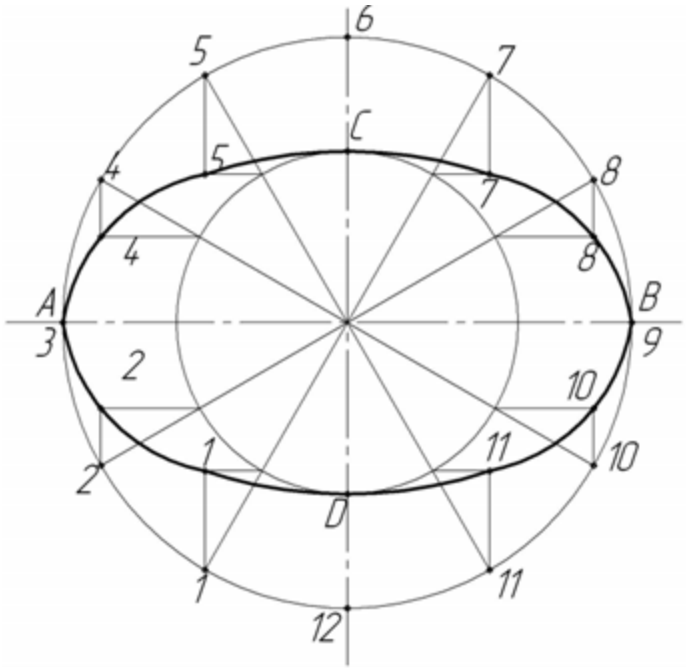
С. А. Угрюмов

Линейно-конструктивное построение



STIEGLITZ ACADEMY
АКАДЕМИЯ ШТИГЛИЦА

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ХУДОЖЕСТВЕННО-ПРОМЫШЛЕННАЯ АКАДЕМИЯ
имени А. Л. Штиглица**

Кафедра гуманитарных и инженерных дисциплин

С. А. Угрюмов

ЛИНЕЙНО-КОНСТРУКТИВНОЕ ПОСТРОЕНИЕ

Учебное пособие
для обучающихся по направлению подготовки бакалавриата
54.03.01 Дизайн

Электронное издание

Санкт-Петербург
2022

УДК 513.0
ББК 22.151.3
У27

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А. Л. Штиглица» в качестве учебного пособия.

Рецензенты:
Свешников Александр Сергеевич, кандидат технических наук, инженер-технолог АО «КС-Октябрь»;

Балаева Светлана Владимировна, кандидат филологических наук, заведующий кафедрой гуманитарных и инженерных дисциплин СПГХПА имени А. Л. Штиглица».

У27
Угрюмов С.А.
Линейно-конструктивное построение: Учебное пособие / С.А. Угрюмов ; ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия им. А. Л. Штиглица». – Санкт-Петербург : СПбГХПА им. А. Л. Штиглица, 2022. – 204 с. : ил.

Учебное пособие предназначено для обучающихся бакалавриата по направлению «Дизайн», изучающих дисциплину «Линейно-конструктивное построение». Пособие содержит методики выполнения основных геометрических построений и чертежей.

Электронное издание

© С.А. Угрюмов, 2022
© Санкт-Петербургская художественно-промышленная академия имени А. Л. Штиглица, 2022

Содержание

Введение 6
1. ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ЧЕРТЕЖА 7
2. ЧЕРТЕЖНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, ПРИНАДЛЕЖНОСТИ И МАТЕРИАЛЫ 18
2.1. Чертежные инструменты 18
2.2. Чертежные материалы 24
2.3. Основные приемы работы при выполнении чертежей 25
3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ФИГУРЫ 26
3.1. Точка 26
3.2. Прямая и кривая линии 27
3.3. Взаимное положение двух прямых на плоскости 27
3.4. Отрезок и луч 28
3.5. Окружность 28
3.6. Эллипс 29
3.7. Угол 31
3.8. Ломанная 32
3.9. Многоугольники 33
3.10. Треугольники 33
3.11. Четырехугольники 34
4. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕЛА 36
4.1. Образование поверхностей 36
4.2. Анализ геометрической формы предметов 45
5. ПРАВИЛ.А ОФОРМЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ 47
5.1. Форматы 47
5.2. Основная надпись 48
5.3. Масштабы 49
5.4. Линии 51
5.5. Шрифты чертежные 53
5.6. Нанесение размеров на чертежах 65
6. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ 75
6.1. Построение параллельных прямых 75

6.2. Построение перпендикуляра к прямой из точки, лежащей вне прямой ... 76
6.3. Построение перпендикуляра к середине отрезка ... 76
6.4. Деление отрезка на любое число равных частей ... 77
6.5. Построение угла, равного заданному углу ... 78
6.6. Построение биссектИл.ы угла ... 78
6.7. Построение дуги окружности через три точки ... 78
6.8. Построение центра дуги окружности ... 78
6.9. Построение центра окружности, описанной вокруг треугольника ... 79
6.10. Построение центра окружности, вписанной в треугольник ... 79
6.11. Деление окружности на три равные части ... 81
6.12. Деление окружности на четыре и восемь равных частей ... 82
6.13. Деление окружности на пять равных частей ... 83
6.14. Деление окружности на шесть и двенадцать равных частей ... 83
6.15. Деление окружности на семь равных частей ... 84
7. СОПРЯЖЕНИЯ ... 85
7.1. Теоретические основы сопряжений ... 85
7.2. Построение сопряжения сторон угла ... 88
7.3. Построение сопряжения параллельных прямых ... 88
7.4. Построение сопряжения окружности и прямой ... 91
7.5. Сопряжение двух окружностей ... 93
7.6. Выполнение чертежей деталей, имеющих сопряжения ... 96
8. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ОВАЛА ... 98
8.1. Метод окружности ... 98
8.2. Метод параллелограмма ... 101
8.3. Изометрические проекции окружностей ... 102
8.4. Диметрические проекции окружностей ... 105
9. ПОСТРОЕНИЕ ЛЕКАЛЬНЫХ КРИВЫХ ... 107
9.1. Построение эллипса ... 108
9.2. Построение параболы ... 108
9.3. Построение гиперболы ... 110
9.4. Построение эвольвенты окружности ... 112
9.5. Построение спирали Архимеда ... 113

10. ПРОЕКЦИОННОЕ ЧЕРЧЕНИЕ 114
10.1. Метод проецирования 114
10.2. Основные виды 123
10.3. Местные и дополнительные виды 125
10.4. Сечения 127
10.5. Разрезы 130
10.6. Выносные элементы 138
10.7. Выполнение эскиза чертежа 139
10.8. Построение третьего вида по двум заданным 143
10.9. Аксонометрические проекции 144
10.10. Построение третьего вида и изометрии с вырезом четверти 157
11. ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ТЕЛ ПЛОСКОСТЯМИ 165
11.1. Сечение многогранников плоскостью 168
11.2. Сечение тел вращения плоскостью 171
Заключение 180
Список литературы 181
Варианты заданий на построение сопряжений 182
Варианты заданий на построение трех видов детали 191
Варианты заданий на построение третьего вида по двум заданным 197

Введение

Линейно-конструктивное построение подразумевает построение перспективного расположения в пространстве форм предметов, с учетом видимых плоскостей формы предмета и его невидимых (скрытых от взора) плоскостей. Линейно-конструктивные построения применяются при выполнении рисунков и чертежей и позволяют построить изображение правильно в перспективе, верно передать его форму.

С применением чертежей выполняют изображения предметов, которые в дальнейшем надо изготовить на производстве. При этом чертежи выполняет один человек, а изготавливает по ним предмет на производстве другой. Следовательно, и тот и другой должны не только видеть формы сложного трехмерного предмета по его двухмерному изображению, но и иметь возможность решать геометрические задачи по определению размеров предмета и его отдельных частей, а также определять взаимное положение отдельных элементов предмета.

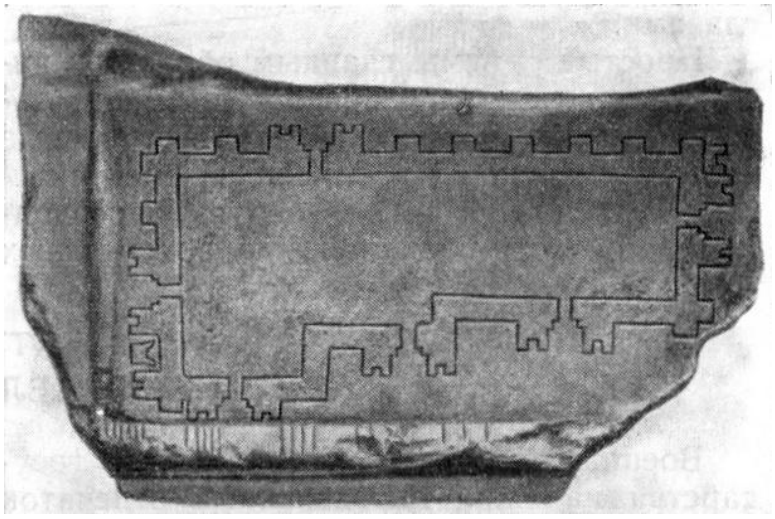
Чтобы овладеть языком технического черчения, необходимо изучить правИл.а составления и чтения изображений. «Азбука» чертежа – все те типы линий, которые применяются при его выполнении (сплошная, штриховая, штрихпунктирная и т.д.) и которые студенты изучают в курсе линейно-конструктивного построения. «Грамматикой» черчения является начертательная геометрия, которая изучает способы изображения объемных тел, имеющих три измерения (длину, ширину и высоту) на плоскости, у которой всего лишь два измерения (длина и ширина). Таким образом, предметом дисциплины «Линейно-конструктивное построение» является изложение и обоснование способов изображения пространственных форм (линий, поверхностей, тел) на плоскости и способов решения задач геометрического характера по заданным изображениям этих форм. Изображения, построенные по правилам, изучаемым в данном курсе, позволяют мысленно представить формы предметов, их взаимное расположение в пространстве, определить размеры, исследовать геометрические свойства. Большинство решаемых задач помогают развитию пространственного мышления и воображения.

Учебное пособие предназначено для студентов бакалавриата направлений «Дизайн» очной формы обучения.

1. ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ЧЕРТЕЖА

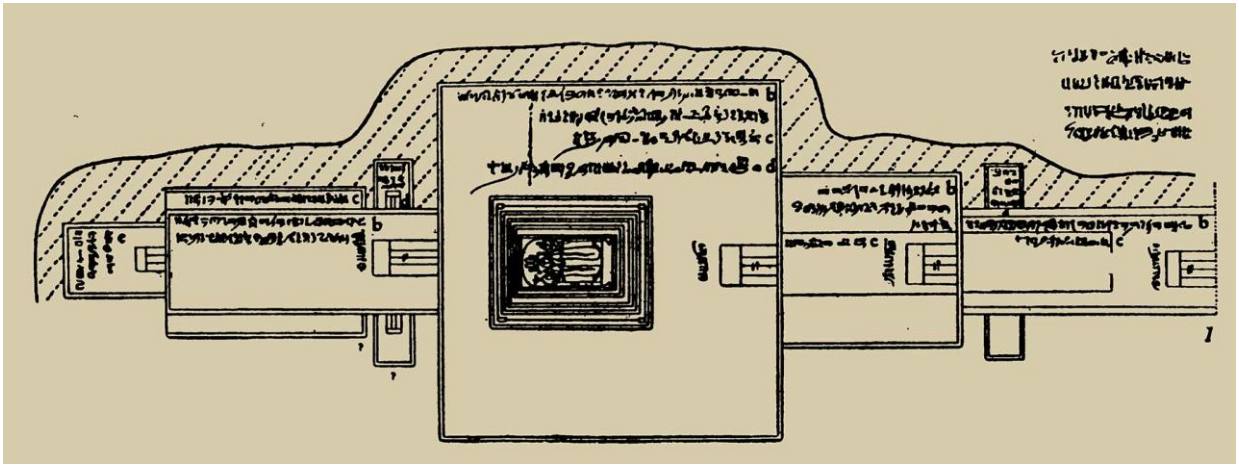
С давних времен человек использовал язык графики для изображения предметов и схем с помощью линий, цифр и условных обозначений. Задолго до того, как люди создали письменность, они научились рисовать окружающие их предметы. Сначала материалом служила земля, стены пещер, камни, на которых выцарапывались рисунки. Затем использовали бересту, кожу, папирус, пергамент, бумагу и другие материалы, на которые изображения наносились чернилами или тушью с помощью гусиного пера. В повседневной жизни мы постоянно сталкиваемся с различными чертежами, по которым строят дома, изготавливают различные изделия, приборы, механизмы, машины. Чертежом называется такое изображение предмета, по которому этот предмет можно изготовить.

С развитием цивилизации совершенствовались методы графики. По мере развития техники и технологий возрастает значение чертежа в практическом использовании. Известно, что при строительстве египетских пирамид (около 2800 лет до н.э.), древних храмов, дамб, каналов и иных объектов строительства использовали планы и чертежи, которые выполнялись путем высечения на камне (Ил. 1.1), или иных материалах, при этом достаточно точно передавалась не только форма, но и размеры сооружений.

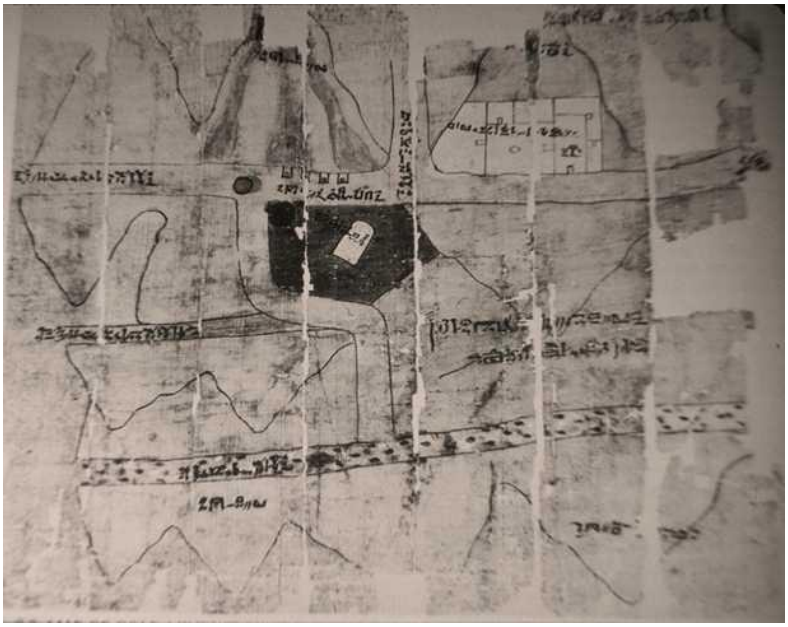


Ил. 1.1 – План дворца, изображенный на статуе Гудеа, середина III тысячелетия до н. э.

Древние египтяне имели хорошие навыки составления технических эскизов, о чем этом свидетельствуют сохранившиеся строительные и различные вспомогательные планы сооружений того времени, например, план гробницы египетского фараона Рамзеса IV, около XII в. до н.э. (Ил. 1.2) или нубийских золотых рудников, XIII в. до н.э. (Ил. 1.3).



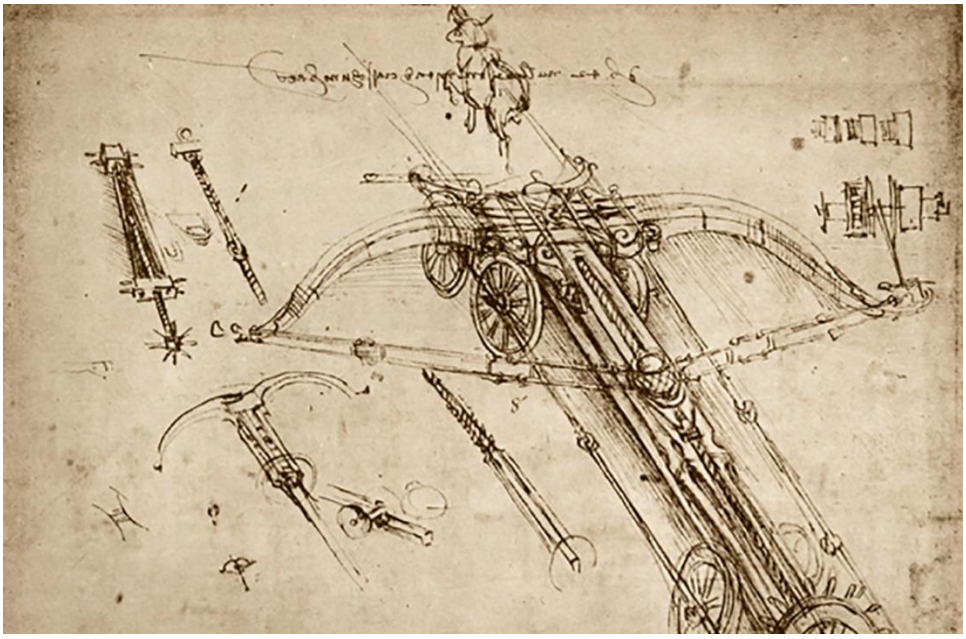
Ил. 1.2 – План гробницы египетского фараона Рамзеса IV, XII в. до н.э.



Ил. 1.3 – План нубийских золотых рудников, XIII в. до н.э.

В изображениях на плоскости изначально сложились два подхода представления: пластический, с выявлением объемности, и схематический, с выявлением объективных качеств образа.

Римский архитектор и инженер Витрувий, обобщая и развивая опыт греческого и римского зодчества, использовал непременные составляющие любого проекта – три вида изображений: ихнографию (план сооружения), ортографию (вид спереди) и сценографию (изображение в перспективе). Новое развитие теории изображений произошло лишь в эпоху Ренессанса (XIII – XVI вв. н.э.). Возрождение античной культуры вызвало потребность достоверного изображения окружающего мира. Поиски сущности правильного изображения привели к использованию математики, законов геометрии и открытию закономерностей перспективы. Крупный вклад в теорию технического изображения внес Леонардо да Винчи, гениальный итальянский художник, ученый эпохи Возрождения (Ил. 1.4).



Ил. 1.4 – Чертеж арбалета Леонардо да Винчи

Выдающийся немецкий живописец и график Альбрехт Дюрер (1471 – 1528 гг.) не только впервые изложил основы евклидовой геометрии и описал построение геометрических фигур, но и заметно развил теорию пространственного изображения.

Особое место в формировании современных способов отображения геометрических форм объектов окружающего мира занимает французский ученый и инженер Амедео Франсуа Фрезье (1682 – 1773 гг.), который использовал методы проецирования при формировании чертежа. Многие использованные им чертежные понятия и приемы современны и поныне. Французский геометр и архитектор Жерар Дезарг (1591 – 1661) первый, кому удалось дать первые научные обоснования правил построения перспективы.

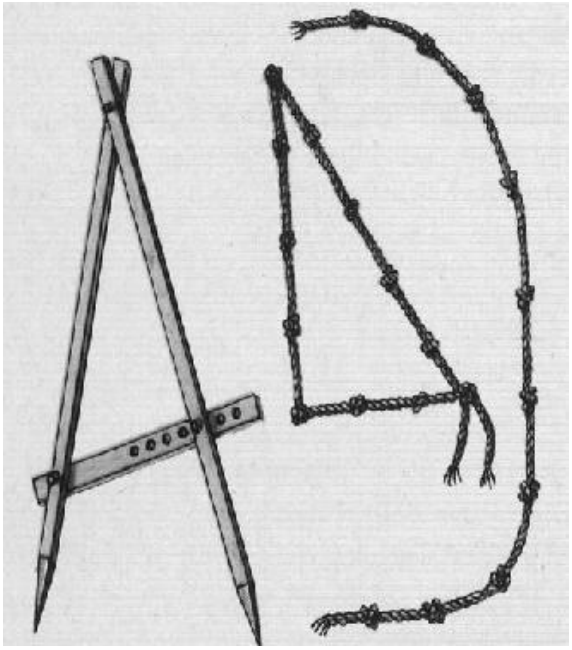
Если проследить путь развития чертежа от древних времен до наших дней, можно выделить два основных направления:

- строительные чертежи, предназначенные для строительства жилища, промышленных зданий, мостов и иных сооружений;
- промышленные чертежи, по которым создавали различные инструменты, приспособления, машины.

Возникновение строительных чертежей относится к тому времени, когда люди для постройки жилища или помещения для хранения утвари или зимовки скота на земле в натуральную величину разбивали первые чертежи, которые назывались «планами» помещений, на основе которых возводили постройки. Планы выполняли в натуральную величину на земле в том месте, где предстояло построить сооружение (Ил. 1.5). Делалось это с помощью примитивных приспособлений. Линейные размеры откладывали деревянным циркулем-измерителем, который назывался «кружало» и веревочным прямоугольным треугольником (Ил. 1.6). Окружности проводили с помощью

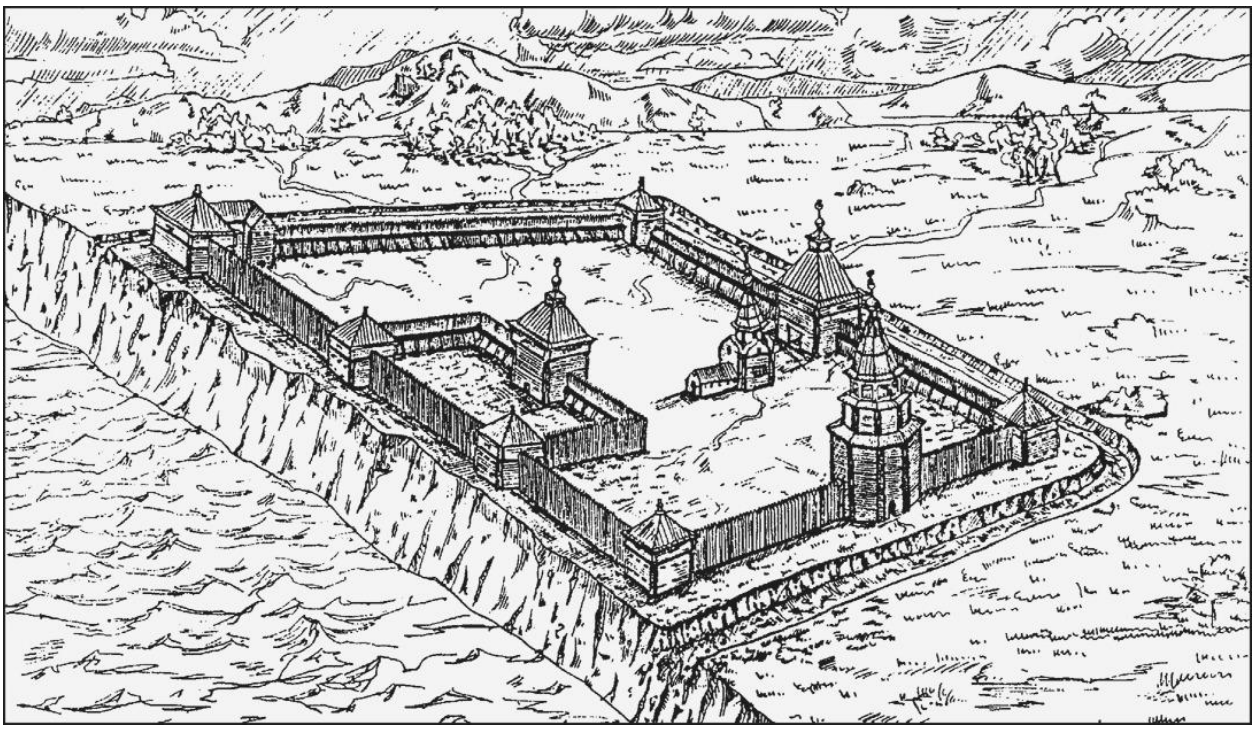
веревки и двух колышков. Один колышек вбивали в землю, он играл роль центра, а другим, натягивали веревку, проводили окружность. На чертежах старались показать как форму, так и размеры предметов.

Ил. 1.5 – Формирование плана жилища



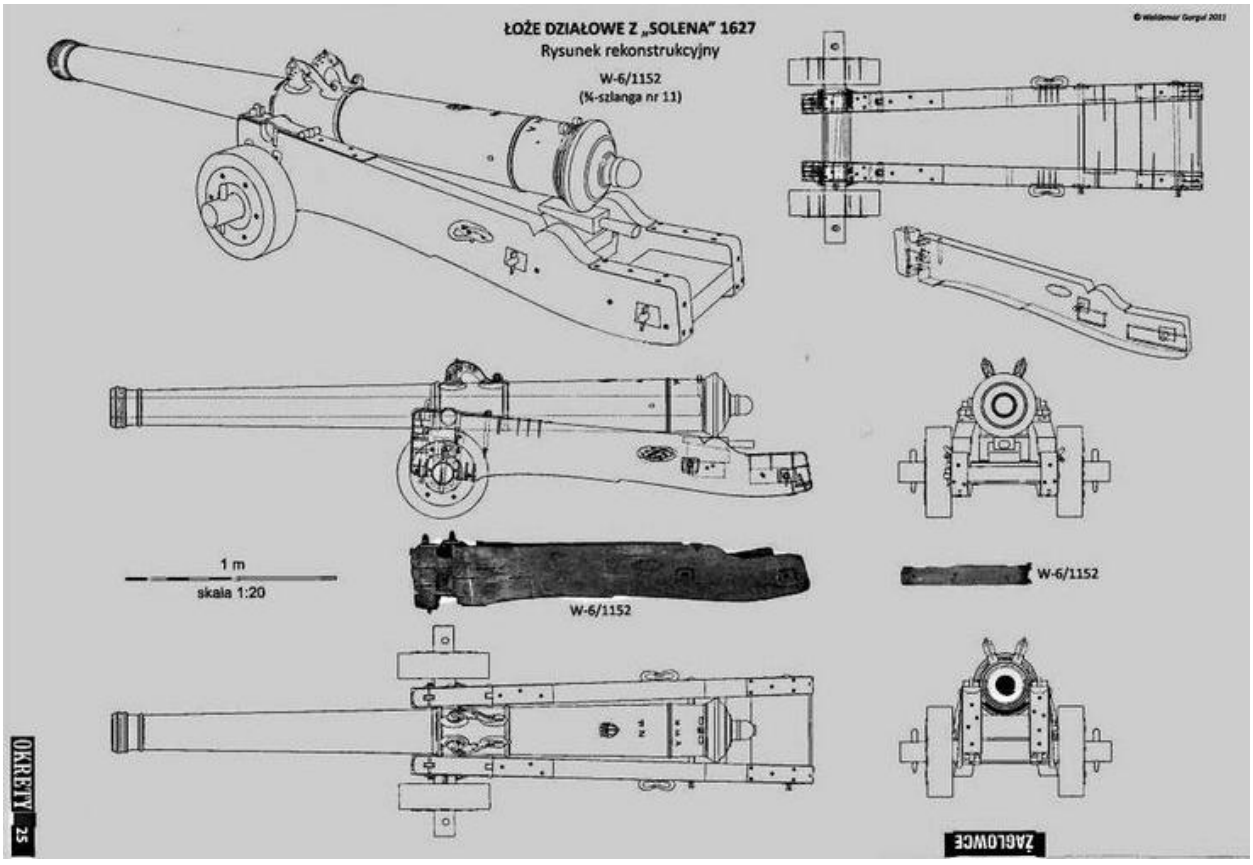
Ил. 1.6 – Деревянный циркуль-измеритель и мерный шнур

Позже, при строительстве многих укреплений, чертежи-планы стали выполнять в уменьшенном виде на пергаменте, дереве Ил.и холсте. На таких чертежах изображали внешние очертания построек (Ил. 1.7).



Ил. 1.7 – План-чертеж крепости

На Руси с XVI в. занимались литьем металла и изготовлением оружия. Для этого также использовали чертежи (Ил. 1.8).

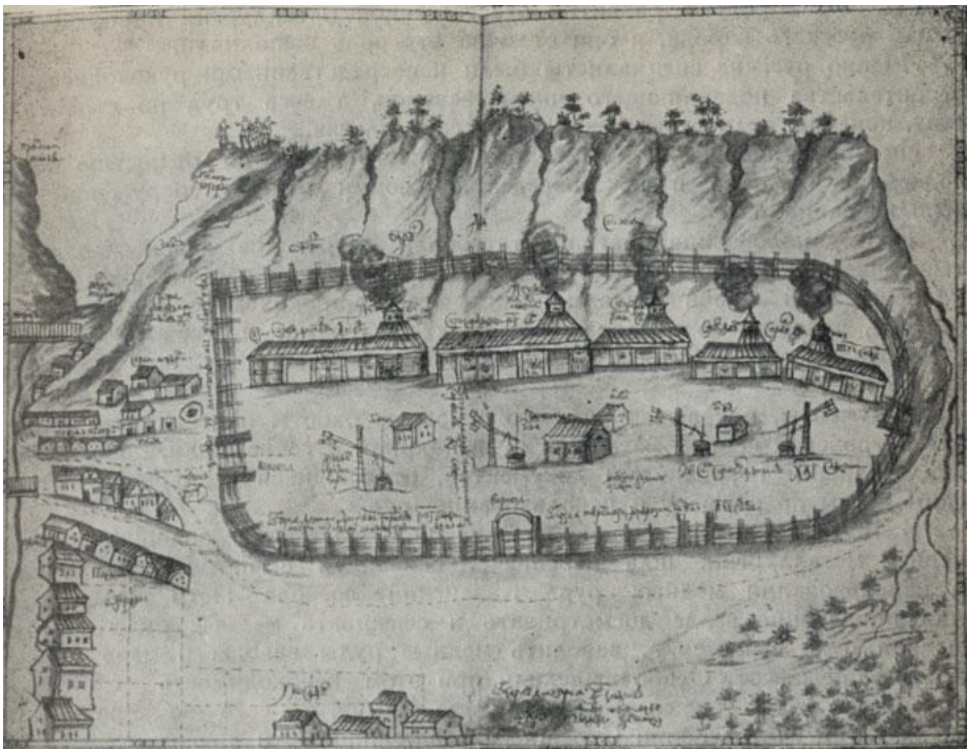


Ил. 1.8 – Чертеж орудия

С течением времени количество описываемых объектов увеличивалось, соответственно возрастал и объем используемой информации. Появилась необходимость передавать и воспринимать достаточно подробные сведения о природных особенностях местности, возводимых строительных сооружениях, предметах труда и т.д. Оказалось, что наиболее удобным приемом передачи информации об объемном, реально существующем или придуманном объекте является графическое изображение его на плоскости. По мере усложнения создаваемых инженерных сооружений, механизмов и машин возникла необходимость разработки таких правил их изображения, которые позволили бы с использованием ограниченного числа средств (точек, линий, цифр, знаков и надписей) передавать достаточно полную информацию в виде, доступном любому специалисту.

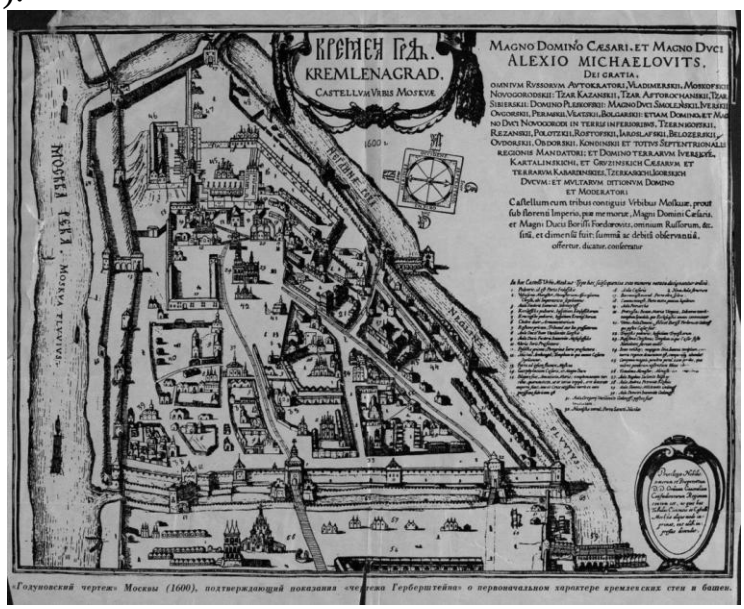
Возникновение начертательной геометрии как науки об изображении пространственных геометрических форм на плоскости связывают с именем французского математика и инженера Гаспара Монжа (1746 – 1818 гг.), который обобщил правила формирования чертежей и в 1799 г. издал учебник «Начертательная геометрия». Это был первый учебник, где начертательная геометрия была заявлена как самостоятельная наука.

В России первые достоверные сведения о чертежах относятся к XVI веку. На Ил. 1.9 представлено изображение оружейного двора в Тобольске XVI века.



Ил. 1.9 – Изображение оружейного двора в Тобольске, Россия, XVI век

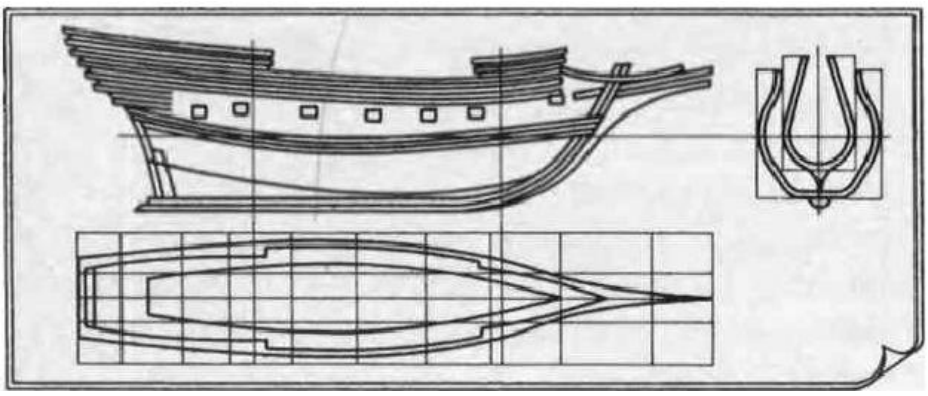
Русские зодчие умели выполнять достаточно сложные чертежи. По распоряжению Ивана Грозного по всему Московскому государству собирался географический материал, который лег в основу составленного в XVI веке «Большого чертежа» всей Московской Руси. В начале XVII века при Борисе Годунове был составлен «Годуновский чертеж Кремля», изображавший дворцовые палаты и оборонительные укрепления, расположенные вокруг Кремля (Ил. 1.10).



