонометрическом изображении геометрического тела (предмета) по заданному комплексному чертежу этого предмета, на котором задается искомая точка. Примеры построения подобных задач изложены в учебнике, а упражнения в достаточном количестве приведены в задачнике (см. Задачник по черчению и перспективе, § 19).

Несомненно, что практические работы в аудитории под руководством преподавателя обеспечивают закрепление конкретно полученных знаний учащихся, способствуют полнее осуществлять связь теории и практики в обучении. Однако при выполнении практической работы учащиеся далеко не всегда прибегают к помощи полученных знаний и работают механически. Воспитание потребности в самостоятельном применении знаний возникает, когда перед учащимися ставится творческая задача, например придумать каждому чертеж объемного предмета, заданного двумя проекциями, третью проекцию необходимо построить. Проверку правильности решения наиболее сложных и интересных задач можно разбирать у классной доски при активном участии всех учащихся.

При изучении темы «Сечение геометрических тел проецирующими плоскостями» следует обратить внимание на обозначение секущих плоскостей; расположение на листе фигуры сечения, последовательность ее построения (определение проекций опорных и промежуточных точек); построение развертки усеченной части фигуры. На развертке (чертеже) усеченного тела контурной линией обводят лишь пограничные контуры, а смежные фигуры (треугольники, трапеции, прямоугольники) разделяют тонкой прямой линией (см. учебник).

Задачи на построение разверток усеченных тел с последующим изготовлением модели — один из видов упражнений в развитии навыков чтения чертежа. Изготовление модели по чертежу помогает учащимся проверить и уточнить возникшие у него на основании анализа чертежа представления пространственного образа предмета.

Задачи и задания по теме «Взаимное пересечение поверхностей» трудоемки и довольно сложны. Поэтому при выполнении их необходимо вначале вычертить тонкими линиями графическое условие задачи, т. е. два пересекающихся тела, например, призму и пирамиду, с учетом места на чертеже для расположения наглядного изображения (аксонометрии). Затем надо обвести более ярким контуром проекции ребер и граней этих тел до опорных точек (где это возможно). Далее построить проекции линий пересечения с помощью способа секущих (дополнительных) плоскостей. Наглядное изображение выполняют в той же последовательности, что и на комплексном чертеже, а также с помощью метода координат путем переноса размеров с комплексного чертежа на аксонометрию. Обводка чертежа должна производиться после окончания всех построений как на комплексном чертеже, так и в аксонометрии.

В главе «Основные правила графического выполнения чертежей деталей» излагаются метод, способы и правила изображения предметов (деталей), внешние и главным образом внутренние очертания которых затрудняют быстрое и безошибочное представление о них лишь с помощью видов. Например, в теме «Виды, разрезы и сечения» необходимо понять условность изображения простых разрезов, а также, что выполненный разрез на одной проекции не проецируется на другую, а линией раздела между половиной вида и полови-

ной разреза является осевая линия и т. д. Изучение простых разрезов следует начинать на примерах полных разрезов несимметричной формы деталей, а затем переходить к рассмотрению симметричных деталей, на которых показывается половина вида и половина разреза. Затем по мере изучения и закрепления материала на практических занятиях необходимо перейти к выполнению сочетания двух-трех разрезов (фронтального, горизонтального, профильного) на одном чертеже. Преобразование вида в разрез должно производиться на примерах разной сложности. Сложность примеров может определяться не замыслом форм предмета, а характерным разнообразием их, требующим от учащегося внимания ко всем трем проекциям на чертеже, освоения самого процесса выполнения и оформления разреза.

При изучении построений сечений следует помнить, что предпочтительно вынесенное сечение, а не наложенное. Вынесенные сечения имеют четыре разновидности: сечение, вынесенное на свободное поле чертежа; сечение в проекционной связи; сечение, вынесенное на продолжение секущей плоскости; сечение в разрыве проекции детали. Важно помнить, что в сечении изображается лишь то, что непосредственно попало в секущую плоскость, а в разрезе в отличие от сечения изображается то, что попало в секущую плоскость и то, что видно за ней.