«Годуновский чертеж» Москвы (1600), подтверждающий показания «чертежа Герберштейна» о первоначальном характере кремлевских стен и башен.

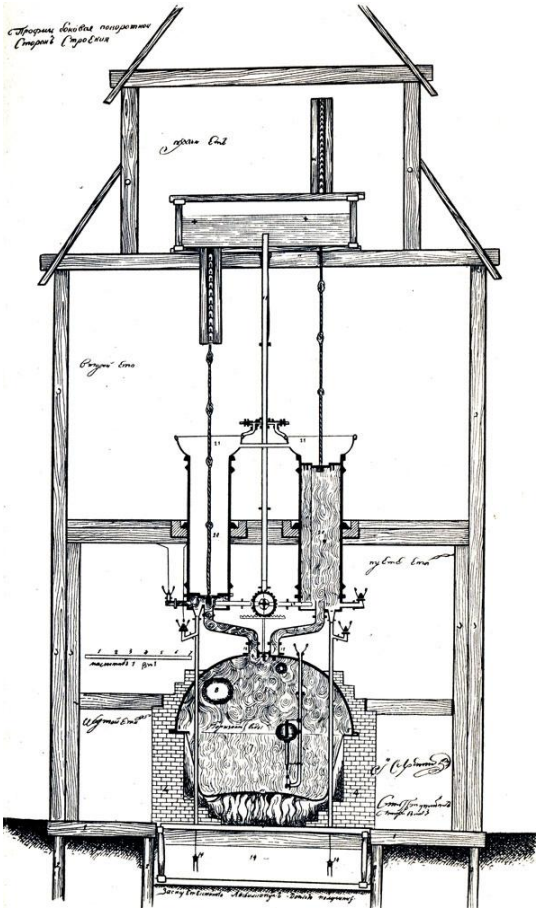
Ил. 1.10 – Годуновский чертеж Кремля, XVII век

Большим стимулом к развитию графической культуры в России явилась градостроительная и судостроительная деятельность Петра I. В 1709 году Петр I издал Указ: «Все прожекты зело исправны быть должны, дабы казну зряшно не разорять и Отечеству ущерба не чинить». По указу вводится преподавание черчения в специальных учебных заведениях, появляются первые учебники по черчению: «Приемы циркуля и линейки» и «Практические геометрию». В это время появляются первые чертежи заводских сооружений, где изображения выполнялись в двух видах. Сохранился чертеж двадцатидвухвесельного шлюпа, выполненный лично Петром 1 в 1719 году (Ил. 1.11).



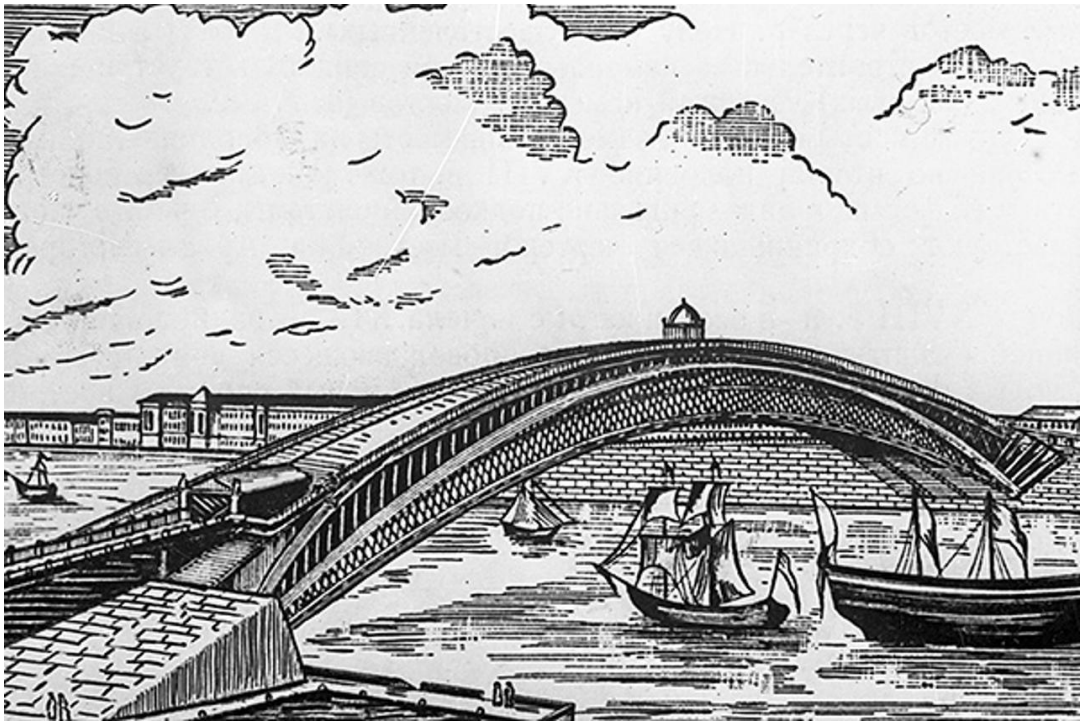
Ил. 1.11 – Чертеж ботика Петра I, XVIII век

С развитием массового производства появились промышленные чертежи. Сначала они выполнялись без размеров, затем на поле чертежа стали делать надписи, указывающие основные размеры. Стали применять масштабы, проекционную связь, выполняя разрезы, без которых невозможно было понять внутреннее устройство изделия и принцип его работы. Примером таких чертежей может служить чертеж паровой машины И. И. Ползунова, выполненный в 1763 году (Ил. 1.12). Чертеж выполнен в одной ортогональной проекции. На чертеже изображены поперечный разрез машины, на котором показаны применяемые материалы (кирпич, древесина, грунт), отдельные детали, что является прообразом современного деталировочного чертежа.

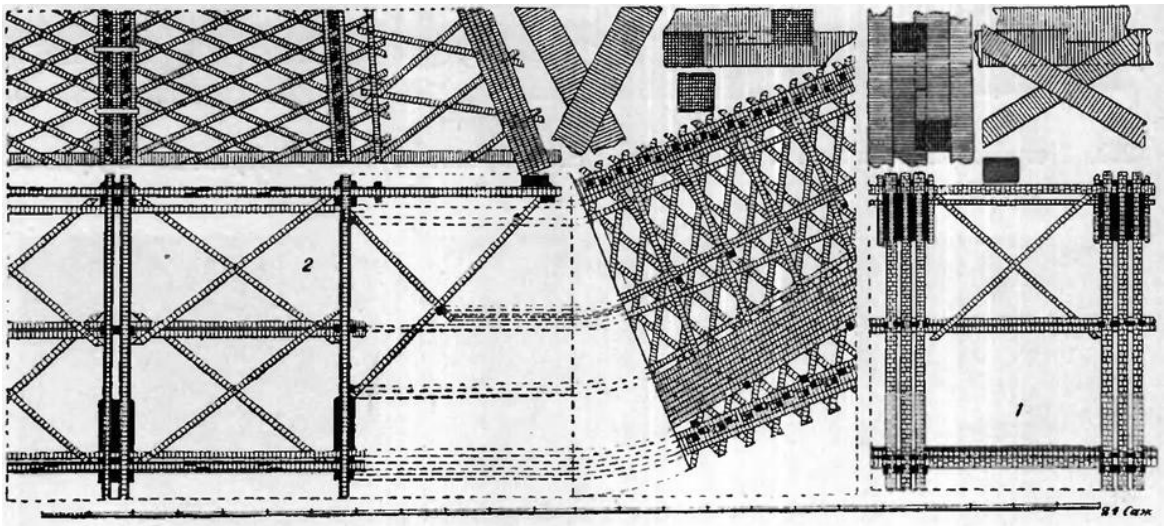


Ил. 1.12 – Чертеж паровой машины И. И. Ползунова, XVIII век

Талантливым механиком-изобретателем был И. П Кулибин, внесший большой вклад в совершенствование чертежа. В его проекте однопролетного арочного моста через реку Неву были чертежи поперечного разреза моста, отдельных конструкций, а также вид сверху и сбоку (Ил. 1.13, 1.14).

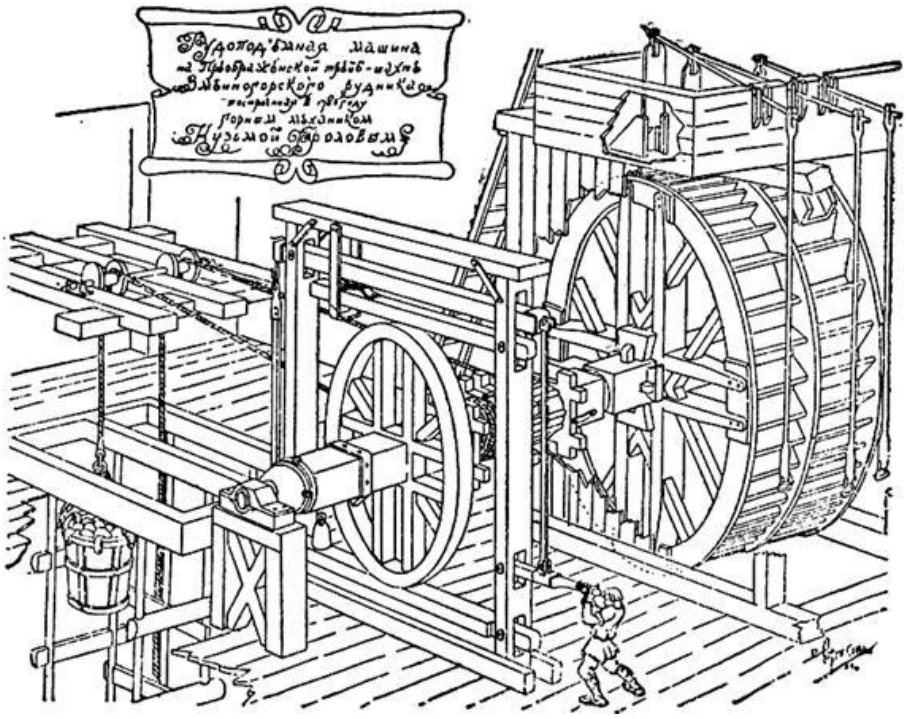


Ил. 1.13 – Предполагаемый внешний вид моста Кулибина



Ил. 1.14 – Чертежи конструкции моста Кулибина

Во второй половине XVIII века встречаются чертежи, выполненные в наглядном изображении. Это уже зарождение будущей аксонометрии. Примером может служить чертеж рудоподъемной машины К. Д. Фролова (Ил. 1.15).



Ил. 1.15 – Чертеж рудоподъемной машины

Первым русским ученым, связавшим свою судьбу с начертательной геометрией, был Яков Александрович Севастьянов (1796 – 1849 гг.), профессор Корпуса инженеров путей сообщения и автор переводных и оригинальных трудов.

Начертательная геометрия как фундаментальная дисциплина была введена в программы многих учебных заведений – Инженерного и Артиллерийского училищ, Санкт-Петербургского и Московского университетов, Императорского Московского технического училища и др. В 1822 г. курс начертательной геометрии в Казанском университете читал Н. И. Лобачевский. Однако ведущее положение в подготовке кадров и развитии начертательной геометрии в России XIX в. сохранял Корпус инженеров путей сообщения, где учились и передавали знания следующим поколениям внесшие заметный вклад в науку А. Х. Редер (1809 – 1873 гг.), Н. П. Дуров (1834 – 1879 гг.), Н. И. Макаров (1824 – 1904 гг.), В. И. Рынин (1877 – 1942 гг.). В области начертательной геометрии 14 классических трудов создал Валериан Иванович Курдюмов (1853 – 1904 гг.).

В XX в. черчение развивалось в соответствии с развитием технического прогресса, в середине века стало возможным оперативно изготавливать необходимое число копий чертежей с оригиналов, вычерченных карандашом на бумаге. В Советском Союзе в 1925 г. был создан Комитет по стандартизации при Совете Труда и Обороны, а в 1929 г. вышел первый выпуск стандартов по черчению. 1 мая 1935 г. Комитет по стандартизации издает постановление, согласно которому соблюдение 14 стандартов на чертежи становится обязательным.

С развитием техники, появлением компьютеров и систем автоматизированного проектирования современные чертежи, а также процесс их выполнения очень изменились. Однако в настоящее время в основе всех графических изображений по-прежнему лежит труд человека, свободно владеющим графическим языком.

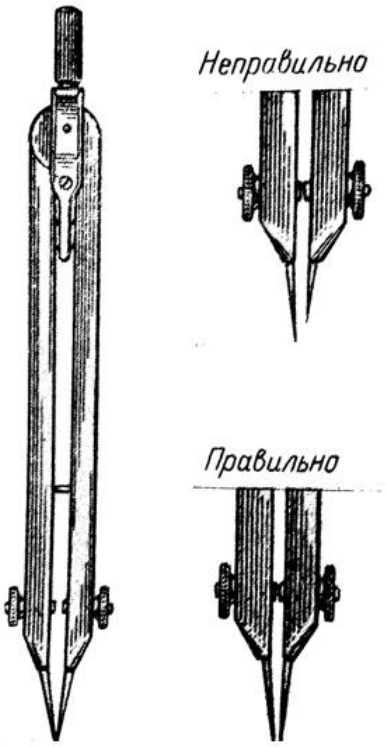
2. ЧЕРТЕЖНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, ПРИНАДЛЕЖНОСТИ И МАТЕРИАЛЫ

2.1. Чертежные инструменты

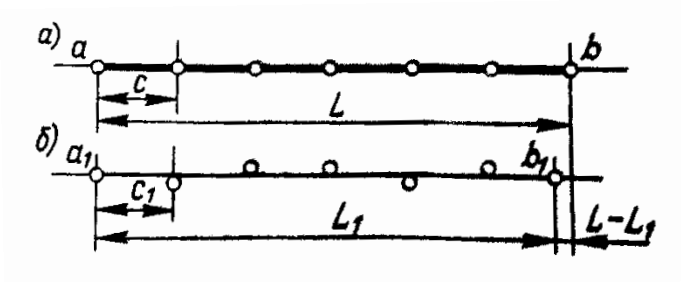
Основным видом чертежных инструментов является их набор, помещенный в специальный футляр – готовальню (Ил. 1). Готовальни могут содержать следующие инструменты: циркуль разметочный, циркуль чертежный, кронциркуль разметочный, кронциркуль чертежный падающий, удлинитель, вставку карандашную, циркульный рейсфедер, циркульный рейсфедер кронциркуля, рейсфедер линейный, вставку карандашную для кронциркуля, отвертку, центрик, пенал.

Циркуль разметочный применяется при измерении расстояния между двумя точками. При складывании ножек циркуля концы иголок должны сходиться и быть на одном уровне (Ил. 2.2). При откладывании отрезков концы иголок циркуля устанавливаются только на линии. На Ил. 2.3а показан пример правильного способа откладывания отрезка, на Ил. 2.3б – неправильного (по причине появления погрешности).

Ил. 2.1 – Пример профессиональной готовальни

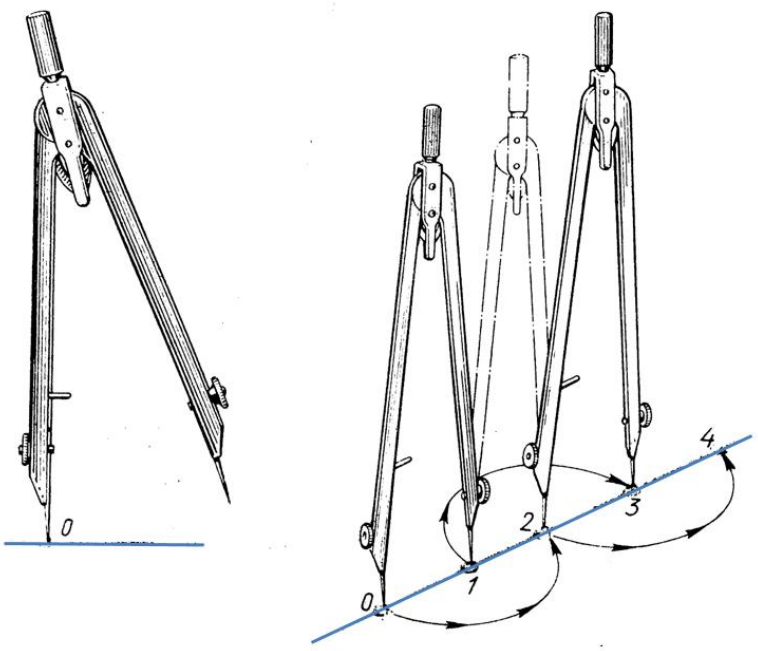


Ил. 2.2 – Циркуль измерительный



Ил. 2.3 – Способы откладывания отрезков измерительным циркулем

При повороте и наклоне ножка циркуля должна быть перпендикулярна плоскости листа бумаги. На Ил. 2.4 показано положение циркуля при наколах и при последовательных поворотах.



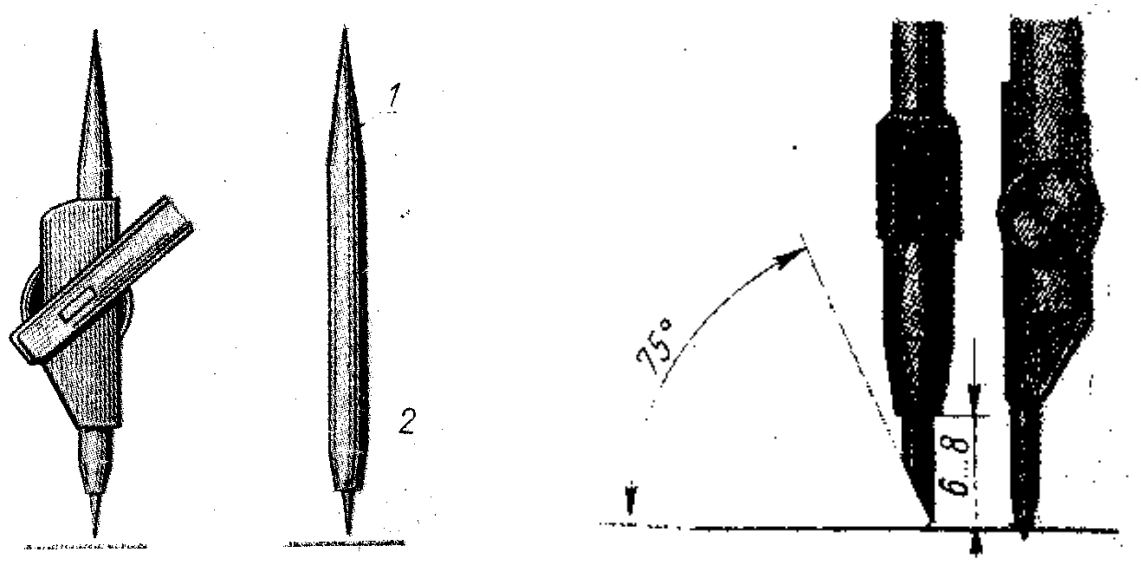
Ил. 2.4 – Положение циркуля при наколах и при последовательных поворотах

Циркуль чертежный применяется для проведения окружностей и дуг различных размеров (от 5 до 200 мм). При выполнении чертежа карандашом используют вставку карандашную, в туши – циркульный рейсфедер.

Ил. 2.5 – Циркуль чертежный

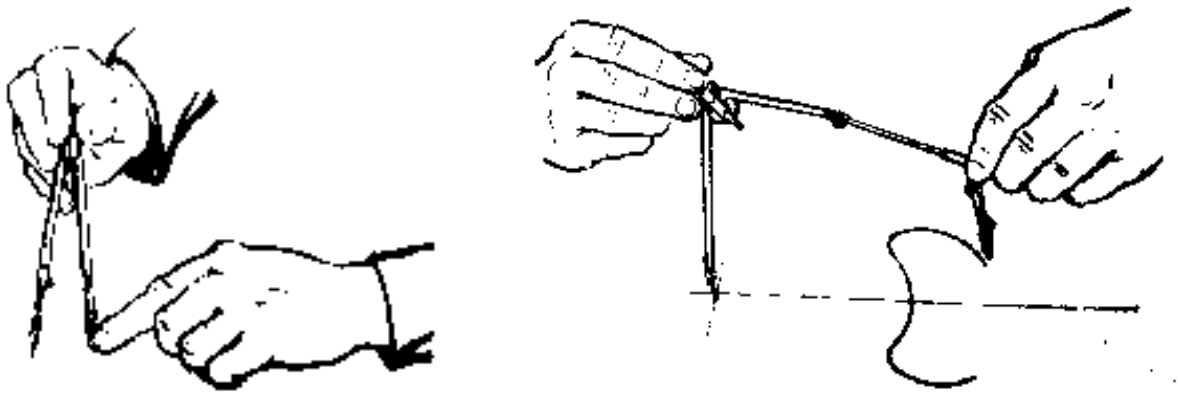
На Ил. 2.6 показана игла чертежного циркуля: конец 1 применяется, когда циркуль чертежный заменяет циркуль разметочный, а конец 2 – при проведении окружностей и дуг. Торцевая опора иглы предохраняет от

увеличения отверстия на бумаге. Заточка пишущего стержня должна производиться в виде лопатки под углом примерно 75°.



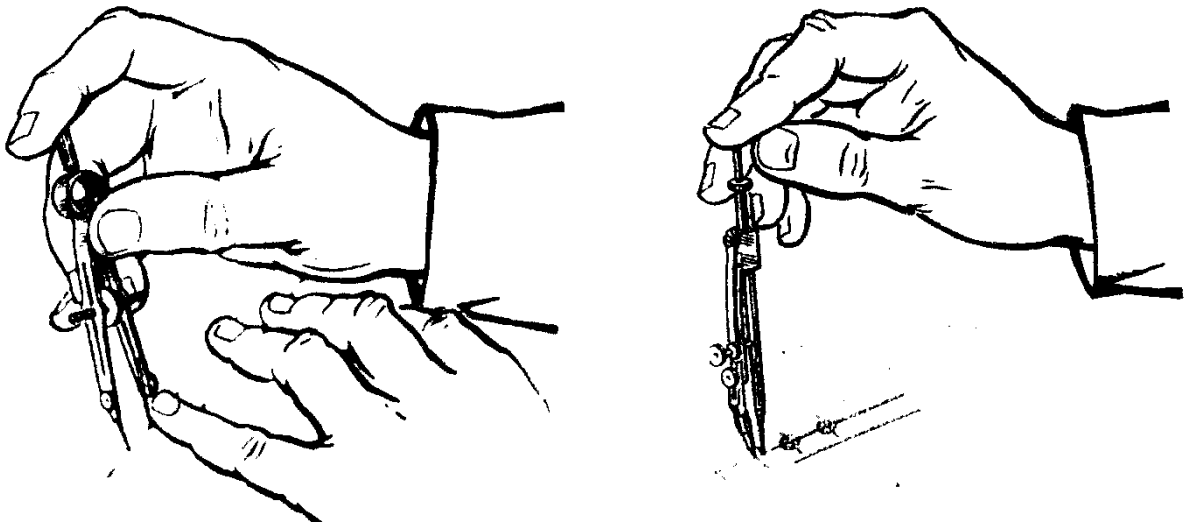
Ил. 2.6 – Игла и стержень чертежного циркуля

Прием установки циркуля чертежного при выполнении окружности, а также дуг Ил.и окружностей большого радиуса с применением удлинителя показан на Ил. 2.7.



Ил. 2.7 – Установки циркуля при выполнении окружностей

Кронциркуль разметочный применяется для разметки линейных размеров от 0,3 до 40 мм; кронциркуль чертежный (падающий) применяется для вычерчивания окружностей диаметром от 0,5 до 12 мм, толщиной от 0,1 до 1 мм (Ил. 2.8).

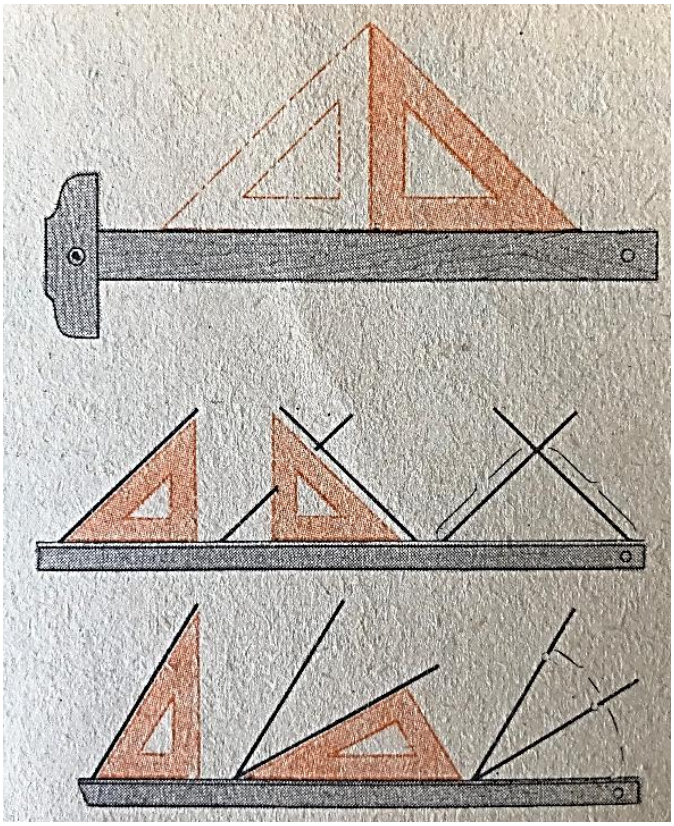


Ил. 2.8 – Кронциркуль

Рейсшина – чертежная линейка с ортогональной перекладиной на одном конце (Ил. 2.9), применяется для проведения параллельных линий.

Ил. 2.9 – Рейсшина

Мерительная линейка применяется для непосредственного изменения и откладывания линейных размеров на чертеже. Угольники используются для откладывания углов 30, 60, 90, 45 °. Угольники в сочетании с рейсшиной или другими угольниками используются для выполнения различных геометрических построений - деление окружности, вычерчивание многоугольников, проведение взаимно параллельных и взаимно перпендикулярных прямых, вычерчивание углов и вертикальных линий (Ил. 2.10).



Ил. 2.10 – Использование угольников

Лекалами (Ил. 2.11) называются линейки, имеющие плавные криволинейные очертания, которыми пользуются при вычерчивании сложных кривых линий, в тех случаях, когда эти линии невозможно выполнить циркулем. Такие линии называются лекальными кривыми.

Ил. 2.10 – Лекала

Для получения плавной лекальной кривой рекомендуется предварительно провести от руки через имеющиеся точки тонкую линию, затем надо подогнать кромку соответствующего лекала к возможно большему числу точек (по меньшей мере к трем-четырем точкам), а кривую провести так, чтобы последний пролет между прикасающимися к лекалу точками остался непроведенным для получения плавности дальнейшей кривой линии.

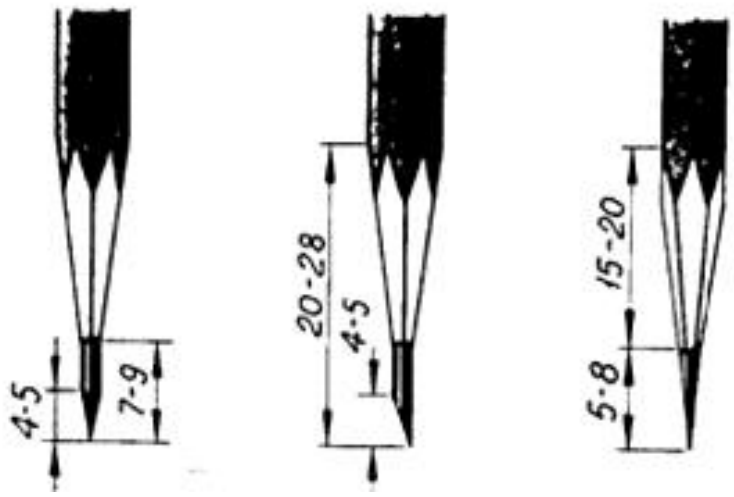
2.2. Чертежные материалы

Бумага чертежная (ГОСТ 597-73) применяется для различного рода чертежных работ, выполняемых карандашом, тушью и красками. Бумага выпускается двух марок: А – для проектно-конструкторских работ и Б – для эскизов и школьных чертежных работ.

Чертежи, как правило, выполняют карандашом различной твердости. Мягким карандашом выполняют предварительные чертежные работы, вычерчивая линии, которые впоследствии будут стерты. Твердым карандашом пользуются в том случае, если графические материалы не требуется вычерчивать тушью. Следует помнить, что при попытке провести жирную линию твердым карандашом, остается вдавленный след, а линия получается недостаточно черной.

Твердые карандаши обозначаются буквой «Т», мягкие – буквой «М». Буквы расположены рядом с фабричным клеймом; перед буквой стоит цифра, указывающая степень твердости (мягкости). С увеличением цифры возрастает твердость Ил.и мягкость грифеля. Распространенные отечественные чертежные карандаши следующих марок: «Картограф», «Конструктор», «Политехник», «Топограф» четырнадцати степеней твердости (от 7Т до Т, ТМ, и от М до 6М). Из зарубежных марок карандашей наиболее известны карандаши фирмы «KOH-I-NOOR». Твердость и мягкость зарубежных карандашей обозначается латинскими буквами «Н» и «В»: твердые от 9Н до Н и мягкие от В до 6В. Полумягкие карандаши обозначаются НВ или F.

Заточку карандаша следует выполнять с конца, противоположного маркировке. Для этого используют различные точилки, скальпель, нож или лезвие безопасной бритвы. Сначала срезают дерево на 30 мм, обнажая графит на 8-10 мм, затем на мелкозернистой наждачной бумаге или бруске затачивают графитный стержень. Окончательную шлифовку производят на чертежной бумаге. Заточенный карандаш должен иметь форму конуса (Ил. 2.11).



Ил. 2.11 – Заточка карандаша

Иногда для прочерчивания прямых линий по линейке грифель у твердых карандашей очиняют в виде лопаточки. В этом случае стачивание графита происходит не так быстро. Обычно это делается, если на чертеже проводится много длинных линий. Работать карандашом с такой заточкой нужно так, чтобы стороны заточки были параллельны линейке. В противном случае линии будут получаться толстыми и разной толщины. При заточке следует соблюдать чистоту рабочего места. Так как карандаши быстро тупятся, при работе удобно иметь 3…4 заточенных карандаша. Неплохо иметь для карандашей защитные колпачки, которые предохраняют графиты от ломки при падении или при транспортировке.

Для выполнения чертежей можно применять «автоматические» карандаши с цанговыми держателями и убирающимся грифелем. При черчении необходимо иметь набор таких карандашей с различной толщиной грифеля, однако при вычерчивании самых тонких линий также следует шлифовать грифель.

2.3. Основные приемы работы при выполнении чертежей

1. На обычном столе чертежную доску следует устанавливать с небольшим наклоном (до 15°).
2. Свет должен падать с левой стороны.
3. На рабочем месте не должно быть ничего лишнего.
4. Перед работой следует проверить наличие инструментов, необходимых для выполнения чертежа.
5. На чертежной доске должны находиться только необходимые для данной работы инструменты и принадлежности.
6. Необходимые инструменты и принадлежности должны располагаться так, чтобы не мешать работе, например, на полочке чертежного стола или специальной тумбочке.

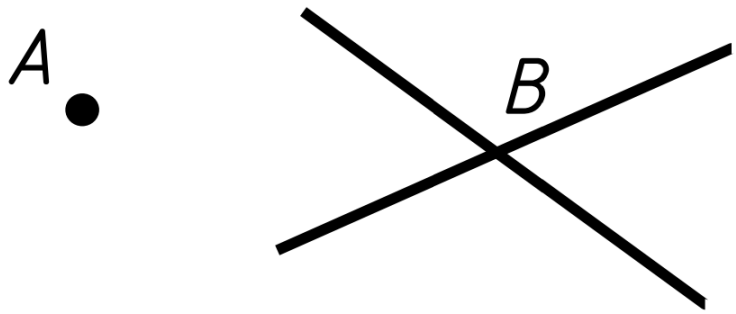
7. Заточить графитовые стержни нескольких карандашей, чтобы не часто отрываться от выполнения чертежа для заточки. Для проведения линий различной толщины и структуры следует применять карандаши различной твердости.
8. Перед началом работы следует все инструменты протереть хлопчатобумажной тряпкой.
9. Вертикальные линии проводят снизу-вверх, горизонтальные слева направо по верхней кромке линейки, наклонные – снизу слева вверх направо.
10. Плоскости линейки, рейсшины и угольников, прилегающих к бумаге, рекомендуется во время работы несколько раз протирать куском хлопчатобумажной ткани.
11. Чертежи надо выполнять сначала твердым карандашом тонкими линиями, а затем после проверки и корректировки обвести мягким карандашом.
12. После выполнения чертежа следует удалять случайно проведенные линии и линии вспомогательных построений, освобождая поле чертежа от лишних линий.
13. Графы основной надписи, технические требования и размерные числа выполняют в последнюю очередь. При выполнении надписей и размерных цифр под руку следует подкладывать чистый лист бумаги.

3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ФИГУРЫ

Изображения предметов состоят из геометрических фигур, которые известны из математики. Изучая начертательную геометрию и выполняя геометрические построения, пользуются элементами графического языка и соответствующей терминологией.

3.1. Точка

Точка относится к основным неопределяемым понятиям в геометрии. Точка не имеет размеров, и то, что мы показываем на чертеже точку в виде какой-то площади – кружочком (Ил. 3.1, точка *A*) или пересечением двух линий (Ил. 3.1, точка *B*), является лишь условным ее изображением.

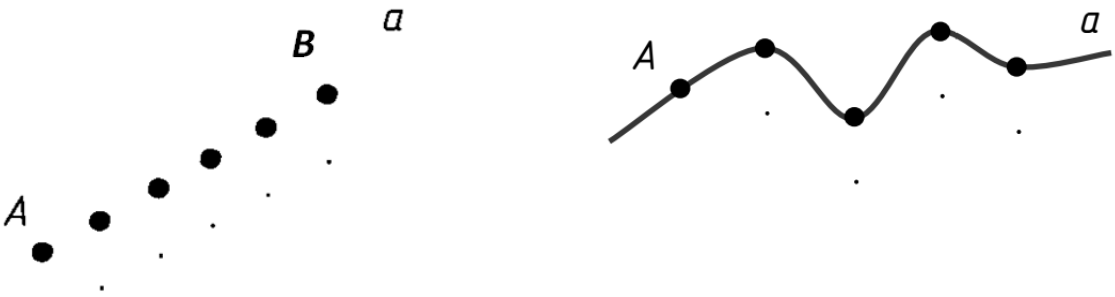


Ил. 3.1 – Обозначение точки

Точки на чертеже обозначаются прописными буквами латинского алфавита – *A, B, C, D* и т.д., или арабскими цифрами – *1, 2, 3, 4* и т.д.

3.2. Прямая и кривая линии

Всякую линию можно представить как траекторию движущейся точки. При этом, если направление траектории не меняется, то линия прямая (Ил. 3.2), а если направление траектории постоянно меняется, то линия кривая (Ил. 3.3).



Ил. 3.2 – Прямая и кривая линии

Прямые и кривые линии обозначаются строчными буквами латинского алфавита – *a, b, c, d* и т.д. Прямую также можно обозначить указанием двух точек, принадлежащих данной прямой. Например, прямую *a* на Ил. 2.2 можно обозначить, как прямая *a*, а слово «прямая» можно заменить круглыми скобками – (*AB*). Запись (*AB*) читается: «Прямая, которая проходит через точки A и B».

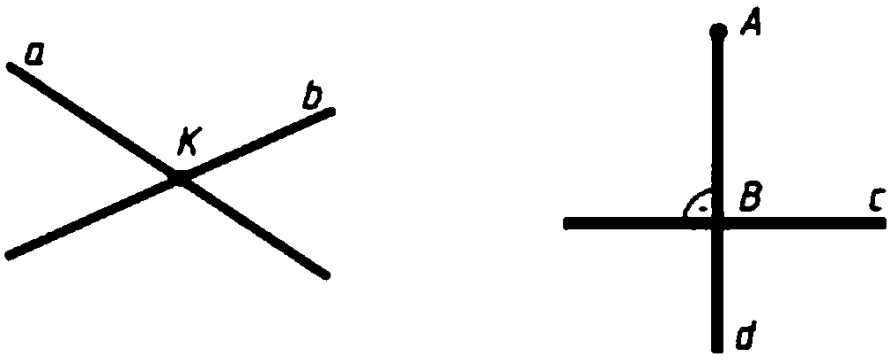
3.3. Взаимное положение двух прямых на плоскости

Если две прямые имеют одну общую точку, то они называются пересекающимися, а эта точка называется точкой пересечения. На Ил. 3.3,а

изображены пересекающиеся прямые *a* и *b*. Точка *K* – точка пересечения. Пересечение прямых можно записать при помощи символа ∩. Запись $a \cap b = K$ читается: «Прямые *a* и *b* пересекаются в точке *K*».

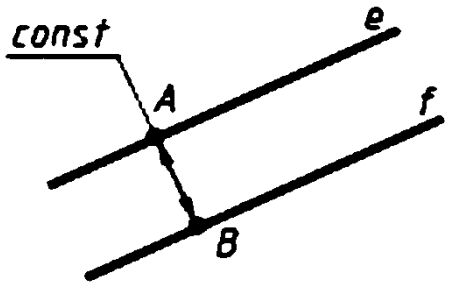
Если две прямые пересекаются под прямым углом (т. е. углом, равным 90°), то они называются перпендикулярными. На Ил. 3.3,б изображены перпендикулярные прямые c и d.

Отрезок *AB* называется перпендикуляром к прямой *c*. Точка *B* называется основанием перпендикуляра. Перпендикулярность прямых можно записать при помощи символа ⊥. Запись $c \perp d$ читается: «Прямая *c* перпендикулярна прямой *d*».



Ил. 3.3 – Прямые:
а – пересекающиеся; б - перпендикулярные

Если две прямые не пересекаются, то есть не имеют общих точек, то они называются параллельными прямыми. На Ил. 3.4 изображены параллельные прямые *e* и *f*. Расстояния между параллельными прямыми по всей их длине одинаковы. Параллельность прямых можно записать при помощи символа ||. Запись $e \parallel f$ читается: «Прямая *e* параллельна прямой *b*».



Ил. 3.4 – Параллельные прямые

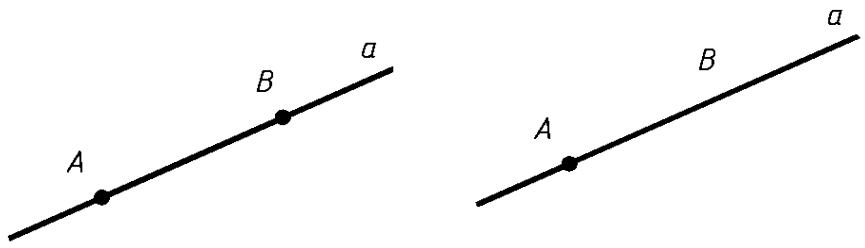
3.4. Отрезок и луч

Отрезком называется часть прямой, которая лежит между двумя данными точками прямой. Эти точки называются концами отрезка. Длина отрезка – это расстояние между концами отрезка.

На Ил. 3.5,а изображен отрезок *A*B, который является частью прямой a, точки A и B – концы отрезка AB. Отрезок обозначается указанием его концов. Слово «отрезок» можно заменить квадратными скобками – [*AB*]. Запись [*AB*] читается: «Отрезок прямой, который ограничен точками *A* и *B*».

Лучом или полупрямой называется часть прямой, которая лежит по одну сторону от данной точки прямой. Эта точка называется началом луча или начальной точкой полупрямой.

На Ил. 3.5,б изображен луч *AB*, точка *A* – начало луча. Луч обозначается начальной точкой луча и еще какой-нибудь точкой, которая принадлежит лучу. При этом, начальная точка ставится впереди. Слово «луч» можно заменить квадратной и круглой скобками – [*AB*). Запись [*AB*) читается: «Луч с началом в точке *A*».



а б

Ил. 3.5 – Отрезок (а) и луч (б)

3.5. Окружность

Окружность – это замкнутая плоская кривая линия, все точки которой находятся на одинаковом расстоянии от данной точки. Эта точка называется центром окружности. Отрезок, соединяющий любую точку окружности с ее центром, называется радиусом окружности. Отрезок, соединяющий две точки окружности, называется хордой. Хорда, которая проходит через центр окружности, называется диаметром окружности. Прямая, которая пересекает окружность, называется секущей.

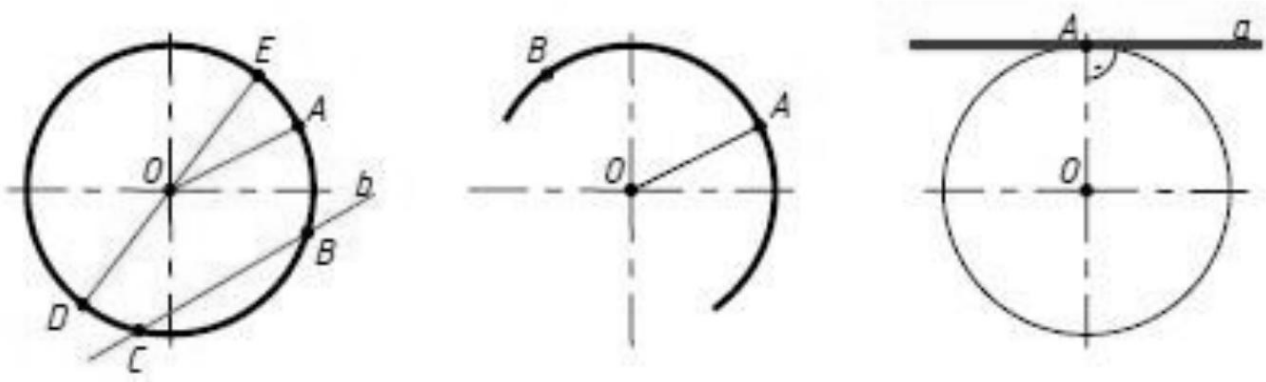
На Ил. 3.6,а изображена окружность с центром в точке *O*. Отрезок *OA* – радиус окружности, отрезок BC – хорда окружности, отрезок DE – диаметр окружности. Прямая b – секущая.

Часть окружности называется дугой окружности. На Ил. 3.6,б изображена дуга окружности с центром в точке *O*. Отрезок *OA* – радиус дуги окружности. Дуга, как и отрезок, обозначается двумя буквами и знаком $\smile$, например, $\smile AB$, (Ил. 3.6,б).

Прямая, которая имеет одну общую точку с окружностью, называется касательной к окружности. Эта точка называется точкой касания. Касательная

перпендикулярна радиусу окружности, который проходит через точку касания.

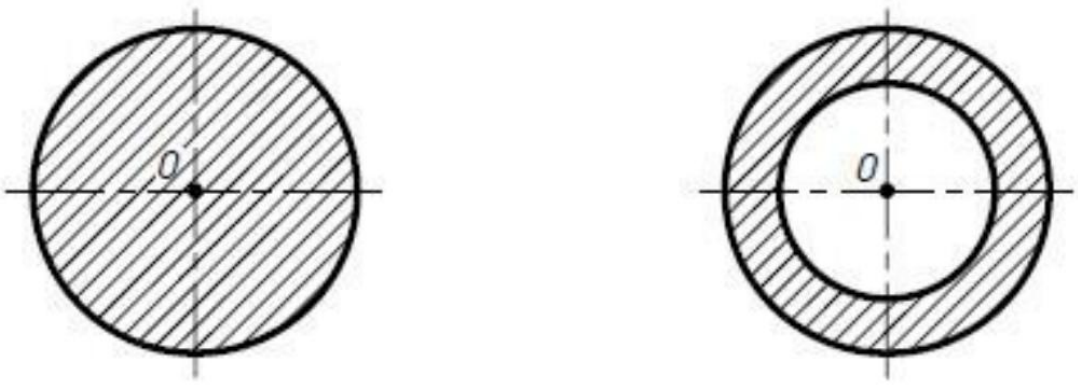
На Ил. 3.6,в прямая *a* – касательная к окружности. Точка *A* – точка касания, прямая *a* касается окружности в точке *A*.



а б в

Ил. 3.6 – Окружность (а), дуга (б), касательная к окружности (в)

Круг – это часть плоскости, которая ограничена окружностью (Ил. 3.7,а). Кольцо – это часть плоскости, которая ограничена двумя окружностями, проведенными из одного центра (Ил. 3,7,б).



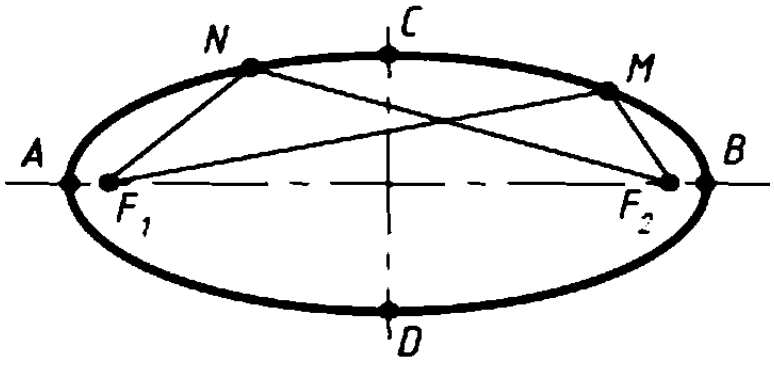
а б

Ил. 3.6 – Круг (а) и кольцо (б)

3.6. Эллипс

Эллипс – это замкнутая плоская кривая, для которой сумма расстояний от любой её точки (*M, N,* …) до двух точек-фокусов *F1* и *F2* есть величина постоянная. Она равна большой оси эллипса *AB*. Например, *F1M + F2M = AB*; *F1N + F2N = AB*.

На Ил. 3.7 представлен эллипс, у которого *AB* – большая ось эллипса, *CD* – малая ось эллипса. Точки *F1* и *F2* – фокусы эллипса. Большая и малая оси эллипса являются осями симметрии эллипса.



Ил. 3.7 – Эллипс

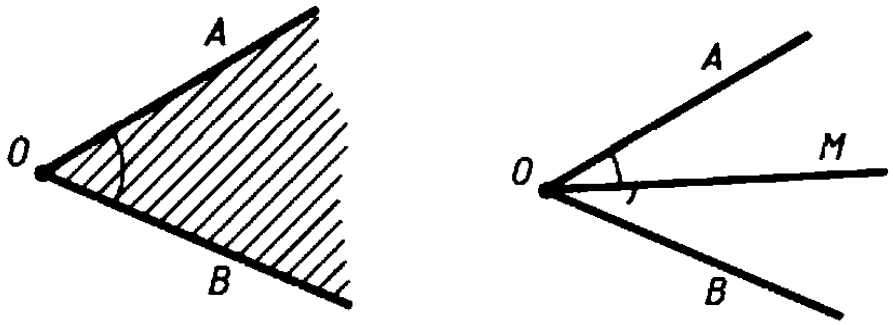
3.7. Угол

Углом называется часть плоскости, которая заключена между двумя лучами, выходящими из одной точки. Эта точка называется вершиной угла, а два луча – сторонами угла. На Ил. 3.8,а изображен угол *AOB*, точка *O* – вершина угла, лучи *OA* и *OB* – стороны угла.

Угол обозначается указанием трех точек – вершины и двух точек, лежащих на сторонах угла. Слово «угол» можно заменить символом ∠. Например, угол можно обозначить, как ∠*AOB*. Запись ∠*AOB* читается: «Угол с вершиной в точке *O*».

Биссектрисой угла называется луч, который выходит из вершины угла, проходит между сторонами угла и делит угол на две равные части (или пополам). На Ил. 3.8,б луч *OM* – биссектриса угла *AOB*.

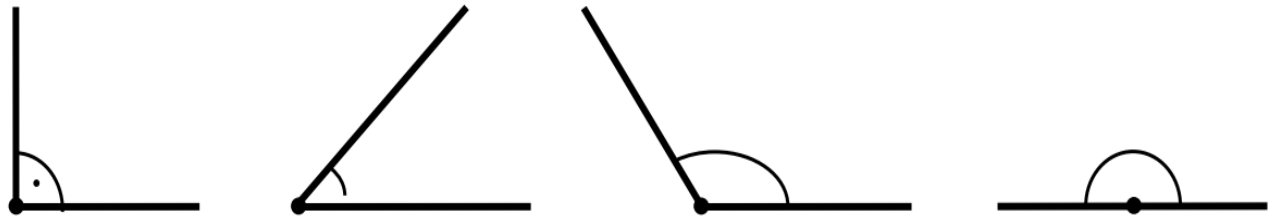
Каждый угол имеет определенную градусную меру или величину, отличную от нуля. Величина угла измеряется с помощью транспортира.



а б

Ил. 3.8 – Угол (а) и биссектриса угла (б)

Угол, равный 90°, называется прямым (Ил. 3.9,а). Прямой угол на чертеже отмечается дугой с точкой внутри. Угол больше 0° и меньше 90° называется острым (Ил. 3.9,б). Угол больше 90° и меньше 180° называется тупым (Ил. 3.9,в). Угол, равный 180°, называется развернутым (Ил. 3.9,г).

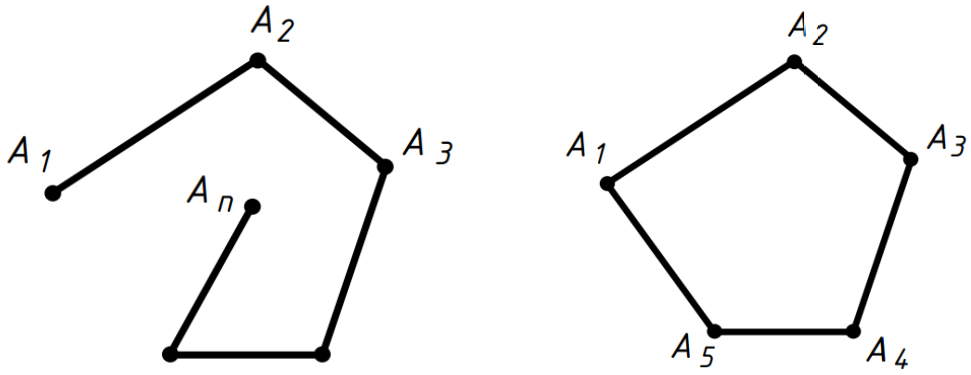


а б в г

Ил. 3.9 – Виды углов:
а – прямой; б – острый; в – тупой; г – развернутый

3.8. Ломаная

Ломаной называется линия, которая состоит из точек, не лежащих на одной прямой и отрезков, их соединяющих. Эти точки называются вершинами ломаной, а отрезки – звеньями ломаной. Ломаная обозначается указанием ее вершин. На Ил. 3.10,а изображена ломаная *A1A2A3…An*, точки *A1, A2, A3, …, An* – вершины ломанной, а отрезки *A1A2, A2A3, …, An1An* – звенья ломаной. Ломаная называется замкнутой, если концы ломаной совпадают (Ил. 3.10,б).



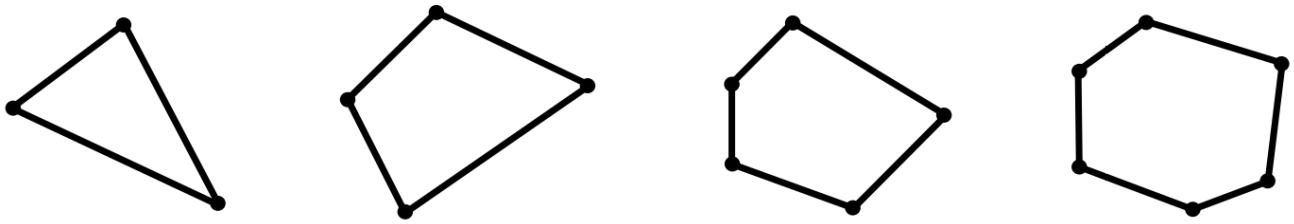
а б

Ил. 3.10 – Ломаная:
а – не замкнутая; б – замкнутая

3.9. Многоугольники

Фигура, ограниченная плоской замкнутой ломанной линией, называется многоугольником. Вершины замкнутой ломаной являются вершинами многоугольника, а звенья ломаной – сторонами многоугольника.

Многоугольник с n вершинами и с n сторонами называется n–угольником. Например: многоугольник с тремя вершинами и тремя сторонами называется треугольником (Ил. 3.11, а); многоугольник с четырьмя вершинами и четырьмя сторонами называется четырехугольником (Ил. 3.11,б); многоугольник с пятью вершинами и пятью сторонами называется пятиугольником (Ил. 3.11,в); многоугольник с шестью вершинами и шестью сторонами называется шестиугольником (Ил. 3.11,г) и т.д.



Ил. 3.11 – Многоугольники

Многоугольники бывают правильные и неправильные. Многоугольник называется правильным, если у него все стороны и все углы равны (Ил. 3.12,а). Если равенства сторон и углов нет, то многоугольник называется неправильным (Ил. 3.12,б).

а б

Ил. 3.12 – Многоугольники:
а – правильные; б - неправильные

3.10. Треугольники

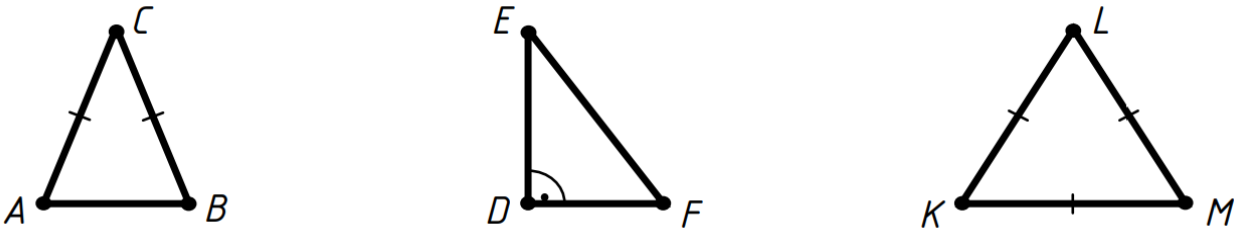
Треугольник – это многоугольник, у которого три вершины, три стороны и три угла. Треугольник обозначается его вершинами. Слово «треугольник» можно заменить символом Δ. Запись ΔABC читается: «Треугольник с вершинами A, B, C».

На Ил. 3.13 представлен треугольник *ABC*, точки *A, B, C* – вершины треугольника, отрезки *AB, BC и CA* – стороны треугольника, углы *A, B* и *C* – углы треугольника.

Если две стороны треугольника равны, то такой треугольник называется равнобедренным (Ил. 3.13, а).

Если один угол треугольника прямой, то такой треугольник называется прямоугольным (Ил. 3.13, б).

Если все стороны треугольника равны, то такой треугольник называется равносторонним (Ил. 3.13, в).

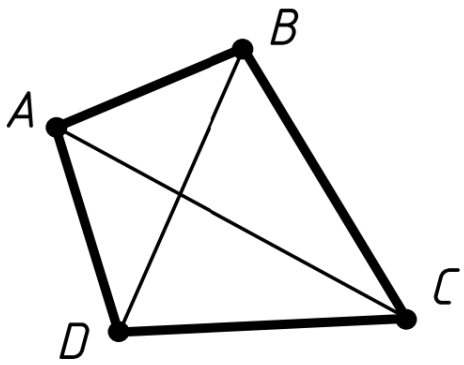


Ил. 3.13 – Треугольники:
а – равнобедренный; б – прямоугольный; в – равносторонний

3.11. Четырехугольники

Четырехугольник – это многоугольник, у которого четыре вершины, четыре стороны и четыре угла. Четырехугольник обозначается его вершинами.

На Ил. 3.14 изображен четырехугольник *ABCD*, точки *A, B, C, D* – вершины четырехугольника, отрезки *AB, BC, CD, DA* – стороны четырехугольника, углы *A, B, C, D* – углы четырехугольника.



Ил. 3.14 – Четырехугольник

Вершины четырехугольника называются соседними, если они являются концами одной из его сторон. Вершины, которые не являются соседними, называются противолежащими. Отрезки, которые соединяют противолежащие вершины, называются диагоналями. У четырехугольника *ABCD* на Ил. 2.13

вершины *A* и *B* – соседние, а вершины *A* и *C* – противоположные, отрезки *AC* и *BD* – диагонали.

К четырехугольникам относятся параллелограмм, прямоугольник, ромб, квадрат и трапеция.

Параллелограмм – это четырехугольник, у которого противолежащие стороны попарно параллельны. Противолежащие углы параллелограмма равны. На Ил. 3.14,а изображен параллелограмм *ABCD*.

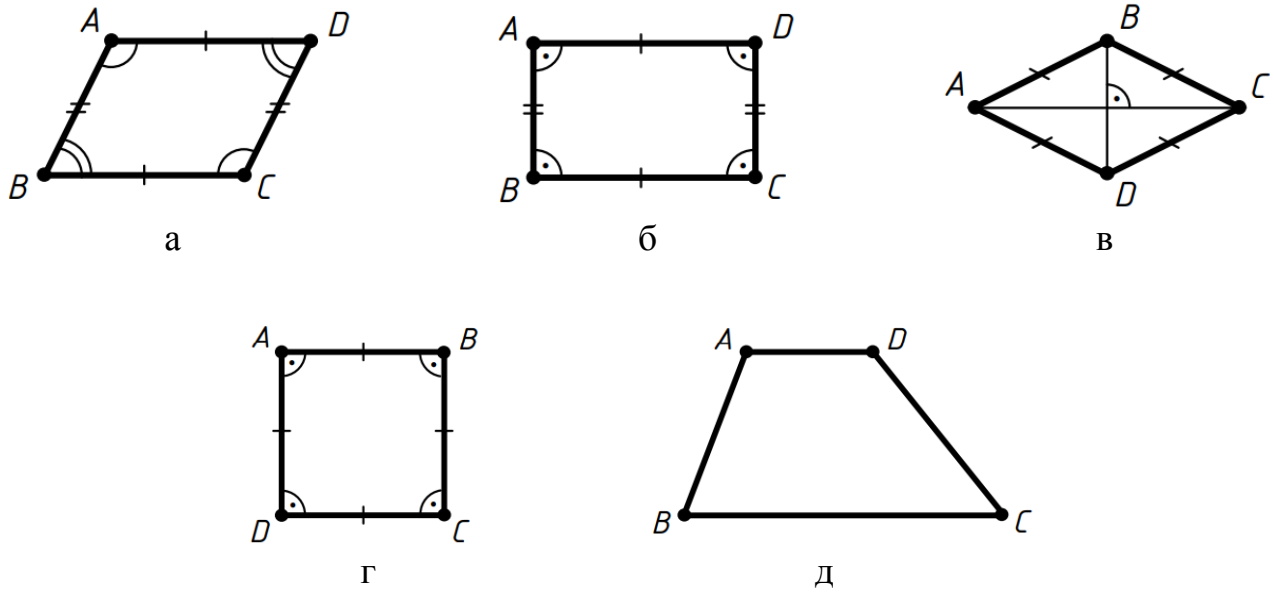
AD || *BC* и *AB* || *DC; AD=BC* и *AB=DC; ∠A=∠C* и *∠B=∠D*.

Прямоугольник – это параллелограмм, у которого все углы прямые. На Ил. 3.14,б изображен прямоугольник *ABCD*. *AD* || *BC* и *AB* || *DC*; *AD=BC* и *AB=DC*; *∠A=∠B=∠C=∠D*=90°.

Ромб – это параллелограмм, у которого все стороны равны. Диагонали ромба пересекаются под прямым углом и являются биссектИл.ами его углов. На Ил. 3.15,в изображен ромб *ABCD*. *AD* || *BC* и *AB* || *DC*; *AB=BC=CD=DA*; *∠A =∠C* и *∠B =∠D*; AC⍰BD.

Квадрат – это прямоугольник, у которого все стороны равны. На Ил. 3.15,г изображен квадрат *ABCD*. *AB* || *DC* и *BC* || *AD*; *AB=BC=CD=DA*; ∠A=∠B =∠C=∠D = 90°.

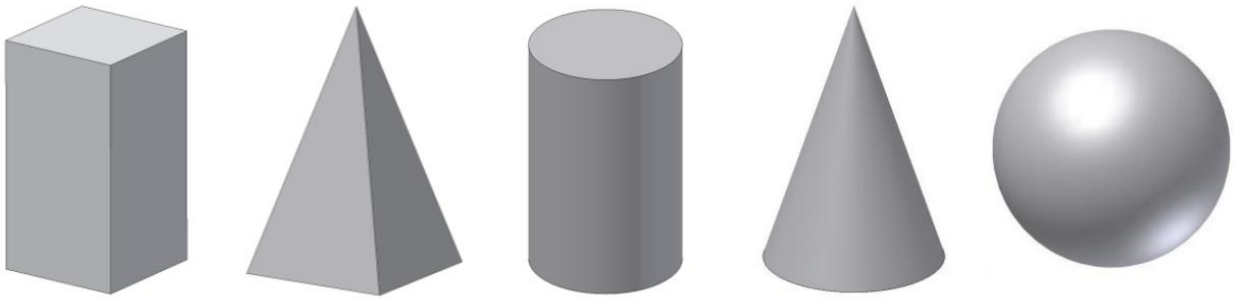
Трапеция – это четырехугольник, у которого две противолежащие стороны параллельны, а две другие не параллельны. Параллельные стороны называются основаниями трапеции. Непараллельные стороны называются боковыми сторонами трапеции. На Ил. 3.15,д изображена трапеция *ABCD*, *AD* || *BC*. Стороны *AD* и *BC* – основания трапеции. *AB* и *DC* – боковые стороны трапеции.



Ил. 3.15 – Четырехугольники:
а – параллелограмм; б – прямоугольник; в – ромб; г – квадрат; д – трапеция

4. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕЛА

Форма большинства предметов представляет собой сочетание различных геометрических тел или их частей. На Ил. 4.1 представлено изображение некоторых геометрических тел – призма, пирамида, цилиндр, конус и шар.



а б в г д

Ил. 4.1 – Основные геометрические тела:
а – призма; б – пирамида; в – цилиндр; г – конус; д – шар

Каждое из геометрических тел имеет свои характерные признаки, по которым мы их отличаем, например, цилиндр от конуса, а конус от пирамиды. Для того, чтобы научиться правильно изображать геометрические тела на чертеже, необходимо знать эти признаки.

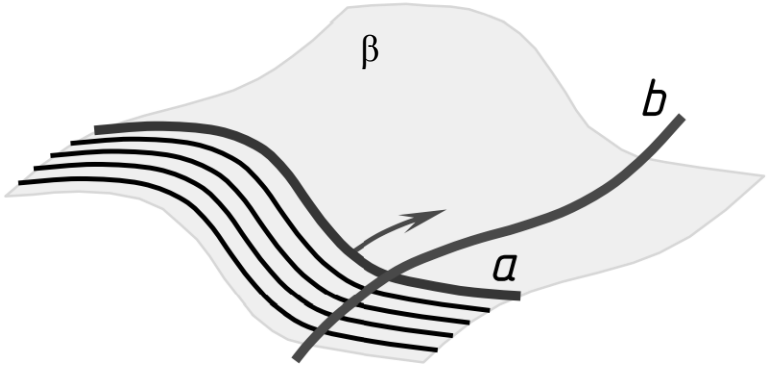
4.1. Образование поверхностей

Геометрическим телом называется замкнутая часть пространства, которая ограничена со всех сторон поверхностями. В свою очередь поверхность определяется как совокупность всех последовательных положений линии, движущейся в пространстве по определенному закону.

Линия, которая перемещается в пространстве и образует поверхность, называется образующей. Образующая перемещается в пространстве по другой линии, которая называется направляющей.

Поверхности обозначаются прописными буквами греческого алфавита – α, β, γ, δ и т.д.

На Ил. 4.2 изображена поверхность α, которая образована перемещением линии *a* по линии *b*. Линия *a* – образующая, а линия *b* – направляющая.

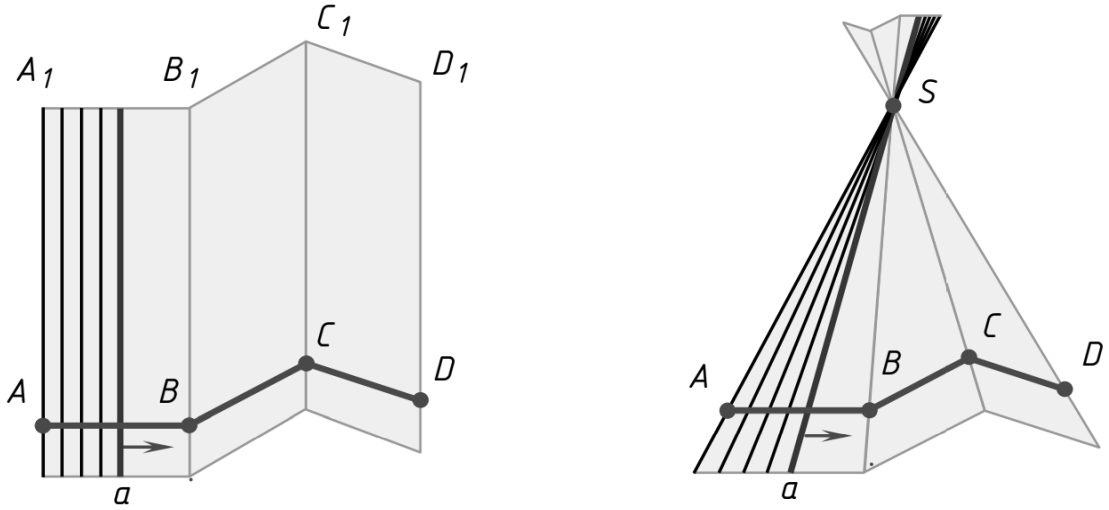


Ил. 4.2 – Образование поверхности

Призматическая поверхность – это поверхность, которая образована перемещением прямой (образующей) по ломанной (направляющей). При движении прямая остается параллельной своему первоначальному положению. На Ил. 4.3,а представлены прямая *a* и ломаная линия *ABCD*. Прямая *a* (образующая) движется по ломаной *ABCD* (направляющей), оставаясь параллельной своему первоначальному положению. В результате образуется призматическая поверхность.

Пирамидальная поверхность – это поверхность, которая образована перемещением прямой (образующей) по ломанной (направляющей). При движении прямая постоянно проходит через некоторую неподвижную точку, которая называется вершиной пирамидальной поверхности.

На Ил. 4.3,б представлены неподвижная точка *S*, прямая *a* и ломаная *ABCD*. Прямая а (образующая) движется по ломаной *ABCD* (направляющей), постоянно проходя через точку S. В результате получаем пирамидальную поверхность.