Аудиторные и домашние задачи и задания должны быть индивидуальными, т. е. выполняться по вариантам (см. Задачник по черчению и перспективе).

В главе «Чертежи и эскизы деталей» учебный материал является завершающим, итоговым. Именно здесь, как ни в какой другой работе, при снятии эскизов деталей с натуры развивается глазомер, наблюдательность, зрительная память, пространственные представления и т. д. Составление эскизов технических деталей обогащает кругозор учащихся и закрепляет навыки изображения от руки, полученные в средней школе на уроках рисования, черчения и труда. Второй этап выполнения эскиза детали — построение предмета (детали) по наглядному (аксонометрическому) изображению на основе навыков, которые учащиеся получили при составлении эскизов с натуры. Успех работы во многом зависит от умения анализировать форму детали и в сочетании с этим наиболее рационально применять ранее изученные условности (разрезы, сечения) и правила, принятые в черчении.

Раздел третий. ТЕХНИЧЕСКОЕ РИСОВАНИЕ. В разделе даны способы построения технических рисунков, начиная с проведения прямых линий и кончая выполнением рисунка детали сложной технической формы с выявлением на ее поверхности светотени, т. е. передачей объема. Все рисунки выполняют только от руки без помощи чертежных инструментов. Качество рисунков зависит также от оборудования и принадлежностей, необходимых для рисования, организации рабочего места обучающегося и желания учиться.

Технический рисунок широко используют художники декоративно-прикладного искусства. Создается ли новое изделие широкого потребления (мебель, посуда, ковер и др.), разрабатывается ли проект художественного оформления интерьера или другого объекта, работа начинается с технического рисунка. Технический рисунок художника-прикладника имеет много условностей и характерных особенностей, которые зависят от объекта оформления, материала, из которого предполагается изготовить предмет, назначения данного изображения и требований к его художественной трактовке на изделии. Так, например, некоторые произведения декоративно-прикладного искусства требуют художественных образов реальной действительности (растений, птиц, зверей, людей). В то же время эти изображения должны подчиняться форме и характеру проектируемого объекта, т. е. быть предельно обобщены и соответствующим образом стилизованы. Таковую стилизацию можно увидеть на вышивке, в росписях по дереву, на стекольных изделиях и др.

В курсе черчения технический рисунок строится по правилам аксонометрических проекций (ГОСТ 2.317–69) с соблюдением некоторых условностей, освещенных в учебнике. Технические рисунки начинают выполнять с простейших плоских фигур и изображения их в аксонометрических проекциях. Рисование окружностей в аксонометрии на начальном этапе обучения следует рисовать не изолированными, а вписанными в квадрат, как показано в учебнике. Оси эллипсов и стороны параллелограммов позволяют учащимся быстрее привык-

нуть к правильному изображению окружностей, лежащих в различных координатных плоскостях.

Рисование моделей и деталей с натуры учащиеся должны выполнять после изучения тем о взаимном пересечении поверхностей. Точность построения технического рисунка и его эстетическая сторона целиком зависят от его исполнителя. Только путем сознательных систематических упражнений можно добиться высокого качества технического рисунка.

Раздел четвертый. ЛИНЕЙНАЯ ПЕРСПЕКТИВА. Раздел состоит из девяти глав, в которых изложен весь программный материал курса перспективы. В художественных училищах перспектива является неотъемлемой частью изобразительной грамоты. Без знаний основ перспективы нельзя создать реалистическое изображение предмета. Поэтому перспектива — одна из основных учебных дисциплин в подготовке квалифицированного художника декоративно-прикладного искусства.

При изучении материала главы «Перспективы точки, линий, плоских фигур» следует обратить внимание на терминологию и обозначения, принятые в учебнике. Чтобы лучше понять сущность построения перспективных изображений и практическое применение этих построений, надо по каждой изучаемой теме рисовать (или чертить) творческие композиции несложных картинок, на которых наглядно можно продемонстрировать применение правил перспективы в изобразительном искусстве. Например, перспективу пучка параллельных прямых можно изобразить в виде шоссе и т. п.