а б

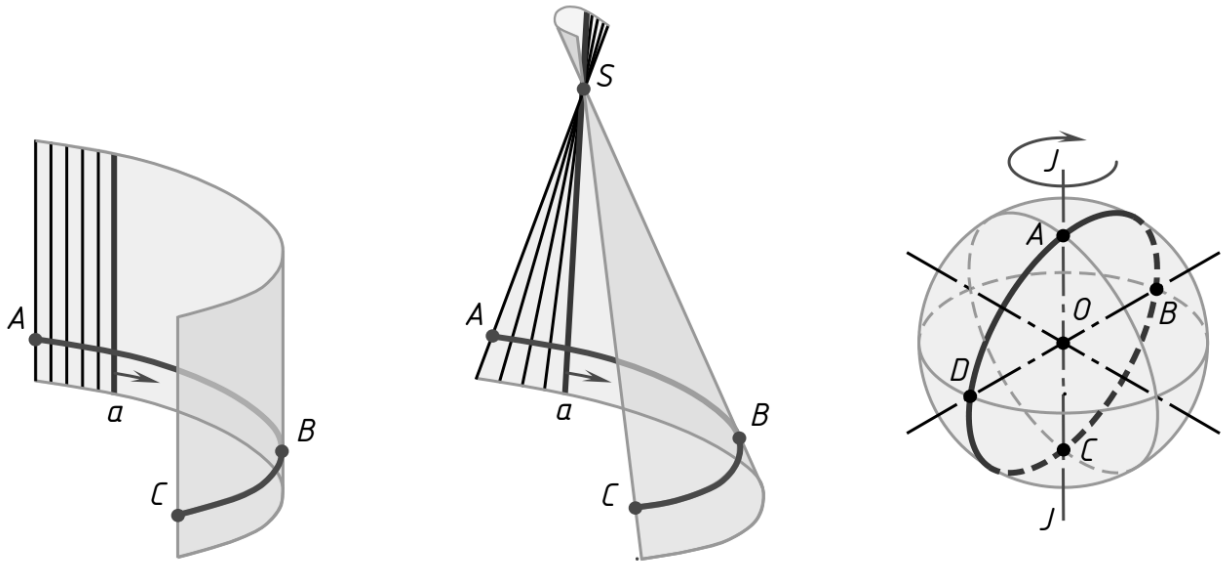
Ил. 4.3 – Образование поверхностей:
а – призматическая; б – пирамидальная

Цилиндрическая поверхность образуется по тому же закону, что и призматическая поверхность, только направляющая линия не ломаная, а кривая. Цилиндрическая поверхность – это поверхность, которая образована перемещением прямой (образующей) по кривой (направляющей). При движении прямая остается параллельной своему первоначальному положению.

На Ил. 4.4,а представлены прямая *a* и кривая линия *ABC*. Прямая *a* (образующая) движется по кривой *ABC* (направляющей), оставаясь параллельной своему первоначальному положению. В результате образуется цилиндрическая поверхность.

Коническая поверхность образуется по тому же закону, что и пирамидальная поверхность, только направляющая линия не ломаная, а кривая. Коническая поверхность – это поверхность, которая образована перемещением прямой (образующей) по кривой (направляющей). При движении прямая постоянно проходит через некоторую неподвижную точку, которая называется вершиной конической поверхности. На Ил. 4.4,б представлены неподвижная точка *S*, прямая линия *a* и кривая линия *ABC*. Прямая *a* (образующая) движется по кривой *ABC* (направляющей), постоянно проходя через точку *S*. В результате образуется коническая поверхность.

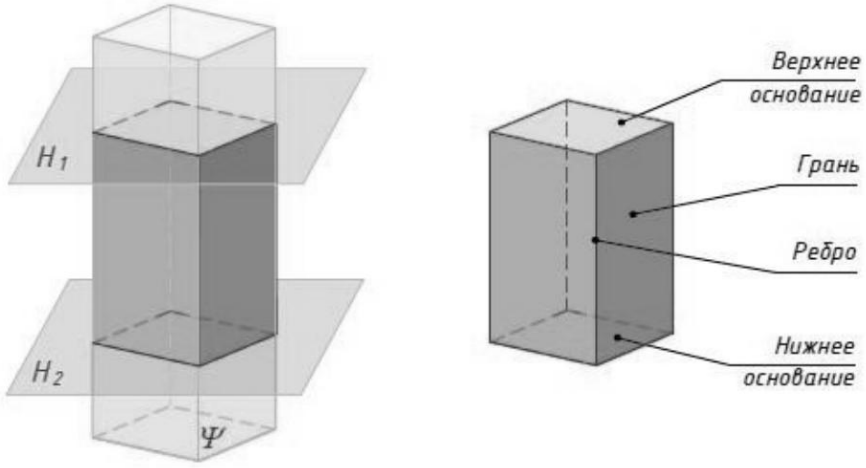
Сферическая поверхность – это поверхность, которая образована вращением окружности вокруг неподвижной оси, проходящей через диаметр окружности. На Ил. 4.4,в представлена окружность *ABCD* и неподвижная ось *J–J*, которая проходит через вертикальный диаметр *AB* окружности. Окружность *ABCD* вращается вокруг оси *J–J*. В результате такого вращения образуется сферическая поверхность.



Ил. 4.4 – Образование поверхностей:
а – цилиндрическая; б – коническая; в – сферическая

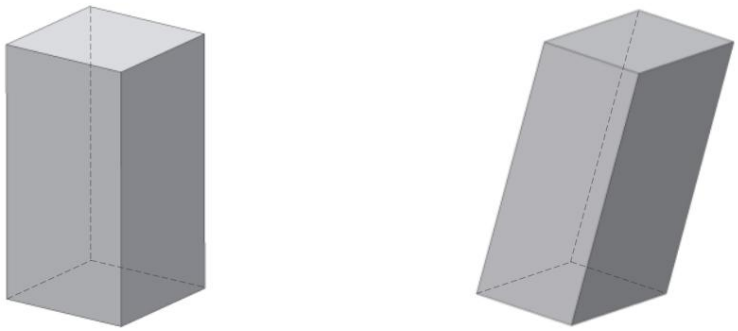
Призма – это геометрическое тело, которое ограничено замкнутой призматической поверхностью и двумя пересекающими ее взаимно параллельными плоскостями. На Ил. 4.5,а призму образуют замкнутая призматическая поверхность ψ и взаимно параллельные плоскости *H1* и *H2*.

Замкнутая призматическая поверхность, которая образовывает призму, называется боковой поверхностью призмы. Две параллельные плоскости, пересекающие призматическую поверхность, называются основаниями призмы (Ил. 4.5,б). Боковая поверхность призмы состоит из плоскостей, которые называются гранями призмы. Линии пересечения граней призмы называются ребрами призмы. Ребра призмы разделяются на боковые ребра и ребра основания.



Ил. 4.5 – Образование призмы

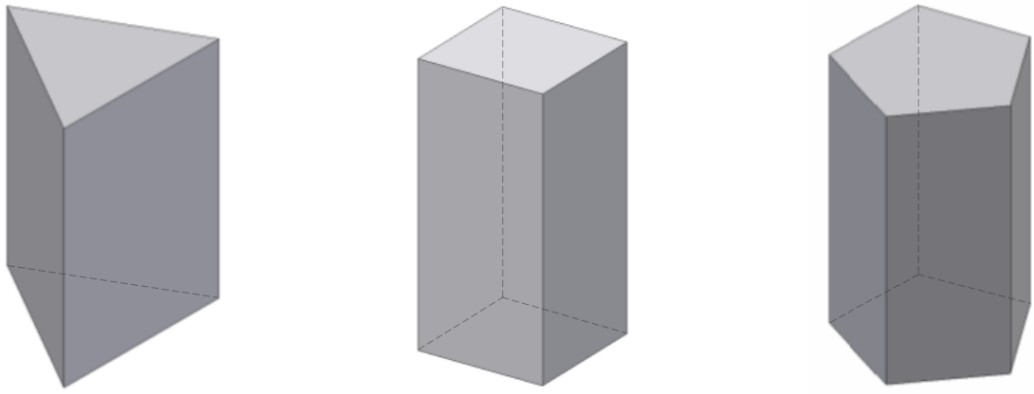
Призмы бывают прямые и наклонные. Призма называется прямой, если боковые ребра перпендикулярны основанию (Ил. 4.6,а). В противном случае призма называется наклонной (Ил. 4.6,б).



а б

Ил. 4.6 – Призма:
а – прямая; б – наклонная

По форме основания призмы бывают треугольные (Ил. 4.7,а), четырехугольные (Ил. 4.7,б), пятиугольные (Ил. 4.7,в) и т. д.



а б в

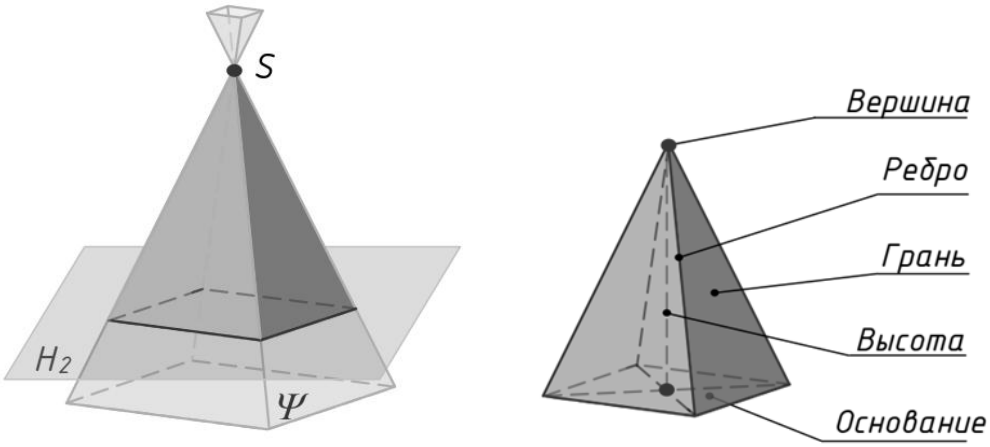
Ил. 4.7 – Призма:
а – треугольная; б – четырехугольная; в – пятиугольная

Призмы бывают правильные и неправильные. Призма называется правильной, если основания призмы – правильные многоугольники, в противном случае призма называется неправильной. Призма, у которой все грани и основания – квадраты, называется кубом (Ил. 4.8,а). Неправильная четырехугольная призма называется прямоугольным параллелепипедом (Ил. 4.8,б).

а б

Ил. 4.8 – Призма:
а – правильная (куб); б – неправильная

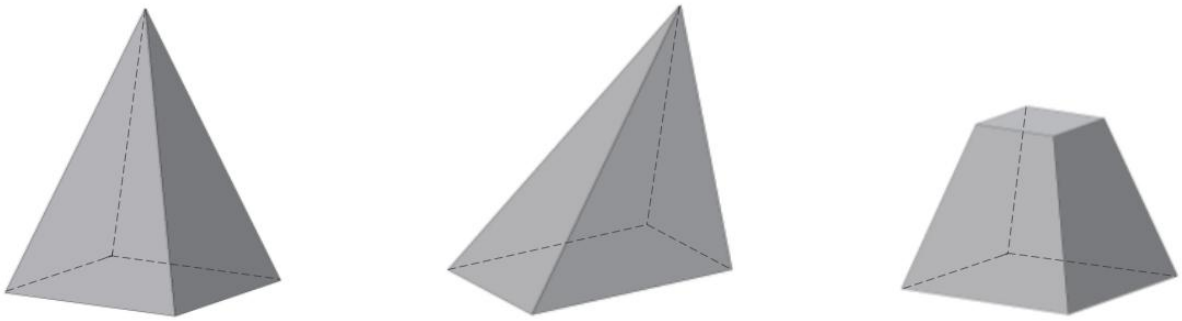
Пирамида – это геометрическое тело, которое ограничено замкнутой пирамидальной поверхностью и пересекающей ее плоскостью. На Ил. 4.9 пирамиду образуют замкнутая пирамидальная поверхность ψ и плоскость *H*.



Ил. 4.9 – Образование пирамиды

Замкнутая пирамидальная поверхность, которая образовывает пирамиду, называется боковой поверхностью пирамиды. Плоскость, пересекающая пирамидальную поверхность, называется основанием пирамиды. Боковая поверхность пирамиды состоит из плоскостей, которые называются гранями пирамиды. Линии пересечения граней пирамиды называются ребрами пирамиды. Ребра пирамиды разделяются на боковые ребра и ребра основания. Боковые ребра сходятся в одной точке, которая называется вершиной пирамиды. Перпендикуляр, опущенный из вершины пирамиды на плоскость основания, называется высотой пирамиды.

Пирамиды бывают прямые и наклонные. Пирамида называется прямой (Ил. 4.10,а), если высота пирамиды перпендикулярна её основанию и проходит через его центр. В противном случае пирамида называется наклонной (Ил. 4.10,б). Пирамиды бывают полные (Ил. 4.10,а) и усеченные (Ил. 4.10,в). У усеченной пирамиды два подобных основания.

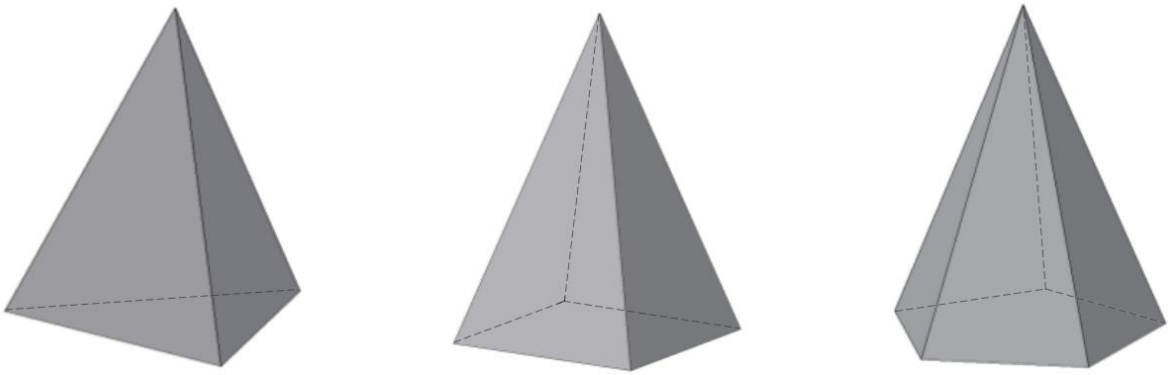


а б в

Ил. 4.10 – Пирамиды:
а – прямая; б – наклонная; в – усеченная

По форме основания пирамиды бывают треугольные (Ил. 4.11,а), четырехугольные (Ил. 4.11,б), пятиугольные (Ил. 4.11,в) и т.д.

Пирамиды бывают правильные и неправильные. Пирамида называется правильной, если основание пирамиды – правильный многоугольник. В противном случае пирамида называется неправильной.

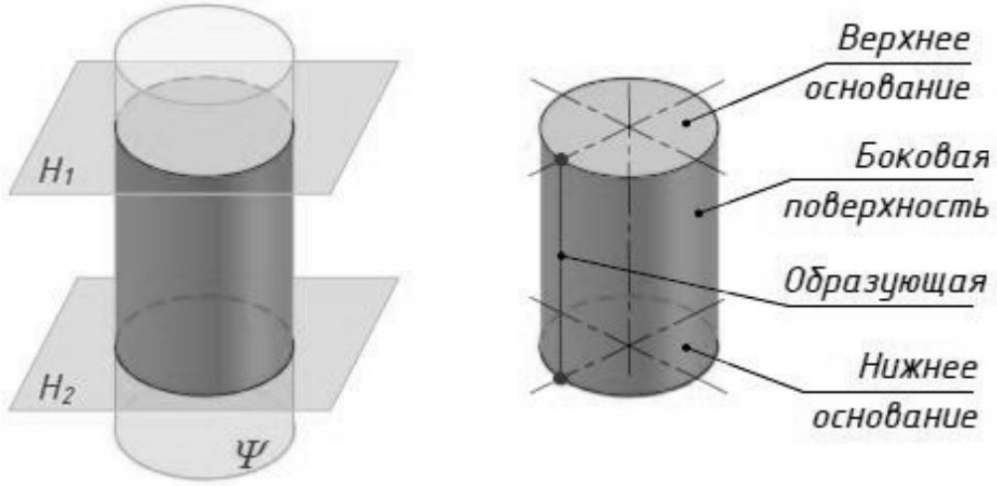


а б в

Ил. 4.11 – Пирамиды:
а – треугольная; б – четырехугольная; в – пятиугольная

Цилиндр – это геометрическое тело, которое ограничено замкнутой цилиндрической поверхностью и двумя пересекающими ее взаимно параллельными плоскостями. На Ил. 4.12 цилиндр образуют замкнутая цилиндрическая поверхность ψ и взаимно параллельные плоскости *H1* и *H2*.

Замкнутая цилиндрическая поверхность, которая образовывает цилиндр, называется боковой поверхностью цилиндра. Две параллельные плоскости, пересекающие цилиндрическую поверхность, называются основаниями цилиндра.



Ил. 4.12 – Образование цилиндра

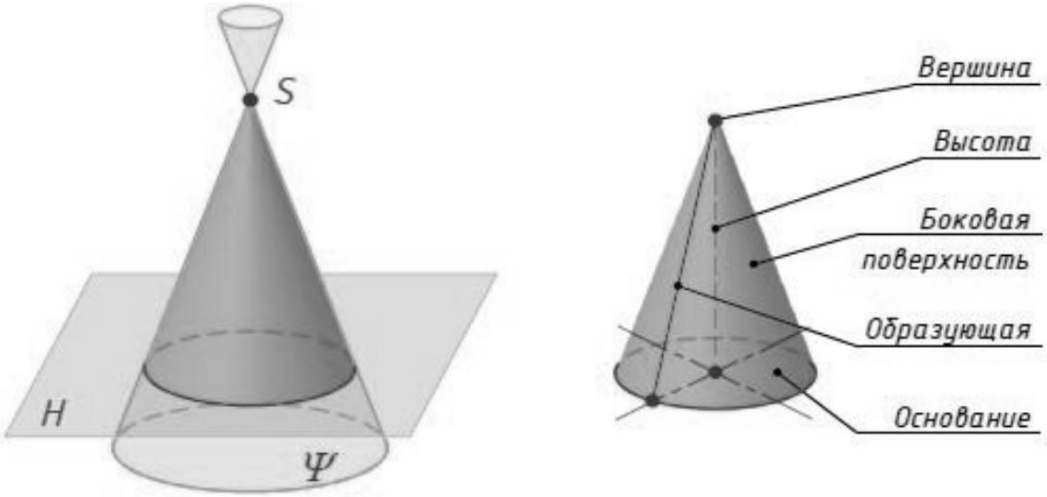
Цилиндры бывают прямые и наклонные. Цилиндр называется прямым, если образующие цилиндрической поверхности перпендикулярны плоскости основания (Ил. 4.13,а), в противном случае цилиндр называется наклонным (Ил. 4.13,б).

а б

Ил. 4.13 – Цилиндры:
а – прямой; б – наклонный

Конус – это геометрическое тело, которое ограничено замкнутой конической поверхностью и пересекающей ее плоскостью. На Ил. 4.14 конус образуют замкнутая коническая поверхность ψ и плоскость *H*.

Замкнутая коническая поверхность, которая образовывает конус, называется боковой поверхностью конуса. Плоскость, пересекающая коническую поверхность, называется основанием конуса. Образующие конуса сходятся в одной точке, которая называется вершиной конуса. Перпендикуляр, опущенный из вершины конуса на плоскость основания, называется высотой конуса.



Ил. 4.14 – Образование конуса

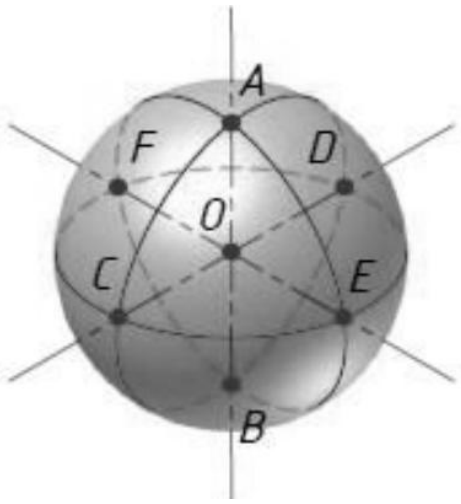
Конусы бывают прямые и наклонные. Конус называется прямым, если высота конуса проходит через центр основания (Ил. 4.15,а). В противном случае конус называется наклонным (Ил. 4.15,б).

Конусы бывают полные (Ил. 4.15,а) и усеченные (Ил. 4.15,в). У усеченного конуса два подобных основания.

а б в

Ил. 4.15 – Конусы:
а – прямой, полный; б – наклонный, полный; в – прямой, усеченный

Шар – это геометрическое тело, которое ограничено сферической поверхностью (Ил. 4.16).



Ил. 4.16 – Шар

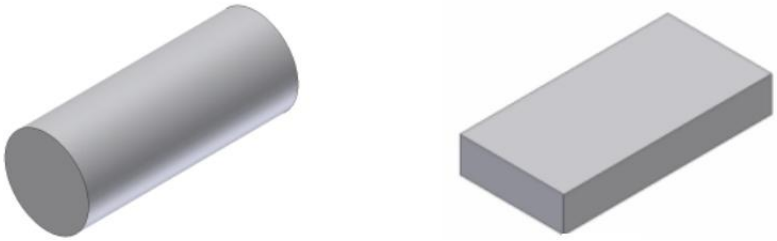
Все точки шара находятся на одинаковом расстоянии от некоторой точки *O*. Точка *O* – это центр шара. Отрезок, который соединяет две точки на поверхности шара и проходит через его центр, называется диаметром шара. На Ил. 4.16 отрезок *AB* – вертикальный диаметр шара. Отрезки *CD* и *EF* – горизонтальные диаметры шара.

На поверхности шара выделяют линии – параллели и меридианы. Параллель – это окружность, которая лежит в плоскости, перпендикулярной вертикальному диаметру сферы. Самая большая параллель называется

экватором. На Ил. 4.16 окружность *CEDF* – экватор шара. Меридиан – это окружность, которая лежит в плоскости, проходящей через вертикальный диаметр сферы. Окружности *ACBD* и *AEBF* – меридианы шара. Верхняя и нижняя точки вертикального диаметра шара называются полюсами, точки *A* и *B* – полюсы шара.

4.2. Анализ геометрической формы предметов

Представить форму предмета, который имеет очертания простого геометрического тела, достаточно легко. Например, детали ось (Ил. 4.17,а) и шпонка (Ил. 4.17,б) имеют самую простую форму. Ось имеет форму цилиндра, а шпонка – форму параллелепипеда.



а б

Ил. 4.17 – Геометрическая форма предметов:
а – ось (цилиндр); б – шпонка (параллелепипед)

Сложнее разобраться в форме предмета, если он образован несколькими геометрическими телами, например их суммой, разностью или сочетанием суммы и разности. Для этого проводят анализ его геометрической формы.

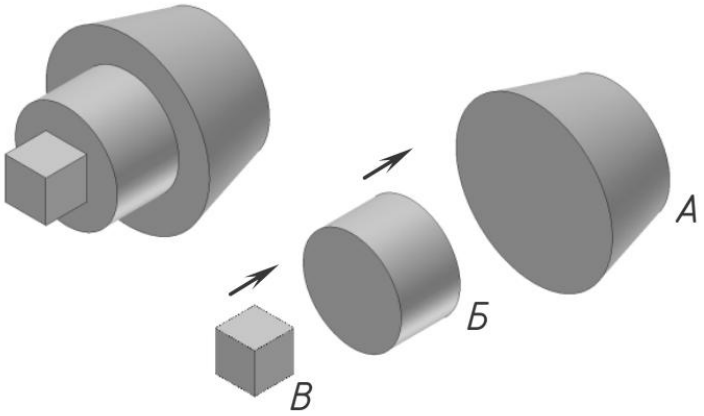
Анализом геометрической формы предмета называется мысленное расчленение предмета на отдельные части, которые имеют форму простых геометрических тел.

Пример анализа геометрической формы трех деталей – пробки (Ил. 4.18), втулки (Ил. 4.19) и опоры (Ил. 4.20).

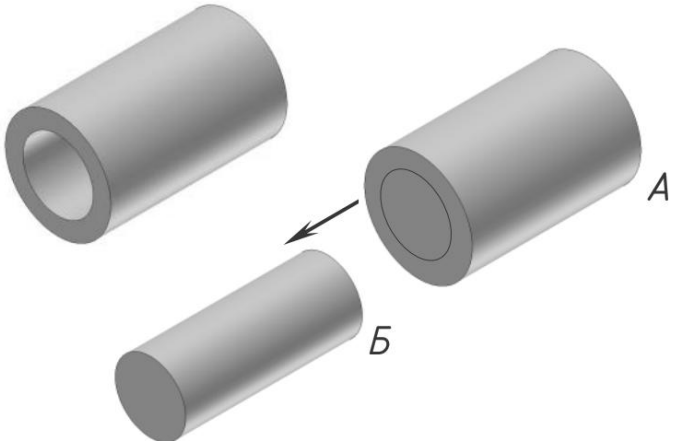
Пробка образована суммой усеченного конуса *А*, цилиндра *Б* и куба *В*. Пробка = Усеченный конус *А* + Цилиндр *Б* + Куб *В*.

Втулка образована вычитанием цилиндра *Б* из цилиндра *А*. Втулка = Цилиндр *А* – Цилиндр *Б*

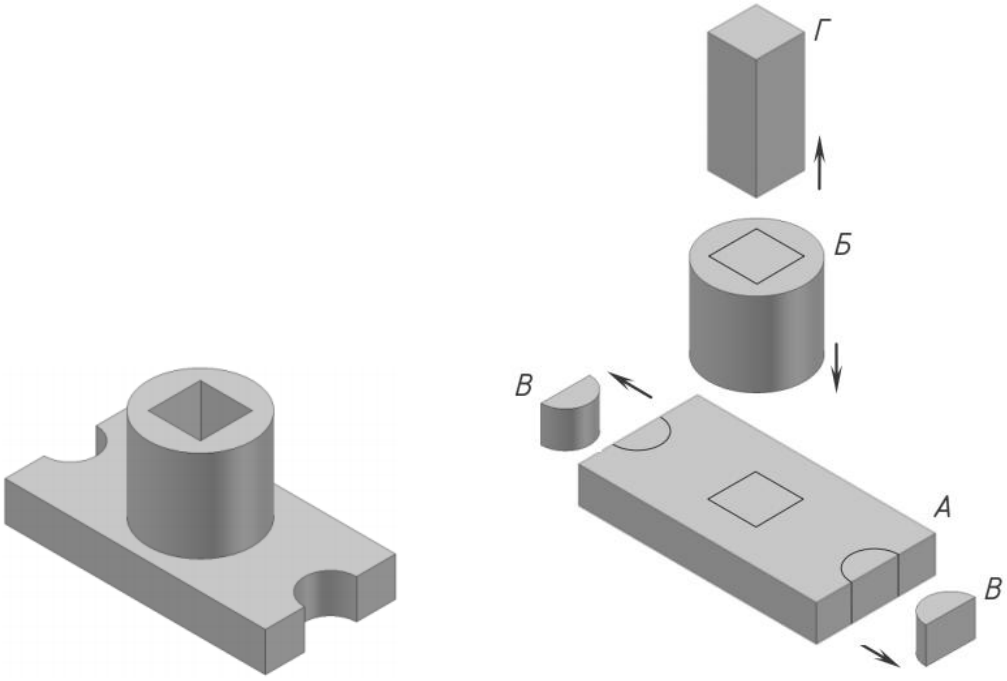
Опора образована суммой прямоугольного параллелепипеда *А* и цилиндра *Б*, вычитания из параллелепипеда слева и справа двух полуцилиндров *В*, вычитания из суммы прямоугольного параллелепипеда *А* и цилиндра *Б* правильной четырехугольной призмы *Г*. Опора = ((Параллелепипед *А* – 2 Полуцилиндра *В*) + Цилиндр *Б*) – Призма *Г*.



Ил. 4.18 – Анализ геометрической формы пробки



Ил. 4.19 – Анализ геометрической формы втулки



Ил. 4.20 – Анализ геометрической формы опоры

5. ПРАВИЛ.А ОФОРМЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ

Выполнение чертежей осуществляется по установленным общим нормам и правилам по разработке, оформлению и обращению конструкторской документации, которые обязательны для всех. Эти нормы и правила оформлены в комплекс Государственных Стандартов (ГОСТ), который называется Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

5.1. Форматы

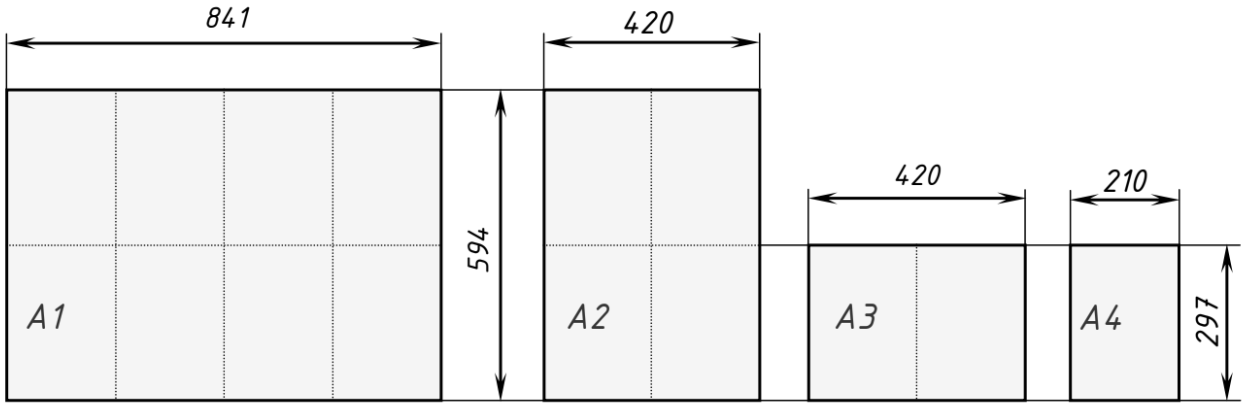
Для экономного использования бумаги, удобства пользования, хранения и транспортировки чертежи и другие конструкторские документы выполняют на листах чертежной бумаги определенного размера (формата). Форматы листов чертежей и других документов, предусмотренных стандартами на конструкторскую документацию всех отраслей промышленности, устанавливает стандарт ЕСКД ГОСТ 2.301–68. Форматы.

Основной формат А0 (1189×841 мм) имеет площадь равную 1 м^2. Этот формат путем последовательного деления пополам образует другие форматы (А1, А2, А3 и А4), которые также являются основными (табл. 5.1, Ил. 5.1).

Таблица 5.1

Размеры форматных листов

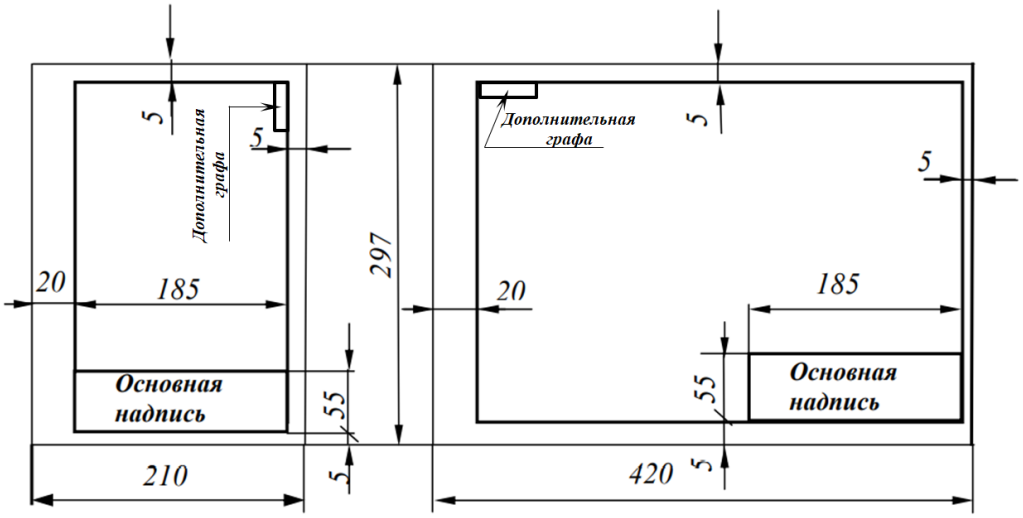
Обозначение форматов	А0	А1	А2	А3	А4
Размеры сторон листа, мм	1189×841	841×594	594×420	420×297	297×210



Ил. 5.1 – Образование форматов

Все форматы за исключением А4 могут располагаться как вертикально, так и горизонтально. Формат А4 располагается только вертикально.

Каждый чертеж имеет рамку, которая ограничивает поле чертежа. Внутреннюю рамку проводят сплошными основными линиями – с трех сторон на расстоянии 5 мм от края листа, а слева – на расстоянии 20 мм. С левой стороны формата при этом располагается поле для подшивки чертежа (Ил. 5.2).

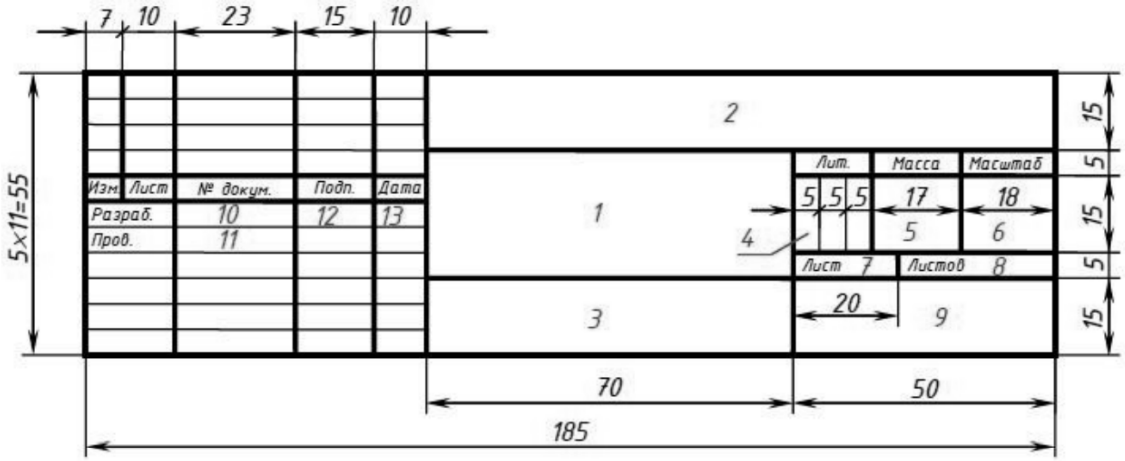


Ил. 5.2 – Оформление рамки чертежа:
а – формат А4; б – формат А3

5.2. Основная надпись

Размеры и содержание основной надписи устанавливает стандарт ЕСКД ГОСТ 2.104–2006. Основные надписи.

На чертежах необходимо выполнить основную надпись, содержащую сведения об изображенном изделии и информацию о том, кем выполнен данный чертеж. Основная надпись размещается в правом нижнем углу. На листах формата А4 основную надпись располагают только вдоль короткой стороны листа. Содержание, расположение и размеры граф основной надписи для учебных чертежей представлены на Ил. 5.3.



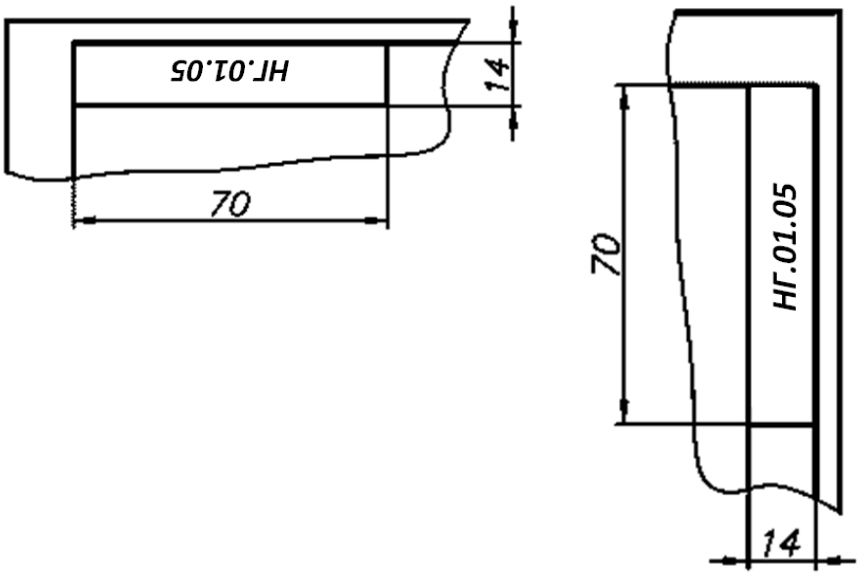
Ил. 5.3 – Оформление основной надписи

В графах основной надписи указывают:
Графа 1 – наименование детали или задания.
Графа 2 – обозначение чертежа (шифр чертежа) в формате НГ.XX.YY.ZZ, где ЛКП – кодированное обозначение дисциплины «Линейно конструктивное построение», XX – номер задания, YY – номер варианта задания.
Графа 3 – материал детали.
Графа 4 – литеру чертежа – У (учебный чертеж).
Графа 6 – масштаб чертежа.
Графа 7 – порядковый номер листа (графу не заполняют на документах, выполненных на одном листе).
Графа 8 – общее количество листов.
Графа 9 – сокращенное название университета, шифр группы.
Графа 10 – фамилию, инициалы студента.
Графа 11 – фамилию, инициалы преподавателя.
Графа 12 – подпись студента.
Графа 13 – дату выполнения чертежа.

Пример заполнения основной надписи представлен на Ил. 5.4.

Ил. 5.4 – Пример оформления основной надписи на чертеже

Помимо основной надписи на учебных чертежах помещают дополнительную графу к основной надписи, в которой помещается обозначение документа (шифр чертежа), причем запись производится в зависимости от того, вдоль какой стороны расположена на данном чертеже основная надпись: если по длинной стороне – то дополнительная графа располагается, как показано на Ил. 5.5,а, если по короткой – как на Ил. 5.5,б.



а б

Ил. 5.5 – Оформление дополнительной графы на чертеже:
а – по длинной стороне; б – по короткой стороне

5.3. Масштабы

Масштабы изображений и их обозначение на чертежах устанавливает стандарт ЕСКД ГОСТ 2.302–68. Масштабы. Масштабом называется отношение линейных размеров изображения предмета на чертеже к истинным линейным размерам предмета. В зависимости от сложности изображаемого предмета, его изображения на чертежах могут выполняться как в натуральную величину, так и с уменьшением или с увеличением. Масштабы изображений на чертежах должны выбираться из следующего ряда, представленного в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Масштабы

Масштабы уменьшения	1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40 1:50; 1:75; 1:100; 1:200; 1:400; 1:500; 1:800; 1:1000
Натуральная величина	1:1
Масштабы увеличения	2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1

При проектировании генеральных планов крупных объектов допускается применять масштабы 1:2000; 1:5000; 1:10000; 1:20000; 1:25000; 1:50000.

В необходимых случаях допускается применять масштабы увеличения $(100 \cdot n)$:1, где n – целое число.

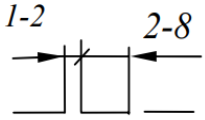
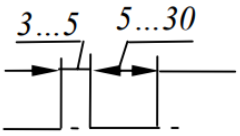
Масштаб, указанный в предназначенной для этого графе основной надписи чертежа, должен обозначаться по типу 1:1; 1:2; 2:1 и т.д.

5.4. Линии

Начертания, толщины и основные назначения девяти типов линий, применяемых на чертежах, устанавливает стандарт ЕСКД ГОСТ 2.303–68. Линии. В чертежах наиболее часто используются шесть типов линий, представленных в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Типы линий

Наименование линий	Начертаний линий	Толщина, мм	Назначение
Сплошная толстая основная		S = 0,5 – 1,4 мм	Линии видимого контура предмета
Сплошная тонкая		S/3 – S/2	Размерные и выносные линии
Штриховая		S/3 – S/2	Линии невидимого контура
Штрихпунктирная		S/3 – S/2	Центровые и осевые линии
Сплошная волнистая		S/3 – S/2	Линии обрыва
Разомкнутая		S – 1,5S.	Линии секущих плоскостей простых и сложных разрезов и сечений

Сплошная толстая основная линия. Толщина S≈0,5 – 1,4 мм, на учебных чертежах рекомендуется толщина S≈0,8 … 1 мм. Применяется для изображения линий видимого контура, линий контура сечений (вынесенного и входящего в состав разреза), внутренняя рамка чертежа и др.

Сплошная тонкая линия. Толщина от S/3 до S/2. Применяется для изображения линий контура наложенного сечения, линий размерных и выносных, линий штриховки, линий-выносок.

Штриховая линия. Толщина линии от S/3 до S/2. Применяется для изображения линий невидимого контура.

Штрихпунктирная тонкая линия. Толщина от S/3 до S/2. Применяется для изображения линий осевых и центровых, линий сечений, являющихся осями симметрии для наложенных или вынесенных сечений.

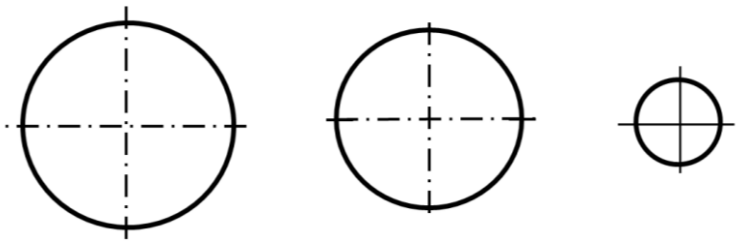
Сплошная волнистая линия. Толщина линии от S/3 до S/2. Применяется для изображения линий обрыва, линий разграничения вида и разреза.

Разомкнутая линия. Толщина линии от S до 1,5S, длина штриха от 8 до 20 мм. Применяется для изображения положений секущих плоскостей простых и сложных разрезов и сечений.

Толщина линий одного и того же типа должна быть одинакова для всех изображений на данном чертеже.

Штрихпунктирные линии, применяемые в качестве центровых линий, должны пересекаться между собой длинными штрихами. Штрихпунктирную линию, применяемую в качестве центровой линии окружности с диаметром менее 12 мм, рекомендуется заменять сплошной тонкой линией. Штрихи (также промежутки между ними) должны быть приблизительно одинаковой длины. Примеры изображения центровых линий представлены на Ил. 5.6.

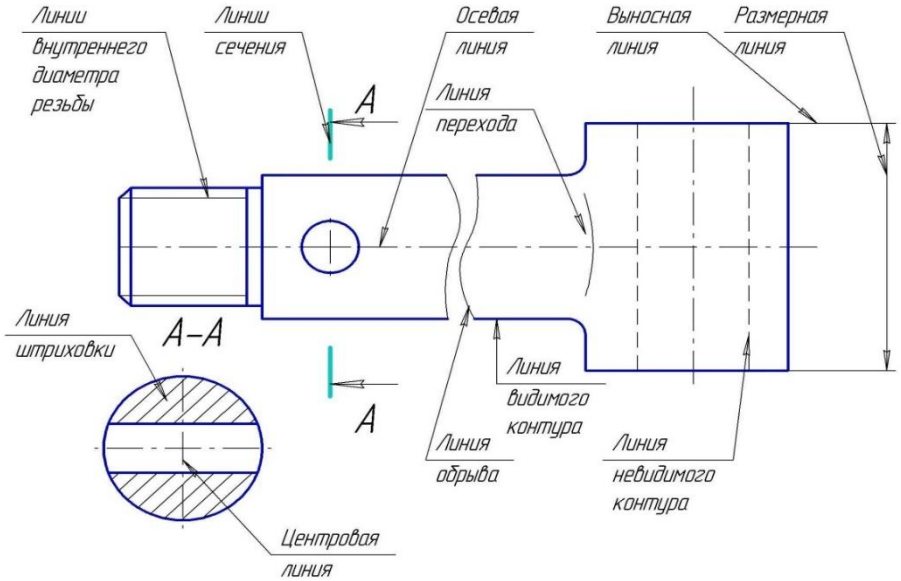
Штриховая и штрихпунктирная линии должны пересекаться и заканчиваться штрихами. Штрихпунктирная линия должна выходить за контур изображения, но не более чем на 5 мм.



а б в

Ил. 5.6 – Изображения центровых линий:
а – не правильно; б – правильно; в – на окружностях малых диаметров

На Ил. 5.7 приведен пример использования основных линий.



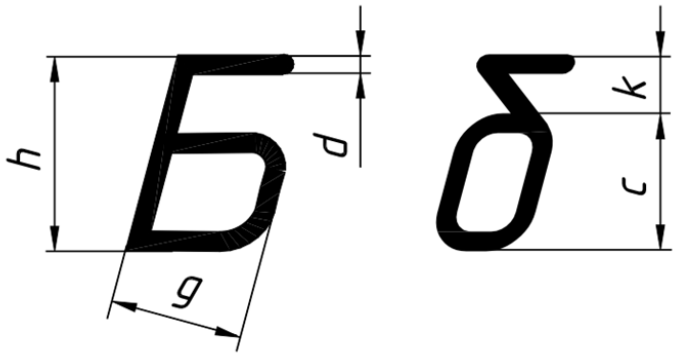
Ил. 5.7 – Чертеж детали с использованием основных чертежных линий

5.5. Шрифты чертежные

Чертежные шрифты для надписей, наносимых от руки на чертежи и другие технические документы, устанавливает стандарт ЕСКД ГОСТ 2.304–81. Шрифты чертежные.

Размер шрифта **h** определяется высотой прописных (заглавных) букв. Установлены следующие размеры шрифта: 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40. Высота прописных букв измеряется перпендикулярно к основанию строки.

Ширина буквы **g** определяется по отношению к размеру шрифта или по отношению к толщине линии обводки **d.** Высота строчных букв **c** определяется из отношения их высоты (без отростков **k**) к размеру шрифта **h**, например, **c**=7/10 **h** (Ил. 5.8).



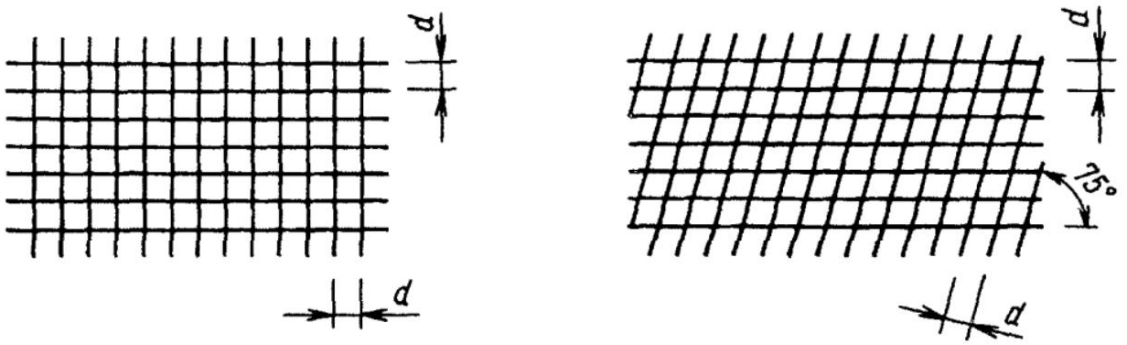
Ил. 5.8 – Параметры букв

ГОСТ 2.304–81 регламентирует следующие типы шрифта:
- тип А без наклона (d = h / 14);
- тип А с наклоном около 75˚ (d = h / 14);
- тип Б без наклона (d = h / 10);
- тип Б с наклоном около 75˚ (d = h / 10).

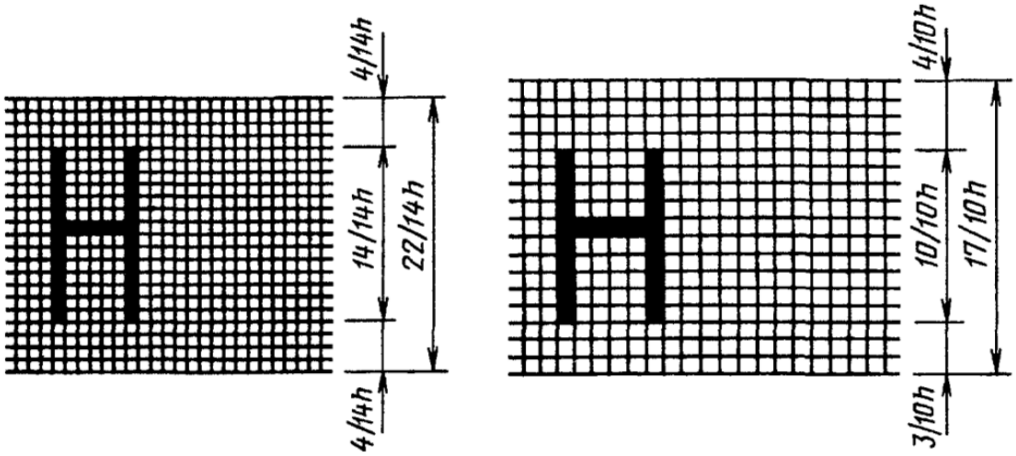
На учебных чертежах рекомендуется использовать шрифт типа Б с наклоном для размерных чисел и всех надписей.

Оформлять чертежи необходимо с использованием аккуратных надписей. Нечетко выполненные надписи могут быть непонятными при чтении чертежа. Для того чтобы научиться писать чертежным шрифтом, сначала для каждой буквы (или строчки букв) чертят вспомогательную сетку (Ил. 5.9). Сетку строят тонкими, едва заметными линиями остро заточенным твердым карандашом, что позволяет выдерживать точную конструкцию букв и цифр. После того, как приобретен навык написания гостированных букв и цифр, можно чертить только верхнюю и нижнюю линии строки. Контуры букв чертят тонкими линиями. Затем, если буквы написаны правильно, их обводят мягким карандашом.

Построение шрифта во вспомогательной сетке показано на Ил. 5.10.

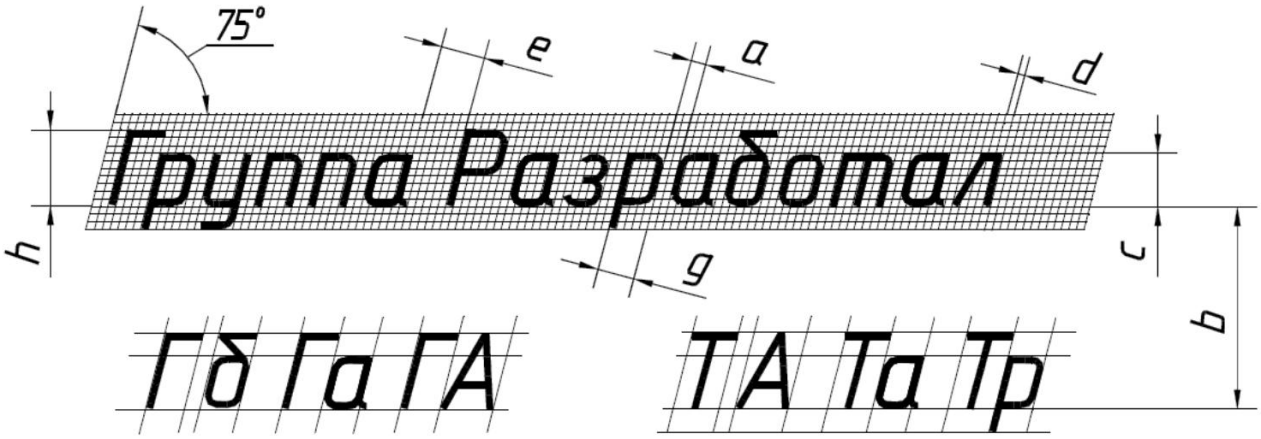


Ил. 5.9 – Пример вспомогательной сетки для шрифтов



Ил. 5.10 – Пример построения букв во вспомогательной сетке

Основные параметры шрифта – высоту строчных букв (**c**), ширину букв (**g**), толщину линии шрифта (**d**), расстояния между буквами (**a**), расстояния между словами (**e**), расстояния между строками (**b**) определяют в зависимости от высоты шрифта (**h**). Основные параметры шрифта приведены на Ил. 5.11 и в табл. 5.4, 5.5.



Ил. 5.11 – Основные параметры шрифта

Расстояние **a** между буквами, соседние линии которых не параллельны между собой (например, *ГА*, *АТ*), может быть уменьшено наполовину, т.е. на толщину **d** линии шрифта.

Минимальным расстоянием между словами **e**, разделенными знаком препинания, является расстояние между знаком препинания и следующим за ним словом.

Таблица 5.4

Основные параметры шрифта типа А (d = h/14)

Параметры шрифта	Размеры, мм								
Размер шрифта (**h**)	**2,5**	**3,5**	**5**	**7**	**10**	**14**	**20**	**28**	**40**
Высота прописных букв и цифр (**h**)	2,5	3,5	5	7	10	14	20	28	40
Высота строчных букв (**c**)	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14	20	28
Толщина линий шрифта (**d**)	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8
Ширина буквы (**g**)	1,1	1,5	2,1	3	4,2	6	8,4	12	16,8
Расстояние между буквами (**a**)	0,35	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7
Минимальный шаг строк (**b**)	4,0	5,5	8,0	11,0	16,0	22,0	31,0	44	61,6
Минимальное расстояние между словами (**e**)	1,1	1,5	2,1	3	4,2	6	8,4	12	16,8

Таблица 5.5

Основные параметры шрифта типа Б (d = h/10)

Параметры шрифта	Размеры, мм								
Размер шрифта (**h**)	**2,5**	**3,5**	**5**	**7**	**10**	**14**	**20**	**28**	**40**
Высота прописных букв и цифр (**h**)	2,5	3,5	5	7	10	14	20	28	40
Высота строчных букв (**c**)	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14	20	28
Толщина линий шрифта (**d**)	0,25	0,35	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0
Ширина буквы (**g**)	1,5	2,1	3	4,2	6	8,4	12	16,8	24
Расстояние между буквами (**a**)	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7	8
Минимальный шаг строк (**b**)	4,3	6,0	8,5	12,0	17,0	24,0	34,0	47,6	68
Минимальное расстояние между словами (**e**)	1,5	2,1	3	4,2	6	8,4	12	16,8	24

Ширина букв: Ж, Ф, Ъ, Ш, Щ – **8d**; ширина букв: А, Д, М, Х, Ы, Ю – **7d**; остальных – **6d.**

Высота цифр равна высоте прописных букв – **10d**. Ширина всех (кроме цифр 1 и 4) – **5d**; ширина цифры 4 – **6d**; ширина цифры 1 – **3d.**

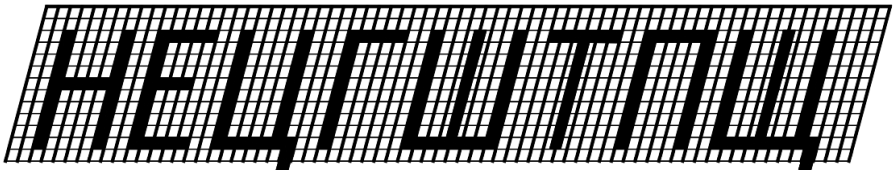
Высота строчных букв – **7d**. При построении шрифта по вспомогательной сетке следует учитывать разную ширину букв: буквы: ж, т, ф, ш, щ – **7d;**. буквы: м, ю, ы – **6d.**– остальные – **5d.**

Необходимо помнить, что расстояние между некоторыми буквами, например, Г и А, Г и Л уменьшается с **2d** до размера, равного толщине линии букв.

Минимальное расстояние между буквами в словах– **2d**. Минимальное расстояние между словами – **6d**. Минимальное расстояние между строчками текста – **17d.**

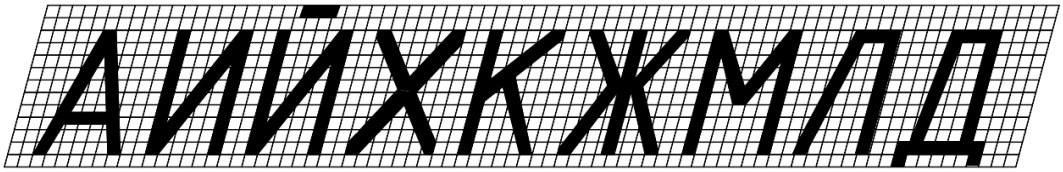
Буквы имеют свои особенности конструкции. Прописные (заглавные) буквы по их написанию можно разделить на четыре группы.

Буквы первой группы: Г, Н, П, Т, Ц, Е, Ш, Щ образованы прямолинейными элементами, расположенными горизонтально Ил.и под углом 75° к основанию строки (Ил. 5.12).



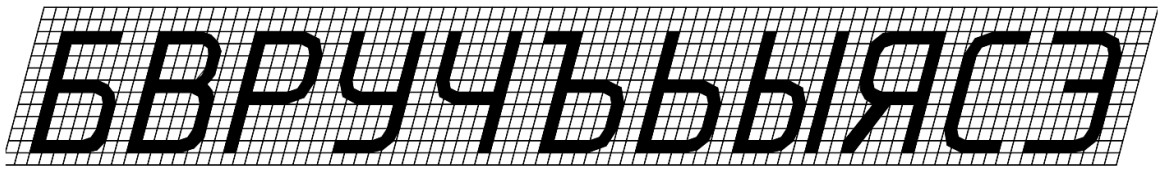
Ил. 5.12 – Форма букв первой группы

Буквы второй группы: А, И, Й, Х, К, Ж, М, Л, Д также образованы прямолинейными элементами, расположенными горизонтально Ил.и под углом 75° к основанию строки и наклонно Ил.и диагонально (Ил. 5.13).



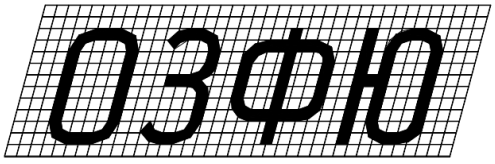
Ил. 5.13 – Форма букв второй группы

Буквы третьей группы: Б, В, Р, У, Ч, Ъ, Ы, Я, С, Э образованы прямолинейными и криволинейными элементами (Ил. 5.14).



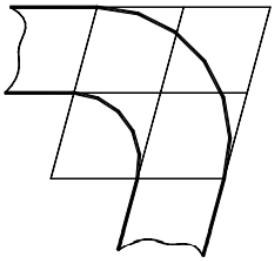
Ил. 5.14 – Форма букв третьей группы

Буквы четвертой группы: О, З, Ю, Ф в основном состоят из криволинейных элементов (Ил. 5.15).



Ил. 5.15 – Форма букв четвертой группы

Радиус закругления при формировании криволинейных элементов составляет две ячейки (2d). Пример выполнения элемента закругления представлен на Ил. 5.16.



Ил. 5.16 – Элемент закругления

Стандартное написание шрифтов приведено на Ил. 5.17 – 5.26.

Ил. 5.17 – Шрифт типа А с наклоном (русский алфавит)

Ил. 5.18 – Шрифт типа А без наклона (русский алфавит)

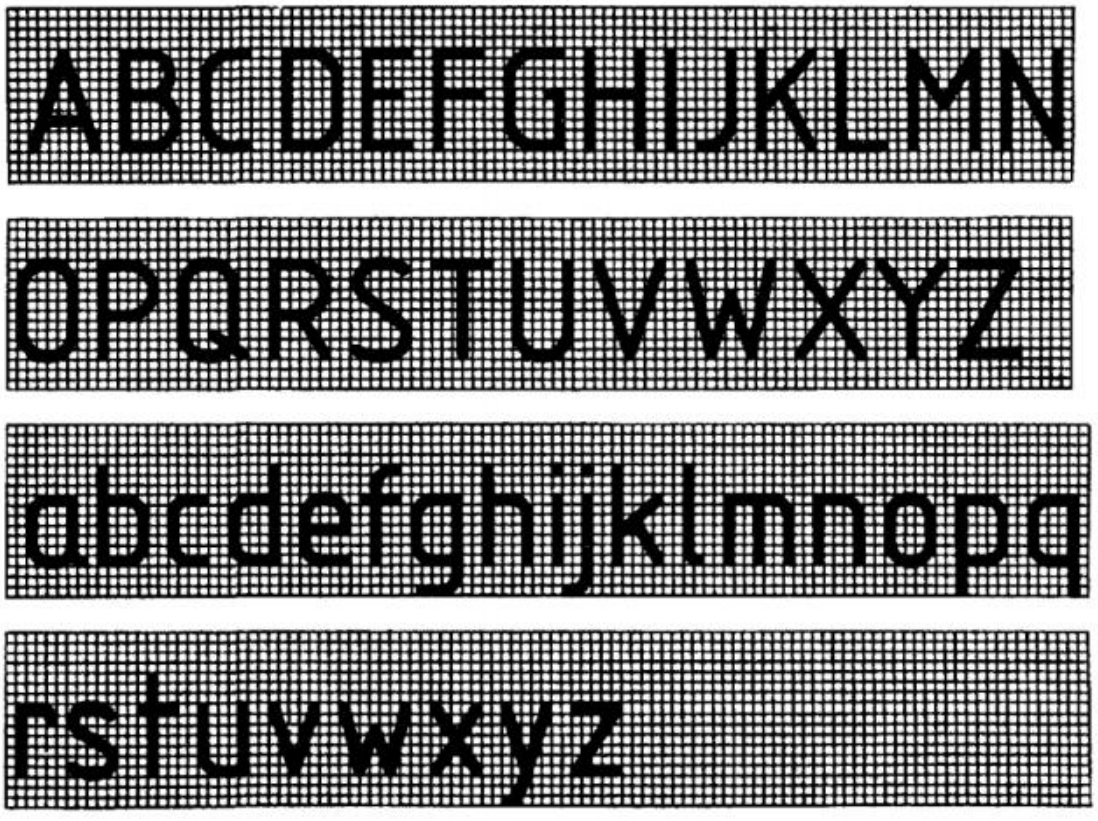
Ил. 5.19 – Шрифт типа А с наклоном (английский алфавит)

Ил. 5.20 – Шрифт типа А без наклона (английский алфавит)

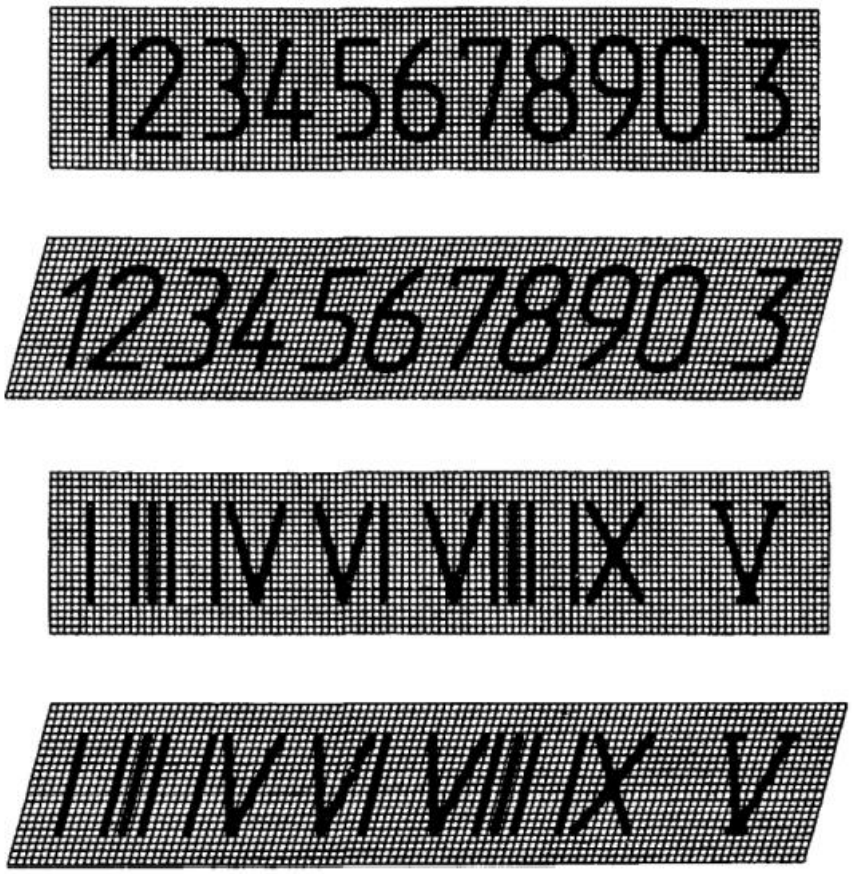
Ил. 5.21 – Шрифт типа Б с наклоном (русский алфавит)

Ил. 5.22 – Шрифт типа Б без наклона (русский алфавит)

Ил. 5.23 – Шрифт типа Б с наклоном (английский алфавит)



Ил. 5.24 – Шрифт типа Б без наклона (английский алфавит)



Ил. 5.25 – Шрифт типа А (арабские и римские цифры)

Ил. 5.26 – Шрифт типа Б (арабские и римские цифры)

5.6. Нанесение размеров на чертежах

Правила нанесения размеров на чертежах регламентируются ГОСТ 2.307-2011. Нанесение размеров и предельных отклонений.

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

Для уменьшения количества изображений и облегчения чтения чертежа применяют специальные знаки, приведенные в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Специальные знаки

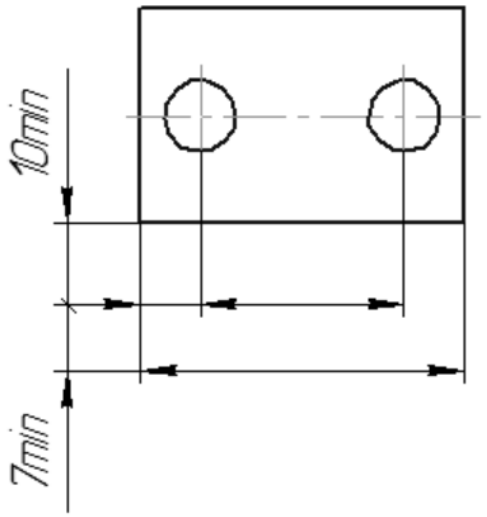
Обозначение знака	Обозначаемый параметр	Назначение знака
∅	Диаметр	Обозначение размера диаметра цилиндрической или конической поверхности. Знак представляет собой окружность, диаметром приблизительно равным высоте шрифта, перечеркнутую под углом 45°.
○	Сфера	Обозначение размера радиуса сферической поверхности (диаметр знака приблизительно равен высоте шрифта).
□	Квадрат	Обозначение размера квадратной призмы (размер знака приблизительно равен высоте шрифта).
R	Радиус	Обозначение размера радиуса дуги скруглений, сгибов, сопряжений.
l	Длина	Длина детали при изображении в одной проекции.
s	Толщина	Толщина детали при изображении в одной проекции.
	Конусность	Один из параметров определения конической поверхности. Знак конусности наносят над осевой линей или на полке линии выноски перед соотношением, определяющим конусность. Острый угол знака направлен в сторону вершины конуса. Рассчитывается конусность как отношение разности большего и меньшего диаметра конуса к длине конуса (D-d) / *l*, приведенное к нормальной дроби, например 1:5.
	Уклон	Знак наносят непосредственно у изображения поверхности уклона или на полке линии выноски перед размерным числом, определяющим уклон. Уклон определяется в виде соотношения, в процентах или промилле. Острый угол знака направлен в сторону уклона.

Размер состоит из выносных линий, размерной линии, ограниченной стрелками, и размерного текста.

При указании размеров прямолинейных отрезков размерные линии проводят параллельно этим отрезкам на расстоянии не менее 10 мм от линии контура и 7 мм друг от друга, а выносные линии проводят перпендикулярно размерным. Выносные линии должны выходить за концы стрелок размерной линии на 1…5 мм. Стрелка размерной линии должна иметь длину не менее 2,5 мм и угол при вершине около 20° (Ил. 5.27).

Если на размерной линии недостаточно места для стрелок, размерную линию продолжают за выносные и стрелки наносят снаружи.

Размеры и форма стрелок должна быть одинаковыми на всем чертеже.



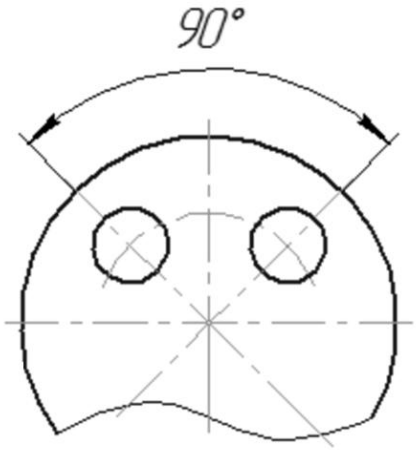
Ил. 5.27 – Оформление выносных линий

Основное правило нанесения размеров – группирование размеров, относящихся к одному геометрическому элементу на одном изображении, на том, на котором данный элемент наиболее наглядно представлен. Не всегда это удается выполнить, но к этому всегда стремимся.