В главе «Перспективные масштабы» даны определения назначения перспективных масштабов. Важно помнить, что в перспективе передаются не действительные размеры предметов, а только их пропорциональные отношения. Освоение правил выполнения перспективы предметов с помощью перспективных масштабов возможно лишь при достаточном количестве практических упражнений, в противном случае нельзя выполнять перспективу плоских и объемных фигур. Поэтому проработка по учебнику теории построения перспективных масштабов, а также использование масштабных и дробных дистанционных точек является первоочередной задачей.

В главе «Перспектива интерьера» даны способы построения фронтальной и угловой перспектив интерьера. Перспективу интерьера желательно строить по композициям, выполненным учащимися, например жилая комната, выставочный зал и т. д. Следует помнить, что при построении перспективы интерьеров необходимо точно выполнять правила перспективных масштабов и выбора точки зрения. Образцы выполнения перспективы интерьера показаны в учебнике и задачнике по черчению и перспективе.

В главу «Некоторые практические построения перспективных изображений» входит несколько тем, содержащих способы построения перспективы плоских и объемных фигур. При изучении материала следует обратить внимание на способы проверки правильности перспективных изображений и преимущество каждого из способов. Для закрепления изученного материала надо придумать несколько несложных композиций рисунков (чертежей) по каждой теме.

В главе «Теория теней» при построении собственных и падающих теней от предметов при задании различных источников освещения желательно применять способ отмывки. Построение собственных и падающих теней можно выполнять на чертежах, выполненных ранее при изучении построений геометрических тел, интерьеров и экстерьеров.

Материал, изложенный в главе «Построение перспективы предмета по его прямоугольным (ортогональным) проекциям», посвящен построению перспективы предмета (объекта) способом архитектора, получившим широкое применение в практике построения перспективы таких объектов, как здания различных назначений, лестничные марши и т. д. При изучении материала следует обратить внимание на выбор положения линии горизонта и других элементов картины. Важно соблюдать красивое размещение чертежей на стандартном листе чертежной бумаги: ортогональных проекций объекта, элементов картины, а также увеличенного изображения объекта в перспективе.

В главе «Построение отражений предметов в зеркальных поверхностях» рассматриваются вопросы построения предметов, отраженных в гладкой поверхности воды и плоских зеркалах. Все отражения в плоском зеркале основываются на законе оптики: угол падения равен углу отражения. При выполнении

практических работ желательно, чтобы сюжеты для композиций с примерами отражений учащиеся придумывали самостоятельно.