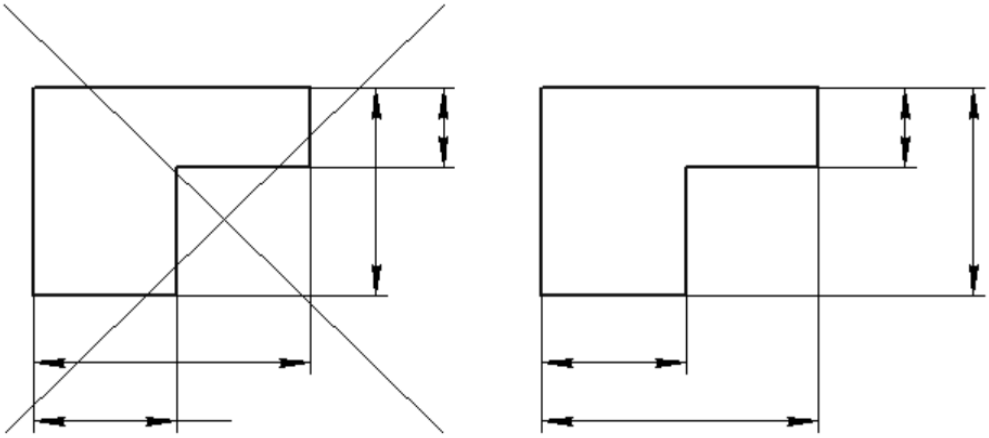
При указании размера угла размерную линию проводят в виде дуги с центром в его вершине, а выносные линии – радиально (Ил. 5.28).

Размерные линии предпочтительно наносить вне контура изображения. Не допускается использование линии контура, осевые, центровые и выносные линии в качестве размерных. Недопустимо пересечение размерных и выносных линий.

Меньшие размеры следует размещать ближе к контуру детали, число пересечений размерных и выносных линий при этом сократится, что облегчит чтение чертежа (Ил. 5.29).



Ил. 5.28 – Оформление размера угла

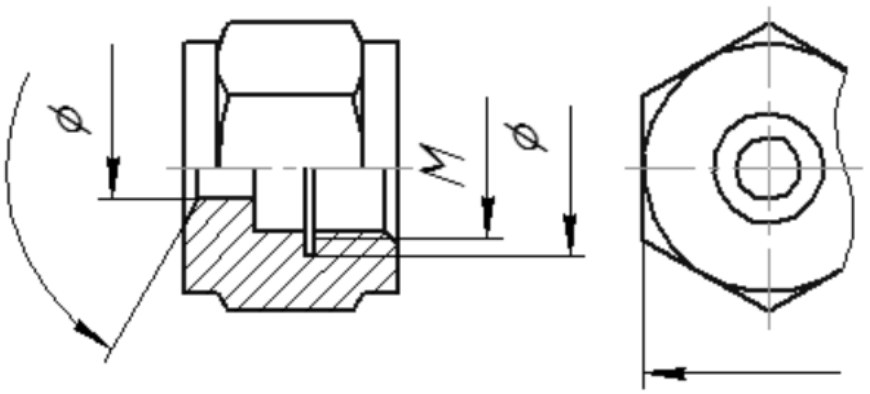


а б

Ил. 5.29 – Нанесение размерных линий на чертеже:
а – не правильно; б – правильно

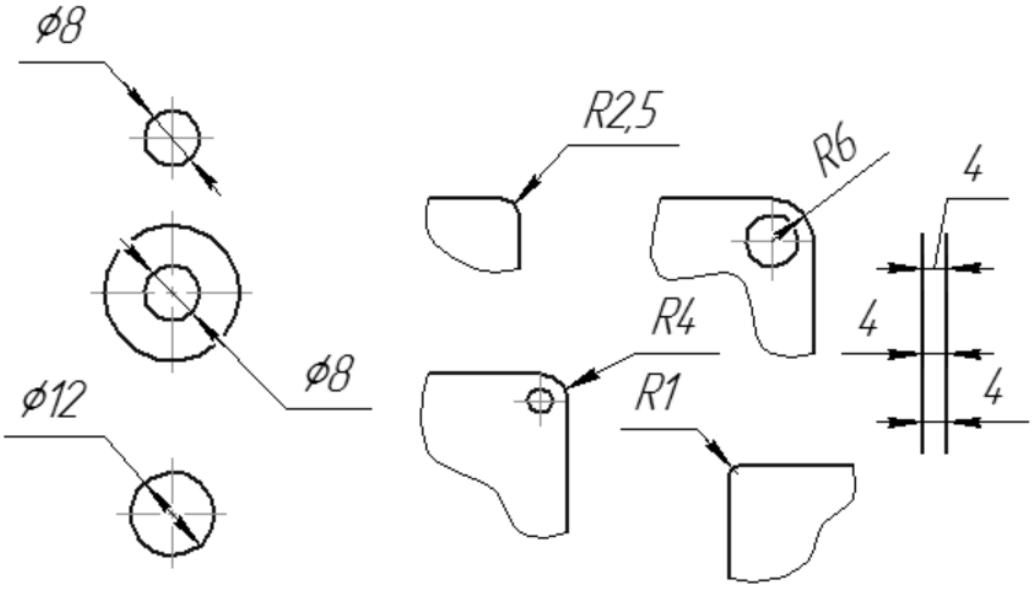
Размерную линию проводят с обрывом, если с одной стороны изображения нет возможности провести выносную линию, например, в случае совмещения вида и разреза (Ил. 5.30,а), а также, если вид или разрез симметричного предмета изображают только до оси или с обрывом (Ил. 5.30,б). Обрыв размерной линии делают дальше оси или линии обрыва предмета.

Если нет возможности разместить размерные числа и стрелки между близко расположенными сплошными основными или тонкими линиями, их наносят снаружи. Аналогично поступают при нанесении размера радиуса, если стрелка не помещается между кривой и центром радиуса (Ил. 5.31).



а б

Ил. 5.30 – Нанесение размерных линий с обрывом:
а – совмещения вида и разреза; б – вид с обрывом

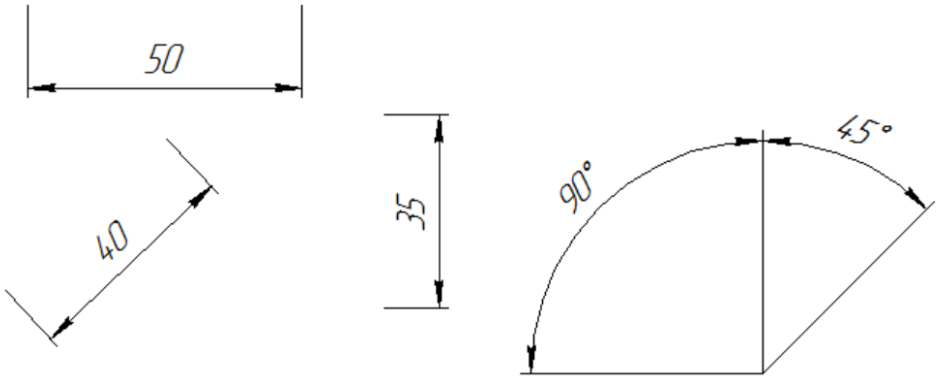


Ил. 5.31 – Нанесение размерных чисел и стрелок снаружи

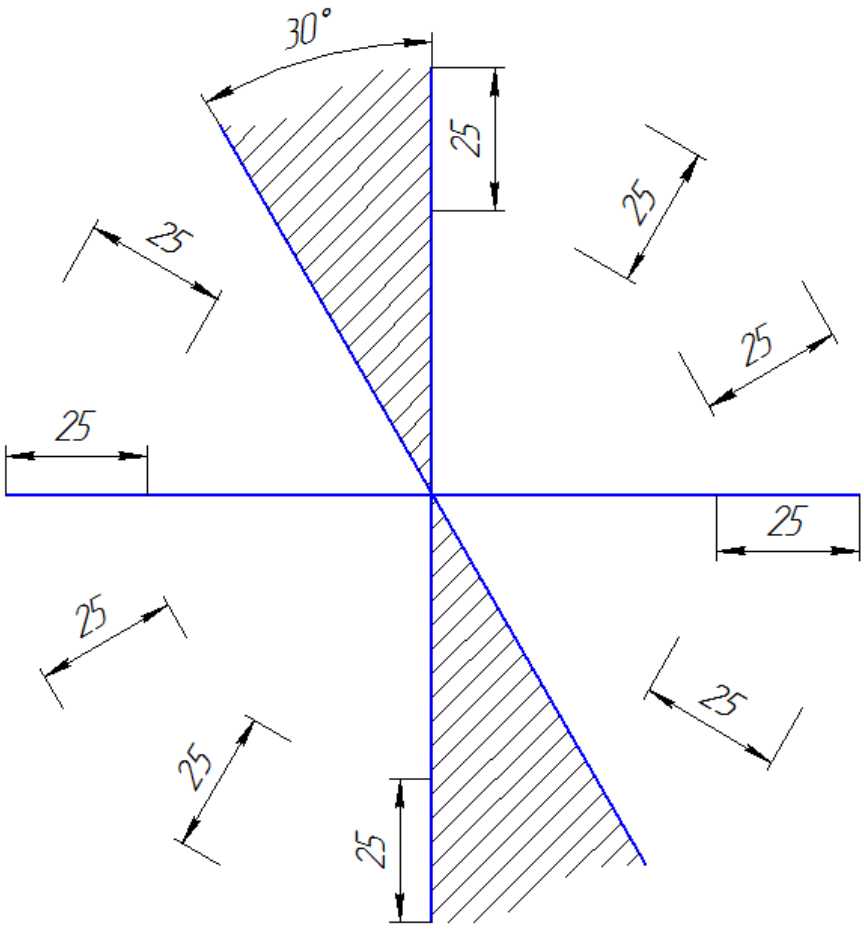
Размерные числа следует наносить над размерной линией, по возможности ближе к её середине (Ил. 5.32).

Размерные числа линейных размеров при различных наклонах размерных линий располагают, как показано на Ил. 5.33.

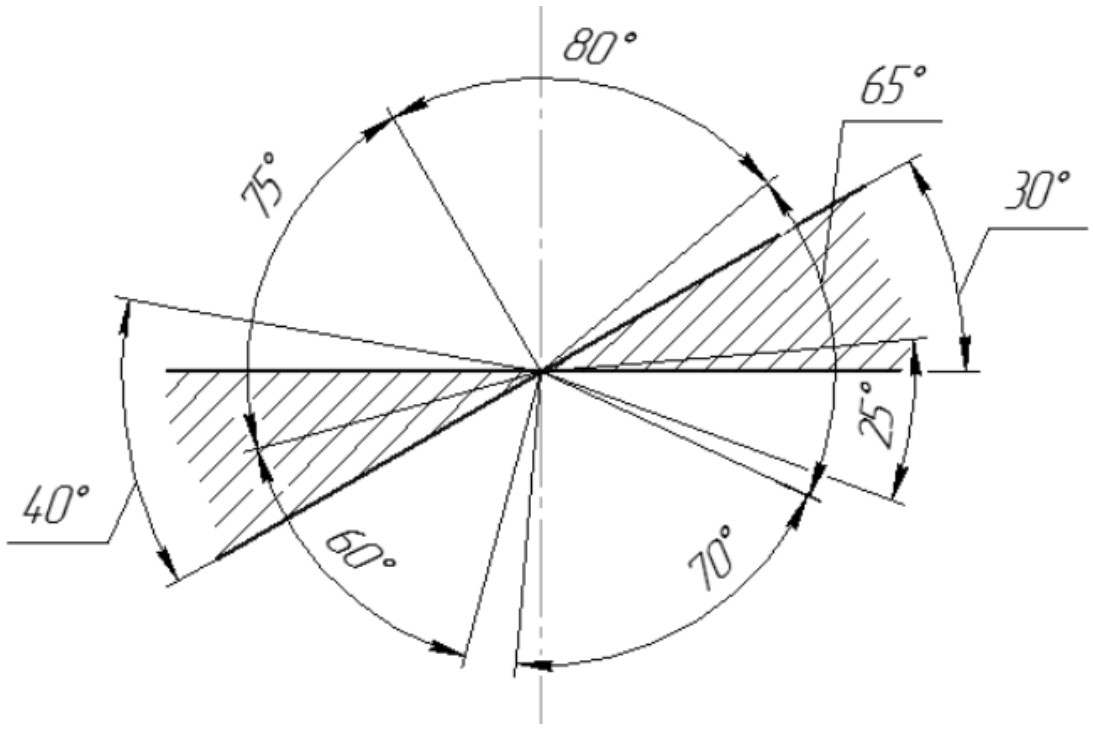
Если необходимо указать линейные размеры заштрихованной зоны, то соответствующее размерное число наносят на полке линии – выноски. Угловые размеры заштрихованной зоны наносят так, как показано на Ил. 5.34.



Ил. 5.32 – Нанесение размерных чисел



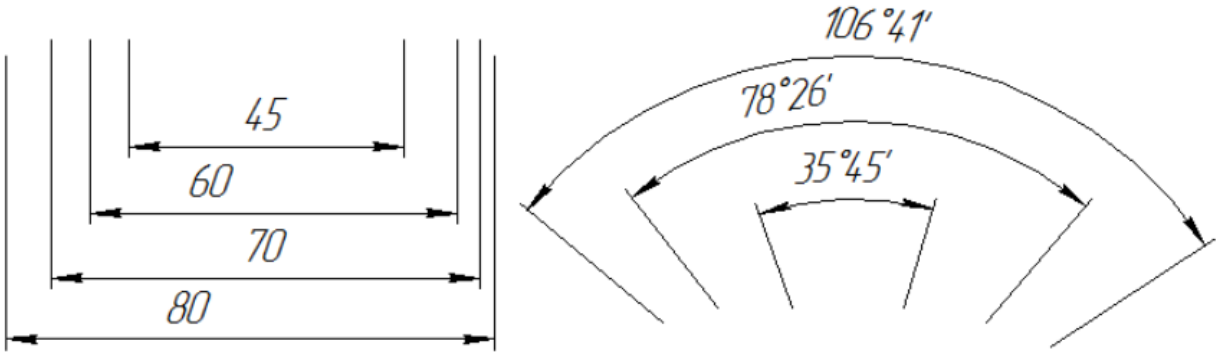
Ил. 5.33 – Нанесение размерных чисел линейных размеров при различных наклонах размерных линий



Ил. 5.34 – Нанесение угловых размеров

В зоне, расположенной выше горизонтальной осевой линии, размерные числа помещают над размерными линиями со стороны их выпуклости; в зоне, расположенной ниже горизонтальной осевой линии – со стороны вогнутости размерной линии.

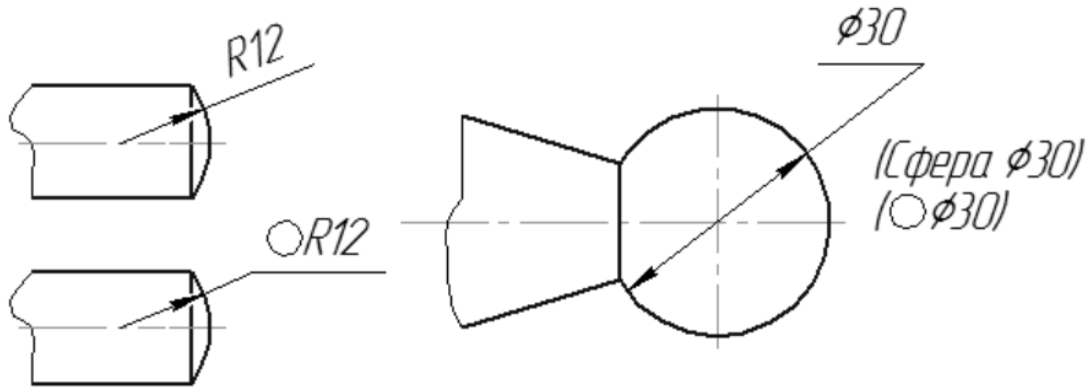
Размерные числа над параллельными размерными линиями следует располагать в шахматном порядке (Ил. 5.35).



Ил. 5.35 – Нанесение размеров над параллельными размерными линиями

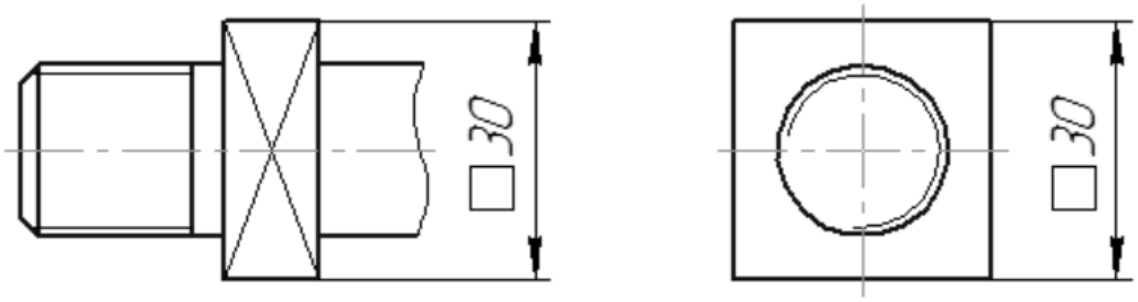
При указании размера диаметра во всех случаях перед размерным числом наносят знак Ø. Перед размерным числом диаметра (радиуса) сферы также наносят знак Ø (R) без надписи «Сфера» (Ил. 5.36). Если на чертеже трудно отличить сферу от других поверхностей, допускается наносить слово «Сфера»

или знак ○, например, «Сфера Ø18, или ○R12» (Ил. 5.37). Диаметр знака сферы равен высоте размерных чисел на чертеже.



Ил. 5.36 – Пример нанесения размера диаметра и сферы

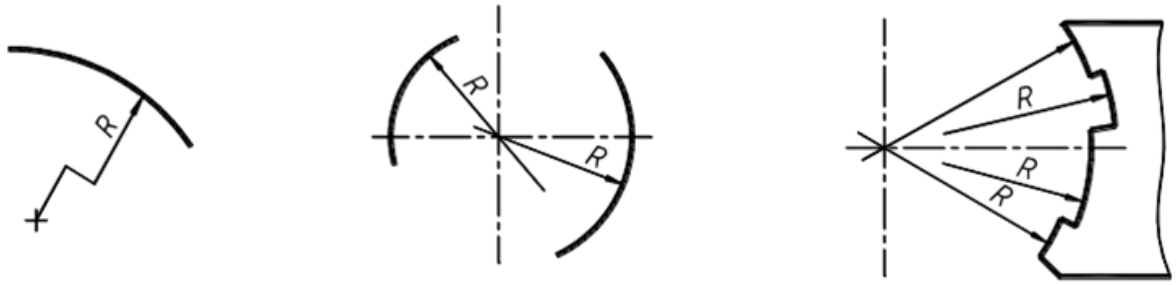
Размеры квадрата наносят, как показано на чертеже (Ил. 4.37). Высота знака должна быть равна высоте размерных чисел на чертеже.



Ил. 5.37 – Пример нанесения размера диаметра

При нанесении размера радиуса перед размерным числом помещают прописную букву R. Если положение центра не указывается, допускается размерную линию не доводить до центра и смещать ее относительно центра. При большей величине радиуса центр допускается приближать к дуге, в этом случае размерную линию радиуса показывать с изломом под углом 90° (Ил. 5.38,а).

При проведении нескольких радиусов из одного центра размерные линии не располагают на одной прямой (Ил. 5.38,б), а также не доводят до центра, кроме крайних (Ил. 5.38,в).

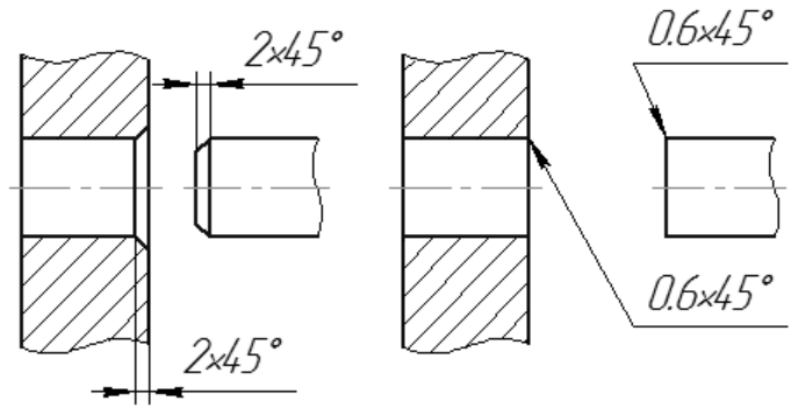


а б в

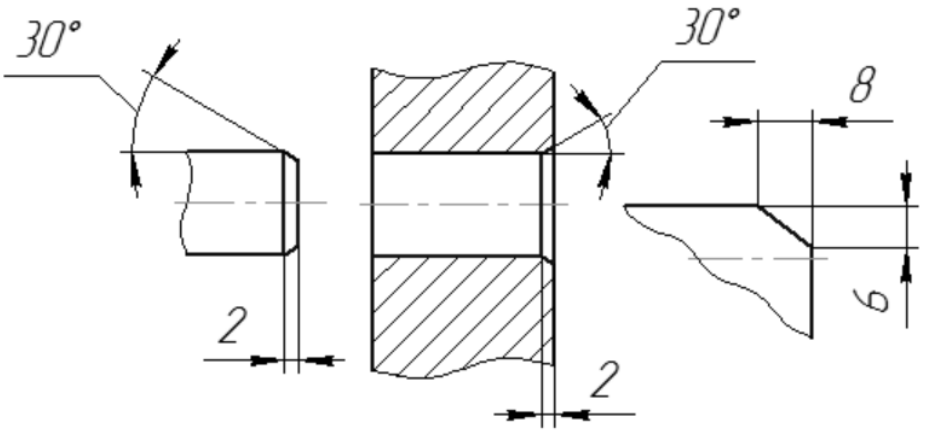
Ил. 5.38 – Пример нанесения размера радиуса:
а – с изломом; б – двух радиусов; в – трех и более радиусов

Размеры фасок под углом 45° оформляют путем нанесения линейного и углового размеров. Допускается фаску под углом 45°, размер которой в масштабе чертежа 1 мм и менее, не изображать и размеры ее указывать на полке линии – выноске (Ил. 5.39,а).

Размеры фасок, имеющих другие углы, наносят по общим правилам – двумя линейными размерами или линейным и угловым размерами (Ил. 5.39,б).



а

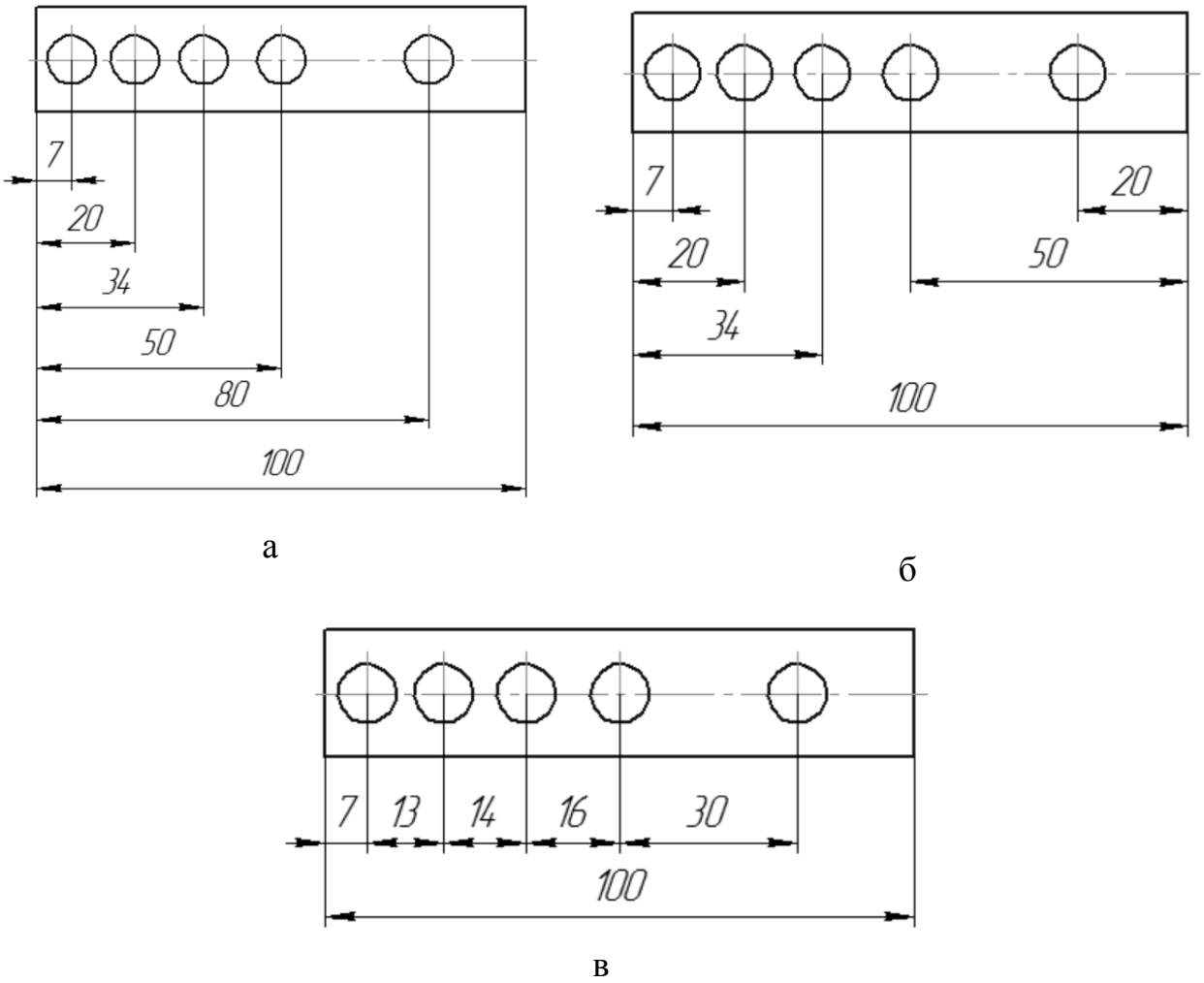


б

Ил. 5.39 – Пример нанесения размеров фасок:
а – угол фаски 45°; б – иной угол фаски

Поверхности, от которых задают размеры других элементов детали, называют базовыми поверхностями или базами. Существует несколько способов нанесения размеров:

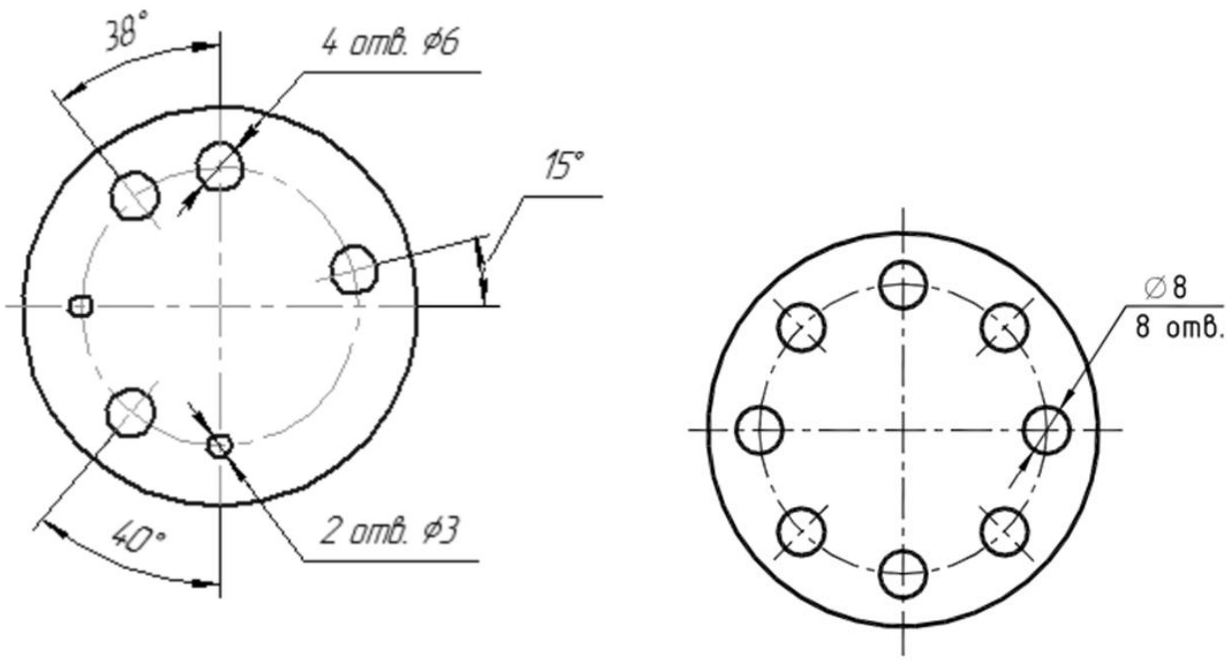
1. От общей базы. На примере в качестве базовой поверхности выбрана левая поверхность планки, от которой проставлены размеры всех отверстий (Ил. 5.40,а). Такая система имеет преимущество, но при этом размеры являются независимыми друг от друга, ошибка одного из них не отражается на других.
2. От нескольких баз (Ил. 5.40,б).
3. Цепочкой (Ил. 5.40,в).



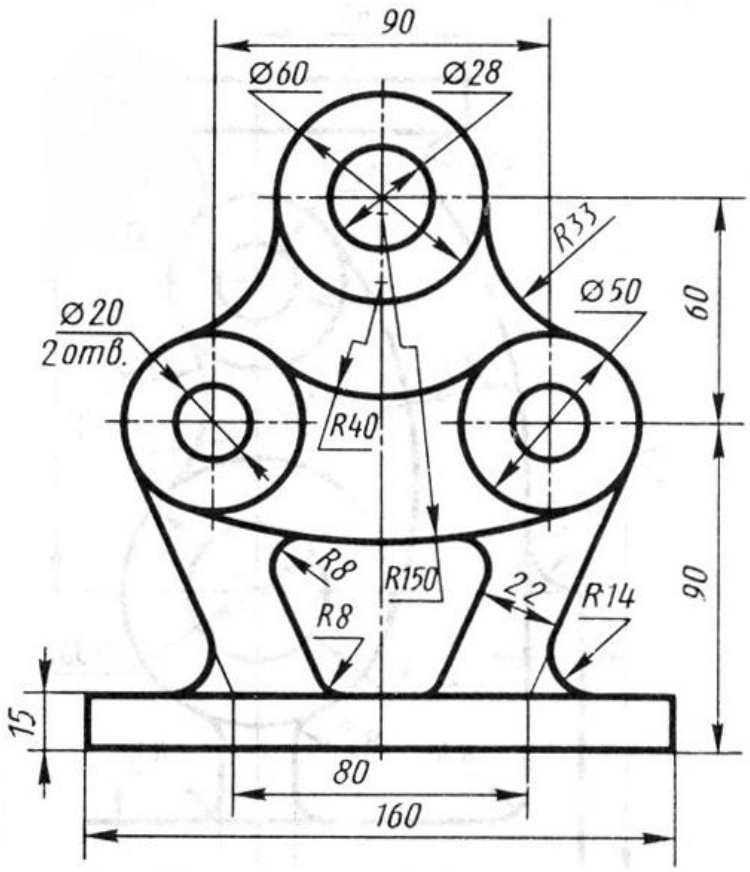
Ил. 5.40 – Способы нанесения размеров:
а – от общей базы; б – от нескольких баз; в – цепочкой

Размеры нескольких одинаковых элементов изделия, как правило, наносят один раз с указанием на полке линии-выноски количества этих элементов. При нанесении размеров элементов, равномерно расположенных по окружности (например, отверстий), вместо угловых размеров, определяющих взаимное расположение элементов, указывают только их количество (Ил. 5.41).

На Ил. 5.42 представлен пример нанесения размеров на чертеже детали сложной формы.



Ил. 5.41 – Способы нанесения размеров нескольких одинаковых элементов



Ил. 5.42 – Пример нанесения размеров на чертеже детали сложной формы

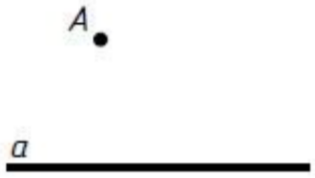
6. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ

Для того, чтобы построить чертеж детали, провести плоскостную разметку для изготовления или обработки детали, необходимо выполнить ряд геометрических построений.

Геометрическими построениями называют графические способы решения любой практической задачи, при которых все действия производятся чертежными или разметочными инструментами.

6.1. Построение параллельных прямых

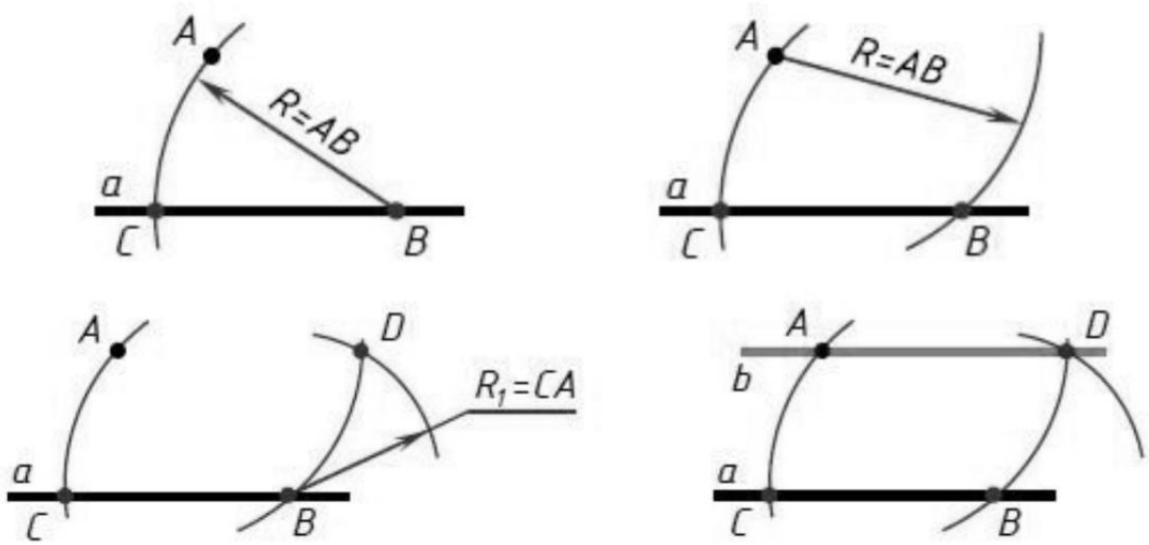
Даны прямая *a* и точка *A*. Точка *A* не лежит на прямой *a* (Ил. 6.1).