В главе «Анализ рисунков и картин художников» дано объяснение способов, позволяющих определять положение главной точки зрения на перспективном изображении плоских и объемных фигур, делать анализ композиции построения художественных картин, т. е. находить все элементы картины. Способы основаны на элементарных геометрических построениях и имеют весьма важное практическое значение в работе декоративно-прикладного искусства. Чтобы не испортить репродукцию или фотографию с картины при ее анализе, нужно элементы картины чертить на прозрачной пленке или кальке, приклеив пленку к фотографии так, чтобы ее можно было бы поднимать (отгибать) вверх, а затем снова закрывать. Чертить на пленке можно тушью или гуашевой краской различных цветов с помощью рейсфедера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анисимов Н. Н.* Основы рисования. М., 1977.
- Буйнов А. Н., Смирнов Г. Б.* Первоначальные сведения о перспективе. М., 1960.
- Баранова Л. А., Панкевич А. П.* Основы черчения. М., 1978.
- Владимирский Г. А.* Перспектива. М., 1958.
- Дембинский С. И., Кузьменко В. И.* Методика преподавания черчения в средней школе. М., 1978.
- ЕСКД. Основные положения. ГОСТ 2.301—68—2.307—68. ГОСТ 2.317—69.
- Кузьменко В. И.* Дидактический материал по чертежному шрифту. М., 1979.
- Климухин А. Г.* Начертательная геометрия. М., 1978.
- Матвеев В. Н., Борисов Д. М.* Черчение. М., 1972.
- Евтеев В. И., Зметный А. Я., Новиков И. В.* Построение перспективного рисунка. Л., 1963.
- Непомнящий В. М., Смирнов Г. Б.* Практическое применение перспективы в станковой живописи. М., 1978.
- Петерсон В. Е.* Перспектива. М., 1970.
- Пугачев А. С., Никольский Я. П.* Техническое рисование. М., 1976.
- Ратничин В. М.* Перспектива. Киев, 1972.
- Ростовцев Н. Н.* Учебный рисунок. М., 1976.
- Ростовцев Н. Н.* Методика преподавания изобразительного искусства в школе. М., 1980.
- Ростовцев Н. Н., Соловьев С. А.* Техническое рисование. М., 1973.
- Соловьев С. А., Буланже Г. В., Шульга А. К.* Задачник по черчению и перспективе. М., 1978.
- Соловьев С. А.* Перспектива. М., 1981.
- Шорохов Е. В.* Основы композиции. М., 1979.
- Яблоцкий А. Г.* Начертательная геометрия (перспектива). М., 1966.
- Яблонский А. Г.* Линейная перспектива на плоскости. М., 1966.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	3
Введение	4
 Раздел первый ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ 	
Глава 1. Чертежные принадлежности и инструменты. Рекомендации по их использованию	6
§ 1. Чертежные принадлежности и инструменты	6
§ 2. Организация рабочего места	14
Глава 2. Оформление чертежей	15
§ 3. Форматы чертежей, основная надпись и компоновка чертежа . .	15
§ 4. Линии чертежа и их обводка	17
§ 5. Масштабы изображений	19
§ 6. Нанесение размеров	21
Глава 3. Чертежный шрифт	25
§ 7. Основные размеры чертежного шрифта	25
§ 8. Конструкция букв и цифр	27
§ 9. Выполнение надписей чертежным шрифтом	31
Глава 4. Геометрические построения	33
§ 10. Построение перпендикулярных и параллельных прямых	33
§ 11. Деление отрезка прямой	36
§ 12. Построение углов. Деление углов. Построение уклона и конусности	38
§ 13. Построение плоских фигур	41
§ 14. Деление окружности на равные части. Построение правильных многоугольников	43
§ 15. Определение центра окружности или дуги окружности и их спрямление	47
Глава 5. Сопряжения	49
§ 16. Общие положения	49
§ 17. Построение касательных и касание окружностей	50
§ 18. Сопряжения с помощью дуги окружности	53
§ 19. Вычерчивание контуров деталей	56
§ 20. Геометрический орнамент	57
§ 21. Архитектурные обломы	61
Глава 6. Плоские кривые	65
§ 22. Циркульные кривые	65
§ 23. Лекальные кривые	69

Раздел второй
ПРОЕКЦИОННОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

Глава 7. Геометрические тела. Проецирование основных геометрических фигур	75
§ 24. Понятие о простейших геометрических телах	75
§ 25. Понятие о проекциях. Метод параллельного проецирования	79
§ 26. Проецирование точки	83
§ 27. Проецирование отрезка прямой линии	86
§ 28. Взаимное положение двух прямых линий	91
§ 29. Проецирование плоскости	93
§ 30. Способы преобразования проекций	99
§ 31. Плоские фигуры	105
Глава 8. Аксонометрические проекции плоских фигур	108
§ 32. Понятие об аксонометрических проекциях	108
§ 33. Прямоугольная изометрическая проекция	109
§ 34. Прямоугольная диметрическая проекция	115
§ 35. Фронтальная диметрическая проекция	119
Глава 9. Проецирование геометрических тел	121
§ 36. Построение проекций многогранников	121
§ 37. Построение проекций тел вращения	127
§ 38. Сечение многогранников плоскостью	134
§ 39. Сечение тел вращения плоскостью	142
§ 40. Развертывание поверхностей геометрических тел	150
§ 41. Взаимное пересечение поверхностей	156
Глава 10. Аксонометрические проекции деталей	163
§ 42. Общие положения	163
§ 43. Построение аксонометрических проекций деталей с разрезами	164
Глава 11. Основные правила графического выполнения чертежей деталей	167
§ 44. Виды, разрезы и сечения	167
§ 45. Графическое обозначение материалов в сечениях	174
§ 46. Условности и упрощения на чертежах	174
Глава 12. Чертежи и эскизы деталей	176
§ 47. Нанесение размеров на чертежах деталей	177
§ 48. Приемы обмера деталей	179
§ 49. Эскизы деталей	183
§ 50. Чертежи деталей	185

Раздел третий
ТЕХНИЧЕСКОЕ РИСОВАНИЕ

Глава 13. Рисование плоских фигур, геометрических тел и технических деталей	188
§ 51. Предварительные упражнения	189
§ 52. Построение рисунков плоских фигур	191
§ 53. Построение рисунков геометрических тел	194
Глава 14. Оттенение поверхностей объемных тел	198
§ 54. Общие понятия	198
§ 55. Способы оттенков	199
Глава 15. Рисование предметов (деталей) с натуры и по чертежу	206
§ 56. Рисование предметов с натуры	206
§ 57. Рисование деталей по чертежу	210

Раздел четвертый.
ЛИНЕЙНАЯ ПЕРСПЕКТИВА

Глава 16. Перспективы точки, линий, плоских фигур	213
§ 58. Общие понятия	213
§ 59. Перспективы точки и прямых линий	217
§ 60. Выбор точки зрения	226
§ 61. Перспектива углов	228
Глава 17. Перспективные масштабы	231
§ 62. Масштабы глубины, ширины и высоты	231
§ 63. Перспективный делительный масштаб для прямых, расположенных в случайном повороте к картине	236
§ 64. Деление перспективы отрезка на равные части	238
§ 65. Перспектива плоских фигур	240
Глава 18. Перспектива геометрических тел	246
§ 66. Перспектива гранных и круглых тел	246
Глава 19. Перспектива интерьера	252
§ 67. Фронтальная перспектива интерьера	253
§ 68. Перспектива угла комнаты	255
Глава 20. Некоторые практические построения перспективных изображений	258
§ 69. Построение перспективы параллельных прямых при недоступных точках схода	258
§ 70. Способ малой картины	262
§ 71. Некоторые способы построения перспективных изображений, применяемые при составлении композиций и рисунков с натуры	269
Глава 21. Теория теней	273
§ 72. Построение теней от предметов при искусственном освещении	275
§ 73. Построение теней от предметов при солнечном освещении	282
Глава 22. Построение перспективы предмета по его прямоугольным (ортогональным) проекциям	286
§ 74. Способ архитекторов	286
Глава 23. Перспектива наклонной плоскости	290
§ 75. Фронтальная перспектива лестницы	290
§ 76. Построение перспективы лестницы, расположенной под произвольным углом к картине	293
Глава 24. Построение отражений предметов в зеркальных поверхностях	295
§ 77. Построение отражений предметов в зеркальной поверхности воды	295
§ 78. Построение отражений предметов в плоском зеркале	298
Глава 25. Анализ рисунков и картин художников	301
§ 79. Анализ рисунков плоских и объемных фигур	301
§ 80. Анализ картин художников	304
Методические указания к работе над учебником	309
Список литературы	315

**Сергей Александрович Соловьев,
Градислава Владимировна Буланже,
Анатолий Константинович Шульга**

ЧЕРЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВА

Зав редакцией К. И. Аношина. Редактор Н. Н. Ещенко. Младший редактор Н. М. Иванова. Художественный редактор Н. К. Гуторов. Иллюстрации художника-графика Д. С. Котлова. Технический редактор Р. С. Родичева. Корректор Г. А. Четкина.

ИБ № 2934

Изд. № ОТ-321. Сдано в набор 22.06.81. Подп. в печать 09.12.81. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 20 усл. печ. л. 20,12 усл. кр.-отт. 16,54 уч.-изд. л. Тираж 50 000 экз. Зак. № 434. Цена 65 коп.

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.