Ил. 6.1 – Исходные данные для построения параллельных прямых

Построение параллельных прямых с помощью циркуля выполняется согласно Ил. 6.2.

1. Отметим на прямой *a* произвольную точку *B*. Из центра *B* проводим дугу радиуса *R=AB*. Получаем точку *C* на прямой *a*.
2. Из центра *A* проводим дугу радиуса *R=AB*.
3. Из центра *B* проводим дугу радиуса $R_1=CA$, получаем точку *D*.
4. Через точки *A* и *D* проводим прямую *b*. Получаем линию *b*, перпендикулярную линии *a*.

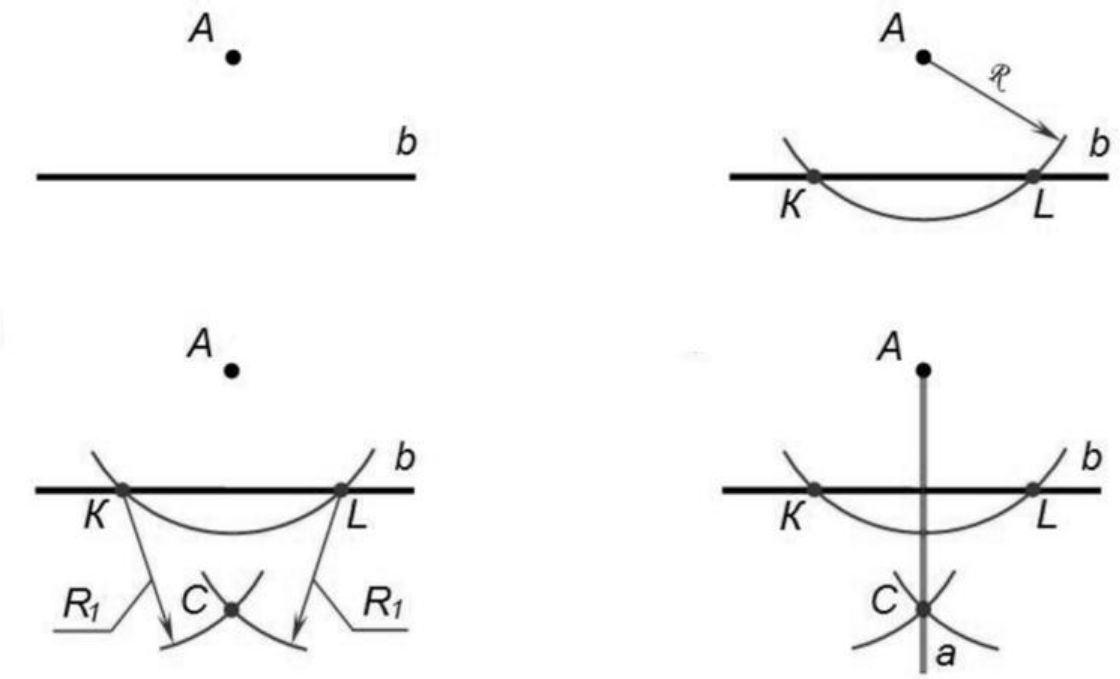


Ил. 6.2 – Порядок построения параллельных прямых

6.2. Построение перпендикуляра к прямой из точки, лежащей вне прямой

Порядок построения перпендикуляра к прямой из точки, лежащей вне прямой показан на Ил. 6.3.

1. Из заданной точки *C*, как из центра, проводим дугу окружности произвольного радиуса *R*, пересекающую прямую *a* в точках *1* и *2*.
2. Из точек *1* и *2* проводим дуги окружностей произвольного радиуса R_1 до взаимного пересечения в точке *D*.
3. Через точки *C* и *D* проводим прямую линию. Линия *CD* перпендикулярна к заданной прямой *a*.

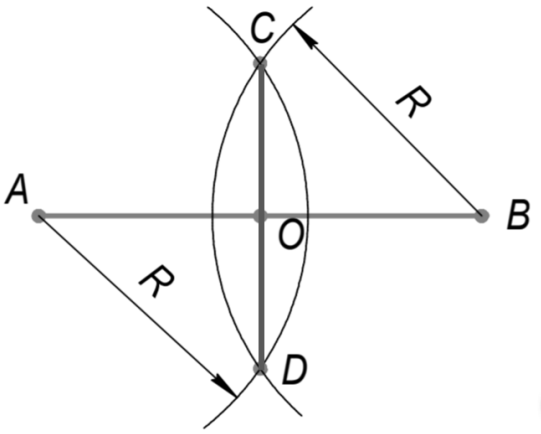


Ил. 6.3 – Порядок построения перпендикуляра к прямой из точки, лежащей вне прямой

6.3. Построение перпендикуляра к середине отрезка

Порядок построения перпендикуляра к середине отрезка показан на Ил. 6.4.

1. Из концов отрезка *AB* проводим дуги радиусом *R*, величиной большей, чем половина отрезка.
2. Точки пересечения дуг соединяем прямой линией *CD*. Линия *CD* является перпендикуляром к отрезку *AB*, точка *O* – середина отрезка.

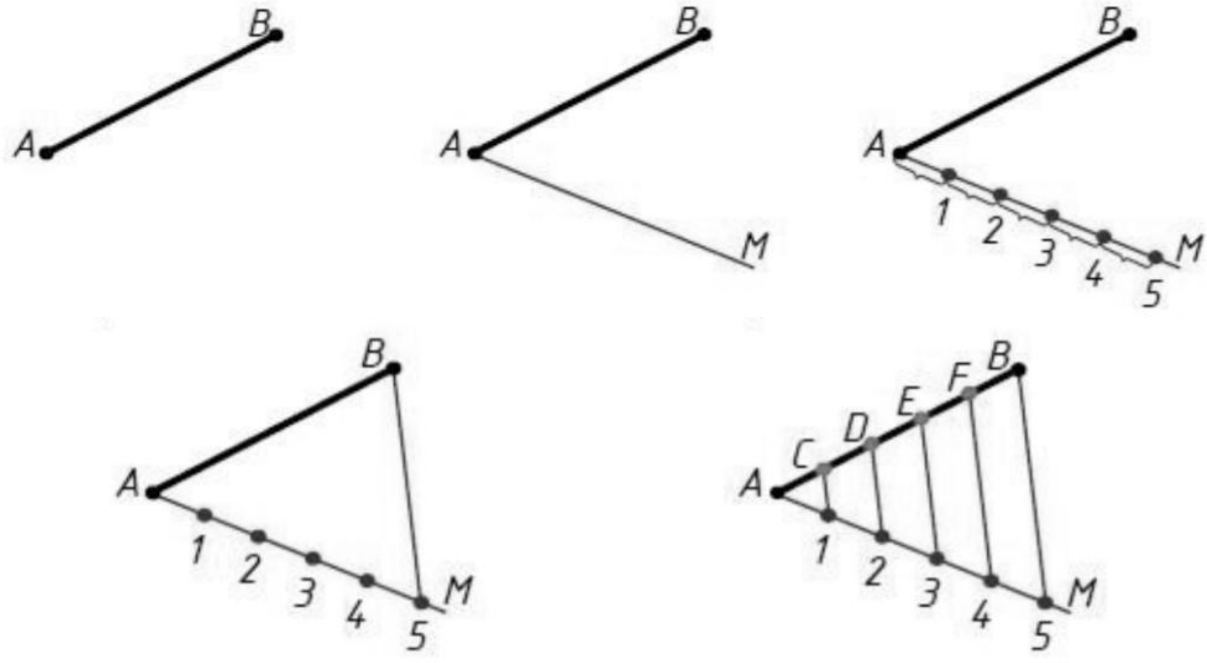


Ил. 6.4 – Порядок построения перпендикуляра к середине отрезка

6.4. Деление отрезка на любое число равных частей

Деление отрезка прямой на пять равных частей показано на Ил. 6.5.

1. Дан отрезок *AB*.
2. Из точки *A* проводим луч *AM* произвольной длины. Для повышения точности построения рекомендуется луч *AM* проводить длиной, большей, чем длина отрезка *AM*.
3. На луче *AM* от точки *A* откладываем пять равных отрезков. Длину отрезков берем произвольно. Отмечаем точки *1, 2, 3, 4, 5*.
4. Точку 5 соединяем с точкой *B* прямой линией.
5. Через точки *1, 2, 3, 4* проводим прямые, параллельные прямой *B5* до пересечения с отрезком *AB*. Получаем точки *F, E, D, C*, которые делят отрезок *AB* на пять равных частей, *AC=CD=DE=EF=FB*.



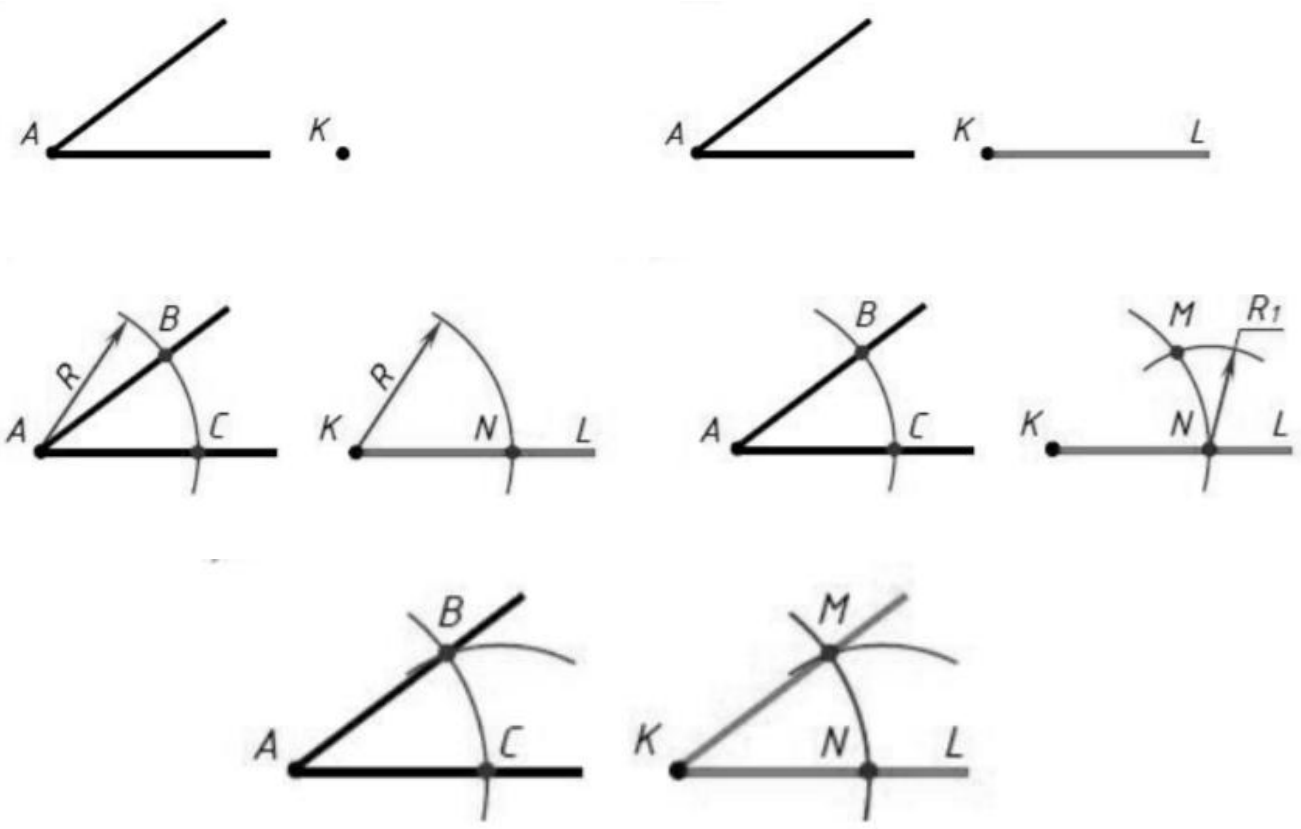
Ил. 6.5 – Деление отрезка на равные части

Представленным способом можно разделить отрезок на любое количество равных частей.

6.5. Построение угла, равного заданному углу

Порядок построения угла, равного заданному углу, показано на Ил. 6.6.

1. Даны угол *A* и точка *K*.
2. Из точки *K* проводим луч *KL*. Это одна сторона искомого угла.
3. Из центров *A* и *K* проводим дуги радиуса *R*. Радиус *R* берем произвольно. На сторонах угла *A* получаем точки *B* и *C*, а на луче *KL* – точку *N*.
4. Из центра *N* проводим дугу радиуса $R_1=BC$, получаем точку *M*.
5. Через точки *K* и *M* проводим прямую, которая является второй стороной искомого угла. Получаем $\angle MKN = \angle BAC$.



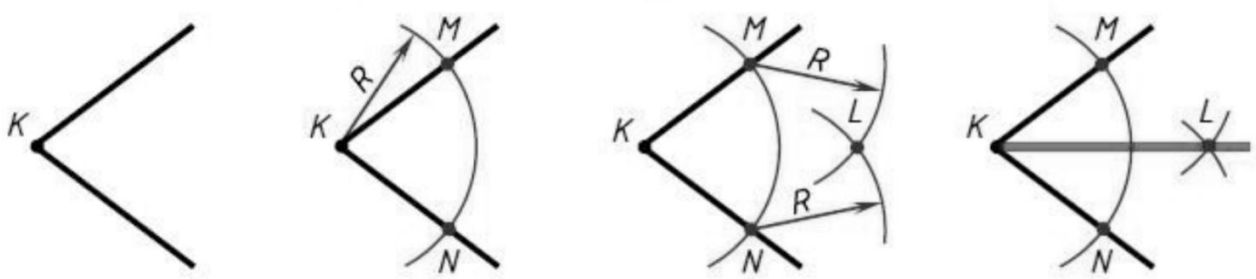
Ил. 6.6 – Построение угла, равного заданному углу

6.6. Построение биссектрисы угла

Порядок построения биссектрисы угла показан на Ил. 6.7.

1. Дан угол *K*.

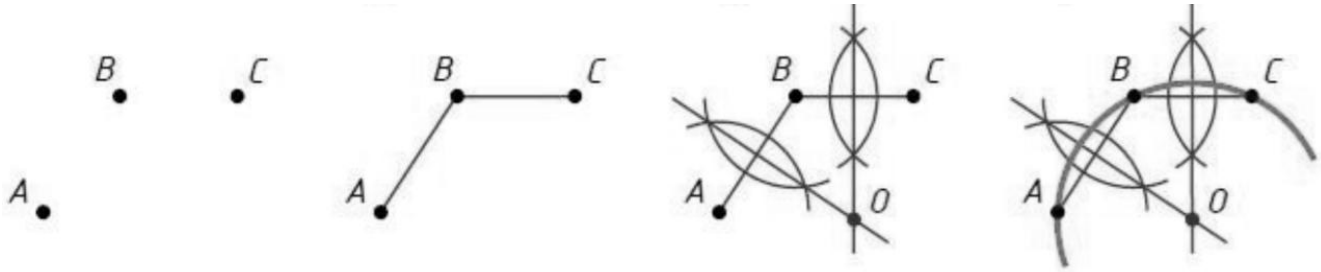
2. Из центра *K* проводим дугу радиуса *R*. Радиус *R* берем произвольно. Дуга пересекает стороны угла в точках *M* и *N*.
3. Из центров *M* и *N* проводим дуги радиуса *R*. Дуги пересекаются в точке *L*.
4. Из точки *K* – вершины угла проводим луч *KL*. Луч *KL* есть биссектриса угла *K*, а $\angle LKM = \angle LKN$.



Ил. 6.7 – Построение биссектрисы угла

6.7. Построение дуги окружности через три точки

Порядок построения дуги окружности через три точки показан на Ил. 6.8.
1. Даны точки *A, B, C*.
2. Соединяем прямыми линиями точку *A* с точкой *B* и точку *B* с точкой *C*. Получаем отрезки *AB* и *BC*.
3. Проводим перпендикуляры к серединам отрезков *AB* и *BC*. Перпендикуляры пересекаются в точке *O*. Точка *O* есть центр дуги окружности, которая проходит через точки *A, B, C*.

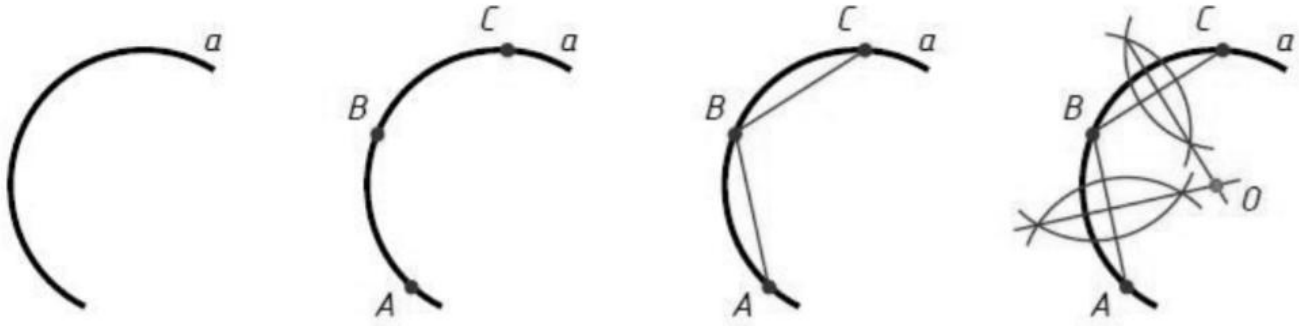


Ил. 6.8 – Построение дуги окружности через три точки

6.8. Построение центра дуги окружности

Порядок построения центра дуги окружности показан на Ил. 6.9.
1. Дана дуга *a*.
2. На дуге *a* произвольно отмечаем три точки *A, B, C*.
3. Проводим хорды *AB* и *BC*.

4. Проводим перпендикуляры к серединам отрезков *AB* и *BC*. Перпендикуляры пересекаются в точке *O*. Точка *O* есть центр дуги *a*.

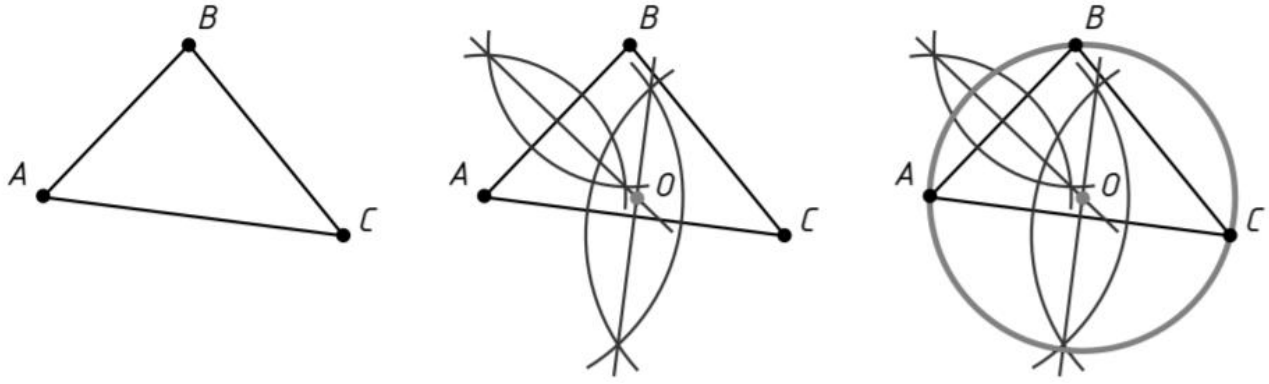


Ил. 6.9 – Построение центра дуги окружности

6.9. Построение центра окружности, описанной вокруг треугольника

Порядок построения центра окружности, описанной вокруг треугольника, показан на Ил. 6.10.

1. Дан треугольник *ABC*.
2. Проводим перпендикуляры к серединам сторон треугольника, например, к сторонам *AB* и *BC* согласно методике, представленной в п. 6.2. Перпендикуляры пересекаются в точке *O*.
3. Точка *O* есть центр окружности, описанной вокруг треугольника *ABC*.



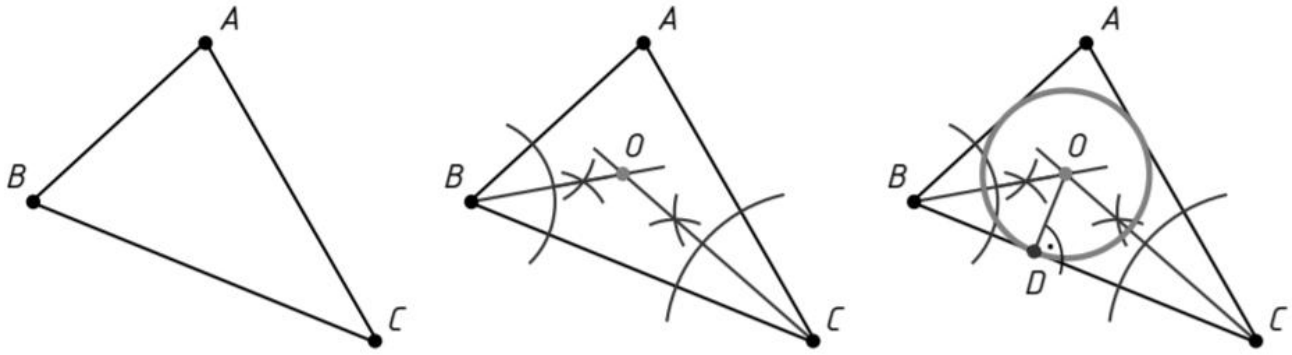
Ил. 6.10 – Построение центра окружности, описанной вокруг треугольника

6.10. Построение центра окружности, вписанной в треугольник

Порядок построения центра окружности, вписанной в треугольник, показан на Ил. 6.11.

1. Дан треугольник *ABC*.

2. Строим биссектрисы углов треугольника, например, углов *A* и *B* согласно методике, представленной в п. 6.6. Точка пересечения биссектрисы – точка *O* есть центр окружности, вписанной в треугольник *ABC*.
3. Из точки *O* опускаем перпендикуляр на любую сторону треугольника, например, на сторону BC согласно методике, представленной в п. 6.2. Получаем точку *D*. Отрезок *OD* есть радиус окружности, вписанной в треугольник.

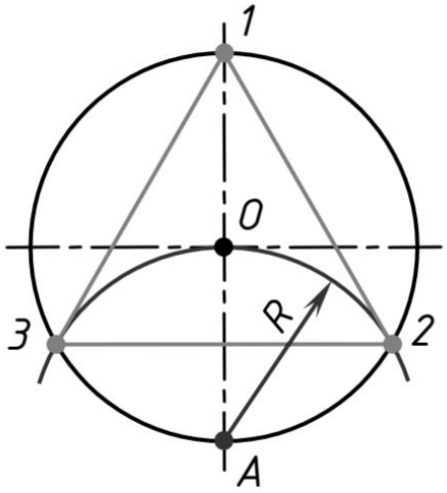


Ил. 6.11 – Построение центра окружности, вписанной в треугольник

6.11. Деление окружности на три равные части

Зачастую на чертежах требуется разделение окружности на равные части. Деление окружности на три равные части показано на Ил. 6.12.
1. Отмечаем точки, которые являются концами диаметра окружности, например, точки *1* и *A*.
2. Из центра *A* проводим дугу радиуса *R=AO*. Пересечение дуги с окружностью дает две точки *2* и *3*. Точки *1, 2, 3* делят окружность на три равные части.

По данной методике можно вписать в окружность правильный равносторонний треугольник, соединив прямыми линиями точки *1, 2, 3*.

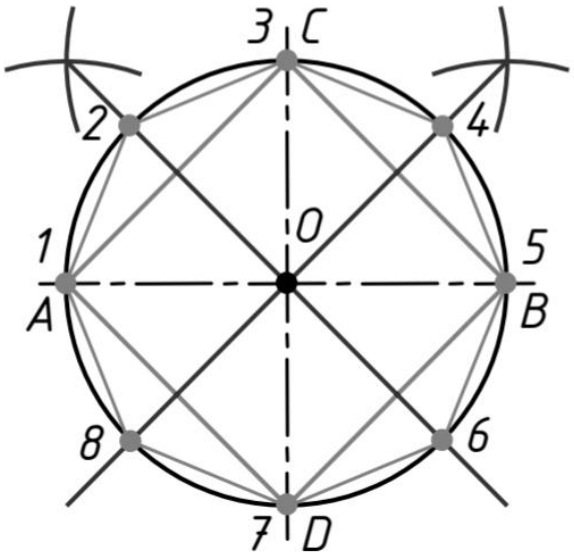


Ил. 6.12 – Деление окружности на три равные части

6.12. Деление окружности на четыре и восемь равных частей

Деление окружности на четыре и восемь равных частей показано на Ил. 6.13.

1. Взаимно перпендикулярные диаметры делят окружность на четыре равные части, например, диаметры *AB* и *CD*. Построение перпендикуляров производится по методике, изложенной в п. 6.3. Соединяем прямыми линиями точки *A, B, C, D* и получаем квадрат, вписанный в окружность.
2. Проводим биссектрисы углов *AOC* и *BOC* согласно методике, изложенной в п. 6.6. Получаем точки *1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,* которые делят окружность на восемь равных частей. Соединяем прямыми линиями точки *1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.* Получаем правильный восьмиугольник, вписанный в окружность.

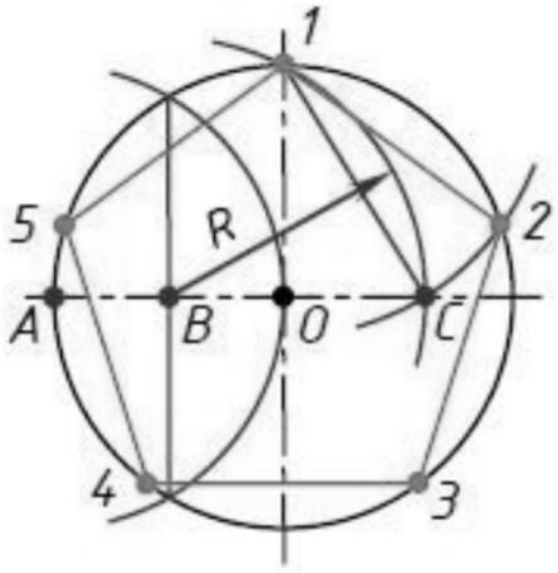


Ил. 6.13 – Деление окружности на четыре и восемь равных частей

6.13. Деление окружности на пять равных частей

Деление окружности на пять равных частей показано на Ил. 6.14.

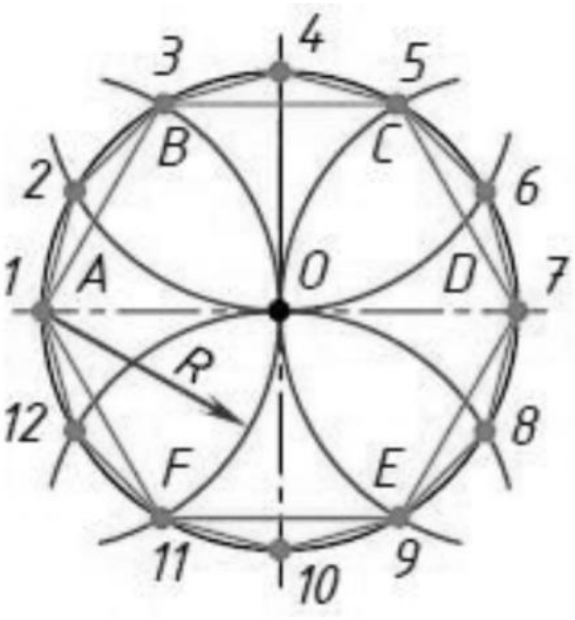
1. Отмечаем точку *1*, которая является концом вертикального диаметра окружности. Делим радиус *OA* на две равные части, для чего проводим вспомогательную дугу радиусом *OA*. Соединив точки пересечения вспомогательной дуги с основной окружностью, получим на пересечении с горизонтальной осью точку *B*. Из центра *B* проводим дугу радиуса *R=B1*. Дуга пересекает горизонтальный диаметр окружности в точке *C*. От точки *1* по заданной окружности откладываем хорды, которые равны отрезку *1C*. Получаем точки *2, 3, 4, 5*, которые делят окружность на пять равных частей. Соединив прямыми линиями точки *1, 2, 3, 4, 5*, получаем правильный пятиугольник, вписанный в окружность.



Ил. 6.14 – Деление окружности на пять равных частей

6.14. Деление окружности на шесть и двенадцать равных частей

Деление окружности на шесть и двенадцать равных частей показано на Ил. 6.15.



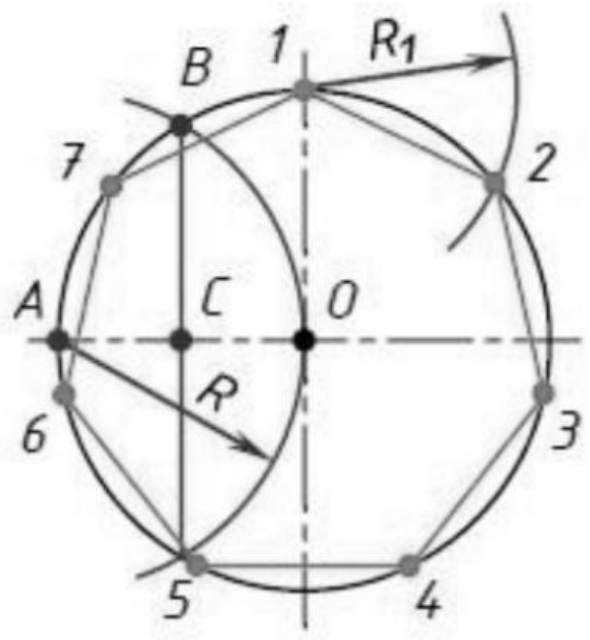
Ил. 6.15 – Деление окружности на шесть и двенадцать равных частей

1. Отмечаем точки *A* и *D*, которые являются концами горизонтального диаметра окружности. Из центров точек *A* и *D* проводим дуги радиуса *R*. Радиус *R* равен радиусу данной окружности. Получаем точки *B, F, C, E*. Точки *A, B, C, D, E, F* делят окружность на шесть равных частей. Соединив прямыми линиями точки *A, B, C, D, E, F*, получаем правильный шестиугольник, вписанный в окружность.
2. Из центров *1, 4, 7* и *10*, которые являются концами двух взаимно перпендикулярных диаметров окружности, проводим дуги радиуса *R*. Радиус *R* равен радиусу данной окружности. Получаем точки *1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12*, которые делят окружность на двенадцать равных частей. Соединив прямыми линиями точки *1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12*, получаем правильный двенадцатиугольник, вписанный в окружность.

6.15. Деление окружности на семь равных частей

Деление окружности на семь равных частей показано на Ил. 6.16.

Отмечаем точку *1*, которая является концом вертикального диаметра окружности. Делим радиус *OA* на две равные части, для чего проводим вспомогательную дугу радиусом *OA*. Соединив точки пересечения вспомогательной дуги с основной окружностью, получим на пересечении с горизонтальной осью точку *C*. Отметим верхнюю точку *B*, образованную пересечением вспомогательной дуги с основной окружностью. Из центра *1* проводим дугу радиуса $R_1 = BC$. Дуга пересекает окружность в точке *2*. От точки *2* по заданной окружности откладываем хорды, которые равны отрезку *BC*. Получаем точки *3, 4, 5, 6, 7*. Точки *1, 2, 3, 4, 5, 6, 7* делят окружность на семь равных частей. Соединив прямыми линиями точки *1, 2, 3, 4, 5, 6, 7*, получаем правильный семиугольник, вписанный в окружность.



Ил. 6.16 – Деление окружности на семь равных частей

7. СОПРЯЖЕНИЯ

7.1. Теоретические основы сопряжений

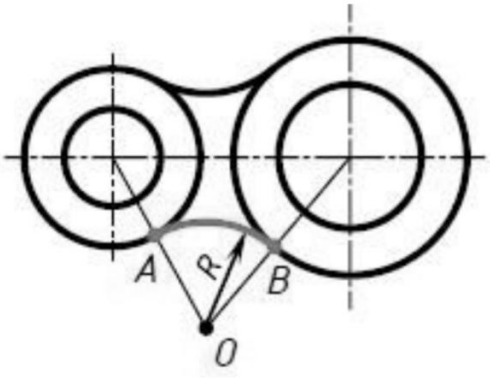
Сопряжением называется плавный переход от одной линии к другой. Роль плавных переходов в очертаниях различных изделий техники огромна. Их обуславливают требования прочности, гидроаэродинамики, промышленной эстетики, технологии.

При сопряжении одна линия переходит в другую по дуге окружности. Эта дуга называется ***дугой сопрягающей окружности***. Радиус этой окружности называется ***радиусом сопряжения***. Центр этой окружности называется ***центром сопряжения***. Точка, в которой одна линия переходит в другую, называется ***точкой сопряжения***. Построить сопряжение – значит найти центр сопряжения и точки сопряжения.

Различают следующие виды сопряжений:

- двух дуг окружностей прямой линией;
- двух прямых дугой окружности;
- дуги окружности с прямой второй дугой;
- двух дуг окружности третьей дугой.

На Ил. 7.1 приведен пример чертежа детали с сопряжениями.



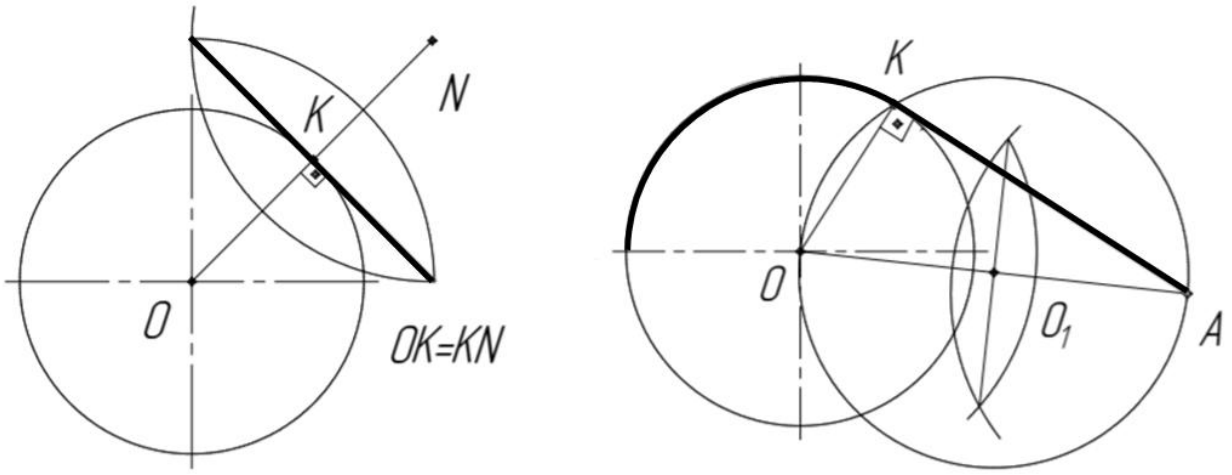
Ил. 7.1 – чертеж детали с сопряжениями:
A, *B* – точки сопряжения; *O* – центр сопряжения; *AB* – дуга сопрягающей окружности; *R* – радиус дуги сопрягающей окружности (радиус сопряжения)

Алгоритм построения любого сопряжения:

1. Найти центр сопряжения.
2. Найти точки сопряжения, в которых дуга сопряжения переходит в сопрягаемые линии.
3. Построить дуги сопряжения, то есть соединить точки сопряжения заданным радиусом сопряжения.

Построение видов сопряжений основано на трех теоретических положениях:

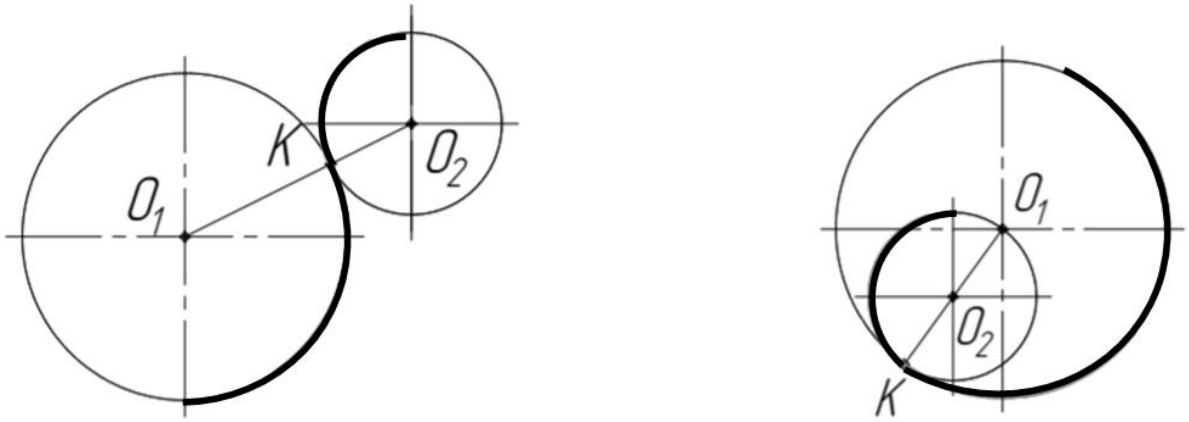
1. Прямая касательна к окружности, если она перпендикулярна к радиусу, проведенному в точку касания *K* (Ил. 7.2, а). Для проведения касательной к окружности из заданной точки *A* строят прямой угол *OKA* (Ил. 7.2, б). Его определяют как внутренний угол вспомогательной окружности, проведенной из центра *O1*, опирающейся на ее диаметр *OA*.



а б

Ил. 7.2 – Первое теоретическое положение сопряжения:
а – касательная к окружности; б – построение касательной к окружности

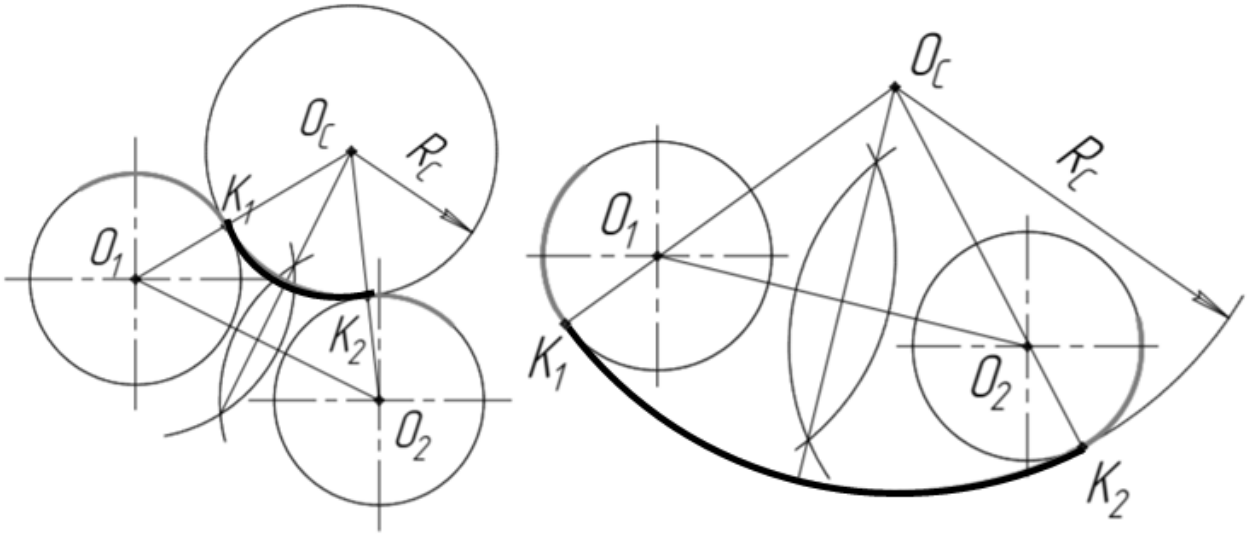
3. Две окружности являются касательными, если точка касания *К* (сопряжения) находится на линии центров. Прямая, соединяющая центры окружностей *О1* и *О2* называется линией центров. Касание окружности может быть внешним (Ил. 7.3, а) и внутренним (Ил. 7.3, б).



а б

Ил. 7.3 – Второе теоретическое положение сопряжения:
а – касание внешнее; б – касание внутреннее

4. Центр дуги сопряжения *ОС* двух окружностей одинакового радиуса находится на серединном перпендикуляре линии центров *О1* и *О2*. Сопряжение дугой двух окружностей может быть внешним (Ил. 7.4, а) и внутренним (Ил. 7.4, б). При заданном центре сопряжения *ОС* определяют радиус сопряжения *RC* и точки сопряжения К1 и *К2*, используя второе теоретическое положение.



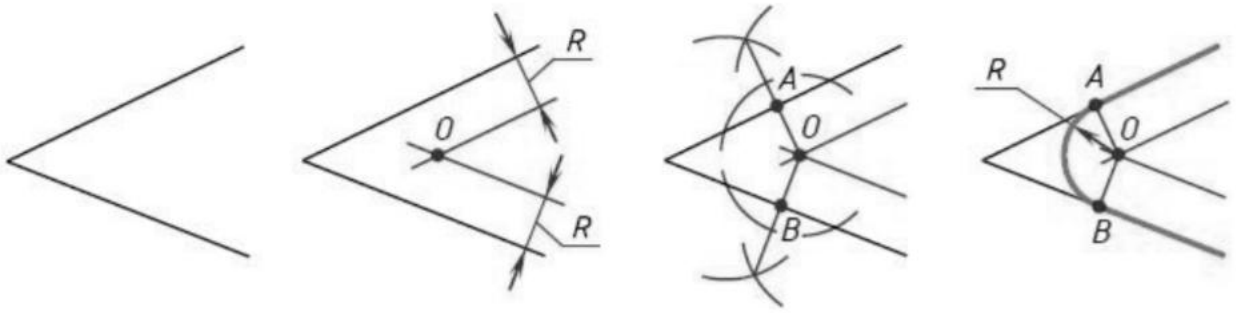
а б

Ил. 7.4 – Третье теоретическое положение сопряжения:
а – сопряжение внешнее; б – сопряжение внутреннее

7.2. Построение сопряжения сторон угла

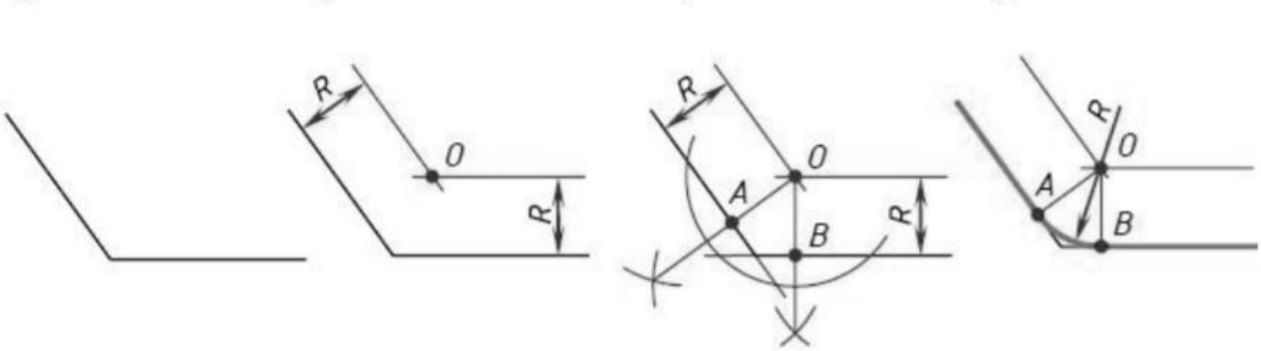
Построение сопряжения сторон острого угла дугой окружности заданного радиуса показано на Ил. 7.5.

1. Даны острый угол и радиус сопряжения *R*.
2. Проводим на расстоянии *R* две вспомогательные прямые, параллельные сторонам данного угла. Прямые пересекаются в точке *O*. Точка *O* есть центр сопряжения.
3. Из точки *O* проводим перпендикуляры к сторонам угла. Получаем точки *1* и *2* – точки сопряжения.
4. Из центра сопряжения *O* проводим сопрягающую дугу радиуса *R* от точки *1* до точки *2*.



Ил. 7.5 – Построение сопряжения сторон острого угла

Сопряжение сторон тупого угла дугой окружности заданного радиуса выполняется аналогично (Ил. 7.6).

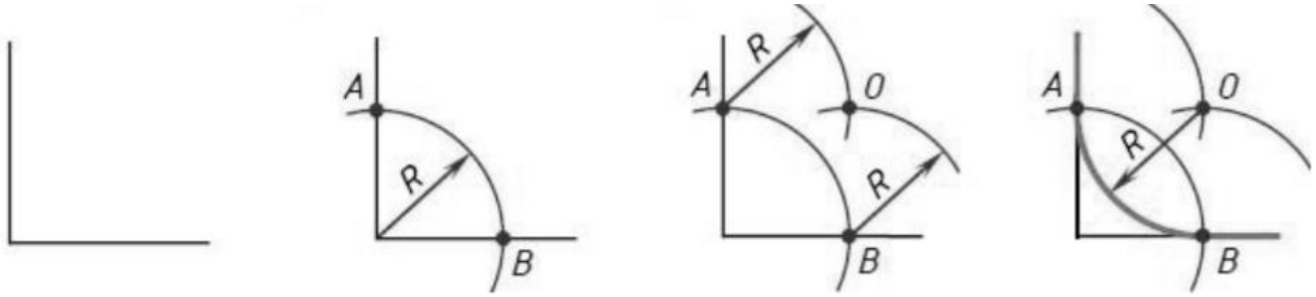


Ил. 7.5 – Построение сопряжения сторон тупого угла

Построение сопряжения сторон прямого угла дугой окружности заданного радиуса показано на Ил. 7.6.

1. Даны прямой угол и радиус сопряжения *R*.
2. Из вершины *A* прямого угла проводим дугу радиуса *R*. Получаем точки *1* и *2* – точки сопряжения.

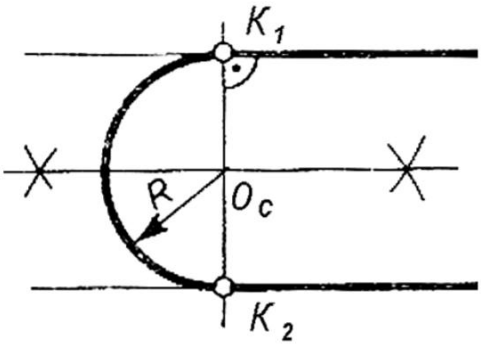
3. Из центров *1* и *2* проводим две дуги радиуса *R*. Дуги пересекаются в точке *O*. Точка *O* есть центр сопряжения.
4. Из центра сопряжения *O* проводим сопрягающую дугу радиуса *R* от точки *1* до точки *2*.



Ил. 7.6 – Построение сопряжения сторон прямого угла

7.3. Построение сопряжения параллельных прямых

В случае, когда задана точка сопряжения K_1 на одной из параллельных прямых (Ил. 7.6), определение точки сопряжения K_2 на второй прямой осуществляется с помощью перпендикуляра, восстановленного из точки K_1. Центр сопряжения O_C и радиус сопряжения R сопрягающей дуги находят, разделив отрезок K_1K_2 пополам. Из центра O_C проводят сопрягающую дугу, соединяющую две точки K_1 и K_2 радиусом $R=O_CK_1=O_CK_2$.

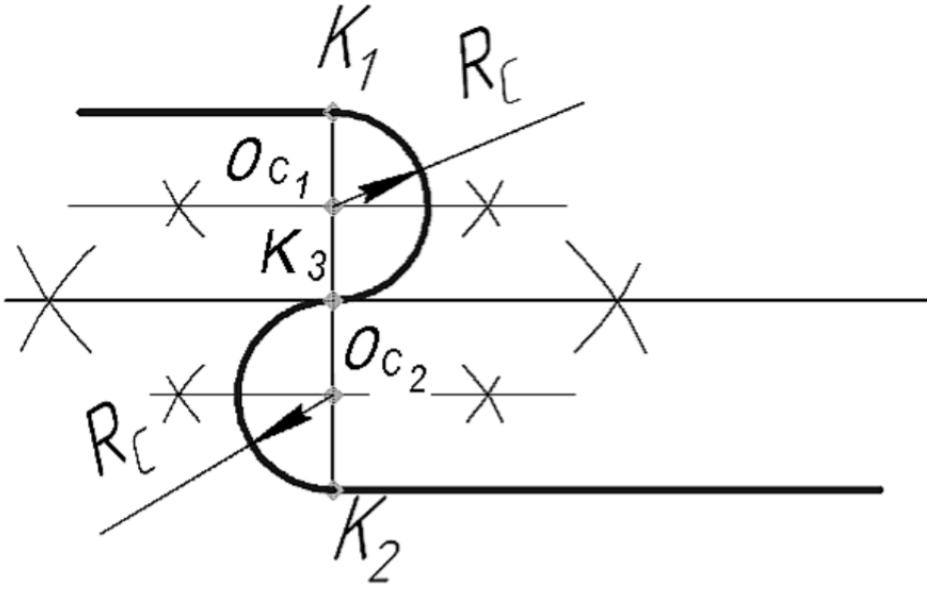


Ил. 7.7 – Построение сопряжения параллельных прямых

Точки сопряжения K_1 и K_2 могут быть даны на параллельных прямых, направленных от них в разные стороны. Такие точки сопряжения могут быть расположены на одном или на разных перпендикулярах к параллельным прямым.

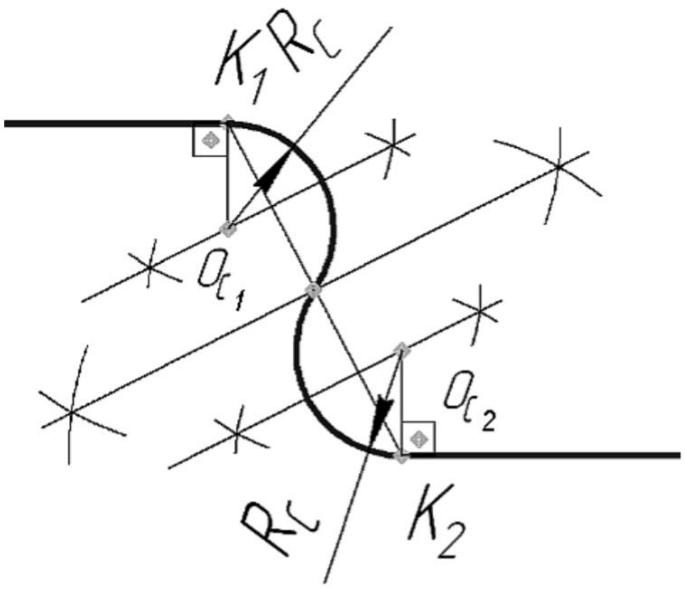
Сопряжение параллельных прямых при расположении точек сопряжения на одном перпендикуляре к ним выполняют двумя дугами одинаковых радиусов, равных 1/4 расстояния между ними (Ил. 7.8). Применив известные геометрические построения и правила для разделения отрезка перпендикуляра K_1K_2 пополам, определяют точку K_3 касания двух сопрягающих

(соединяющих) дуг. Центры O_{C1} и O_{C2} сопрягающих дуг находят в серединах каждого из отрезков K_1K_3 и K_2K_3. Из центров сопряжений O_{C1} и O_{C2} проводят две сопрягающие дуги радиуса $R_C = K_1K_2 / 4$.



Ил. 7.8 – Построение сопряжения параллельных прямых при расположении точек сопряжения на одном перпендикуляре

Случай, когда точки сопряжения заданы на разных перпендикулярах к параллельным прямым, которые направлены в разные стороны, иллюстрирует Ил. 7.9.

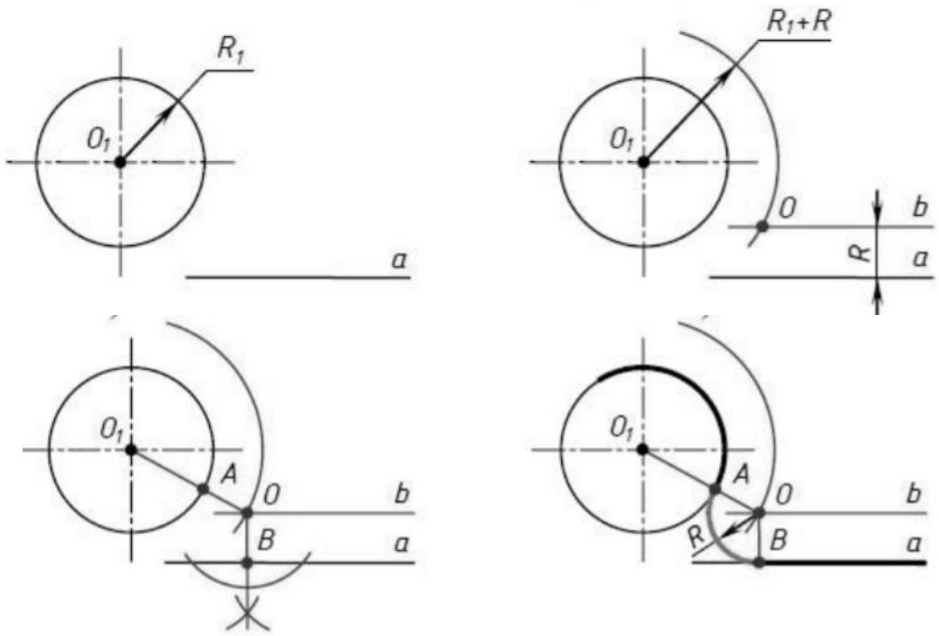


Ил. 7.9 – Построение сопряжения параллельных прямых, направленных в разные стороны

7.4. Построение сопряжения окружности и прямой

Построение внешнего сопряжения окружности и прямой дугой окружности заданного радиуса показано на Ил. 7.10.

1. Даны окружность радиуса R_1 с центром O_1 и прямая a.
2. Проводим вспомогательную дугу радиуса ($R+ R_1$) из центра O_1.
3. Проводим на расстоянии R вспомогательную прямую b, параллельную прямой a. Прямая и дуга пересекается в точке O. Точка O есть центр сопряжения.
4. Проводим прямую OO_1, получаем точку сопряжения A. Проводим из точки O перпендикуляр к прямой a. Получаем точку сопряжения B.
5. Из центра сопряжения O проводим сопрягающую дугу радиуса R от точки A до точки B.



Ил. 7.10 – Построение внешнего сопряжения окружности и прямой

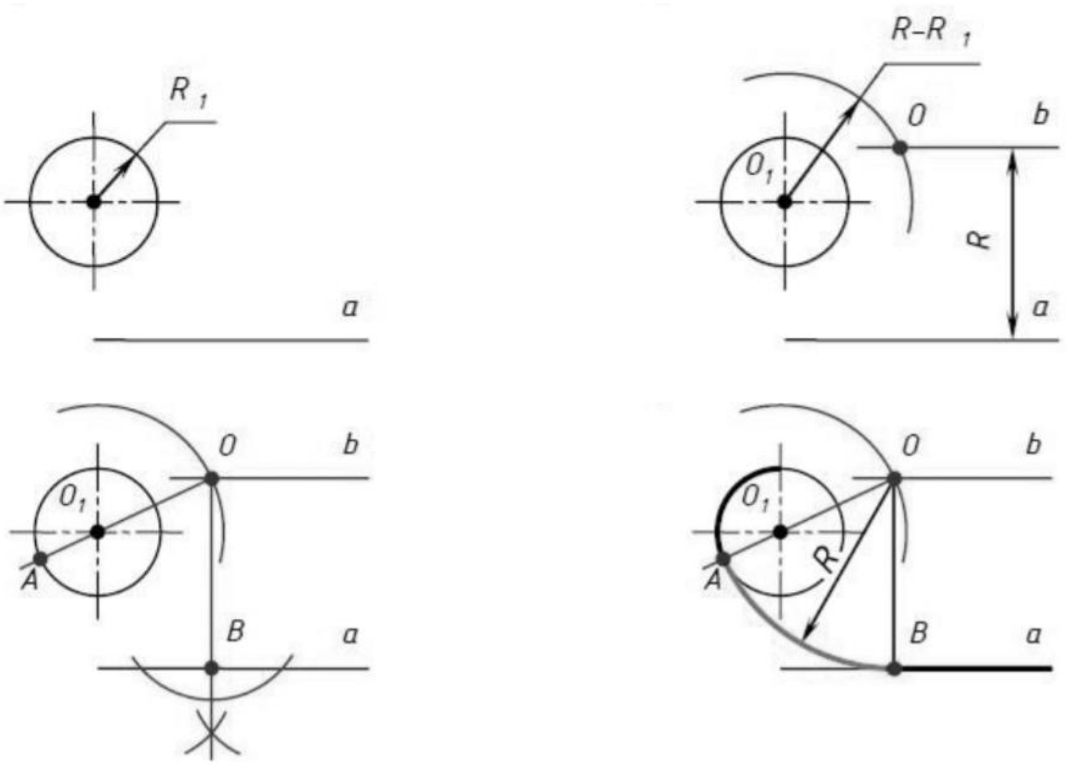
Построение внутреннего сопряжения окружности и прямой дугой окружности заданного радиуса показано на Ил. 7.11.

1. Даны окружность радиуса R_1 с центром O_1 и прямая a.
2. Проводим вспомогательную дугу радиуса ($R–R_1$) из центра O_1.
3. Проводим на расстоянии R вспомогательную прямую b, параллельную прямой a. Прямая и дуга пересекается в точке O. Точка O есть центр сопряжения.
4. Проводим прямую OO_1, получаем точку сопряжения A. Проводим из точки O перпендикуляр к прямой a. Получаем точку сопряжения B.
5. Из центра сопряжения O проводим сопрягающую дугу радиуса R от точки A до точки B.

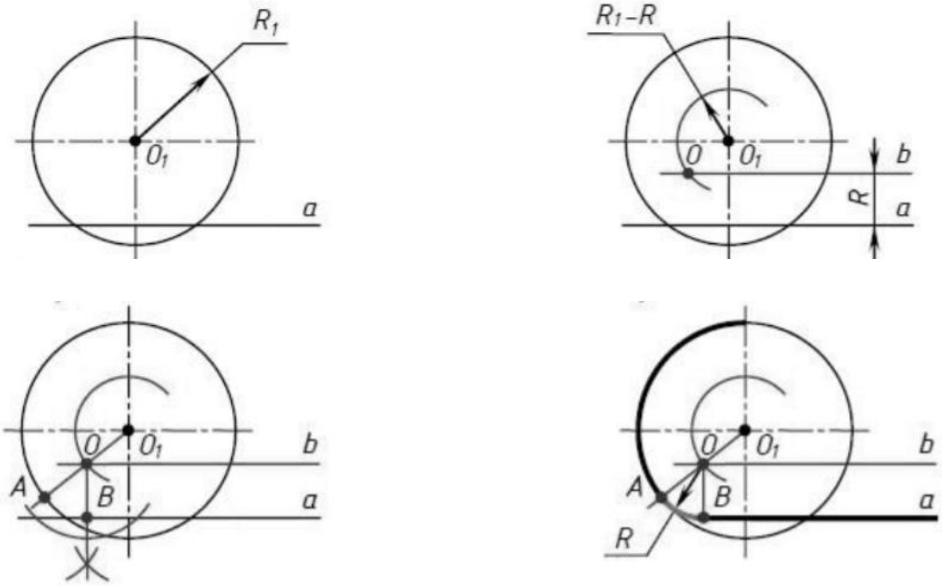
Построение сопряжения окружности и прямой, когда прямая пересекает окружность, показано на Ил. 7.12.

1. Даны окружность радиуса R_1 с центром O_1 и прямая a.

2. Проводим вспомогательную дугу радиуса (R_1–R) из центра O_1.
3. Проводим на расстоянии R вспомогательную прямую b, параллельную прямой a. Прямая и дуга пересекается в точке O. Точка O есть центр сопряжения.
4. Проводим прямую OO_1, получаем точку сопряжения A. Проводим из точки O перпендикуляр к прямой a. Получаем точку сопряжения B.
5. Из центра сопряжения O проводим сопрягающую дугу радиуса R от точки A до точки B.



Ил. 7.11 – Построение внутреннего сопряжения окружности и прямой

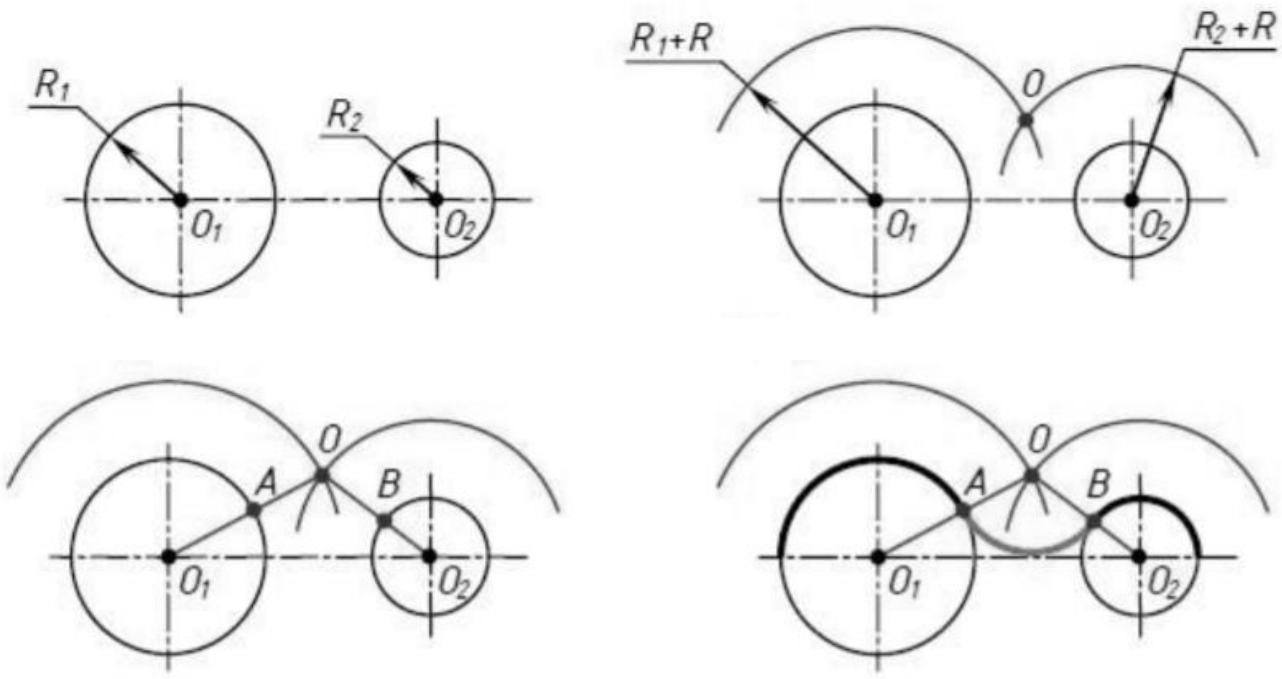


Ил. 7.12 – Построение сопряжения окружности и прямой, пересекаемой эту окружность

7.5. Сопряжение двух окружностей

Построение внешнего сопряжения двух окружностей дугой окружности заданного радиуса показано на Ил. 7.13.

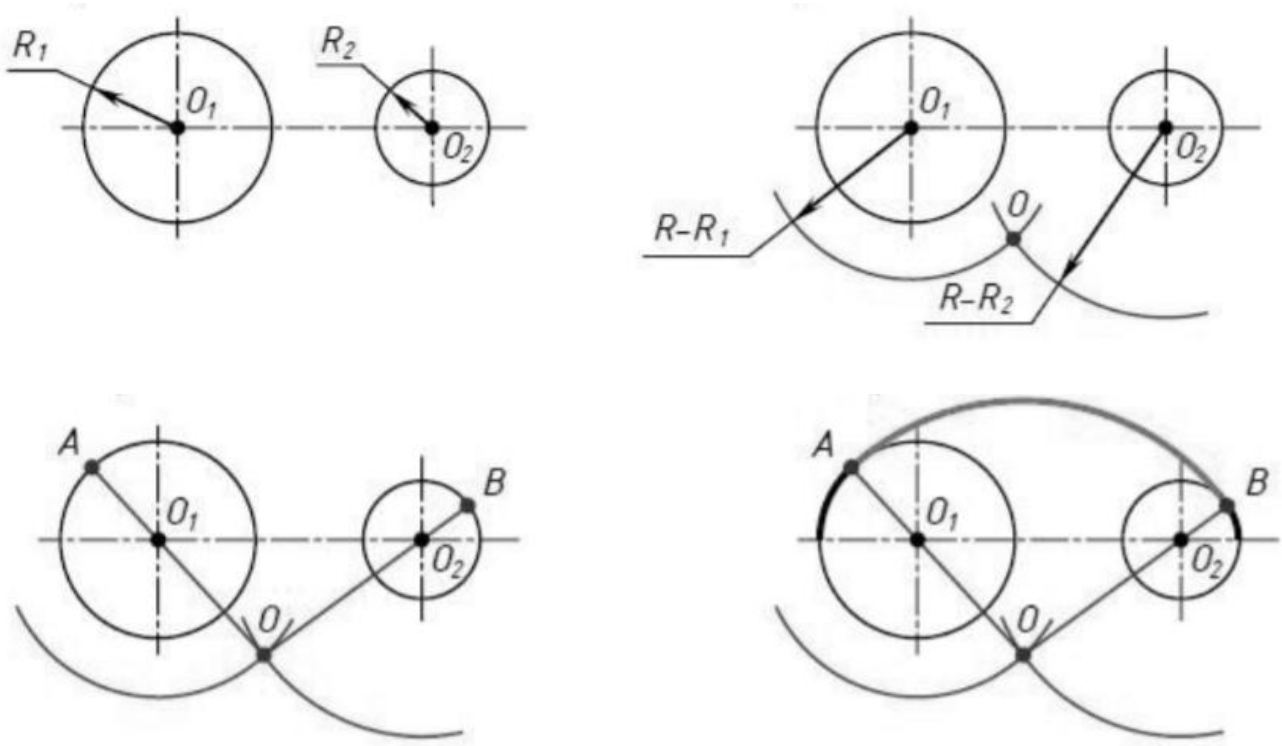
1. Даны две окружности радиуса R_1 с центром O_1 и радиуса R_2 с центром $O2$.
2. Проводим вспомогательную дугу радиуса (R_1+R) из центра O_1 и вспомогательную дугу радиуса (R_2+R) из центра O_2. Дуги пересекается в точке O. Точка O есть центр сопряжения.
3. Проводим прямую OO_1, получаем точку сопряжения A. Проводим прямую OO_2, получаем точку сопряжения B.
4. Из центра сопряжения O проводим сопрягающую дугу радиуса R от точки A до точки B.



Ил. 7.13 – Построение внешнего сопряжения двух окружностей

Построение внутреннего сопряжения двух окружностей дугой окружности заданного радиуса показано на Ил. 7.14.

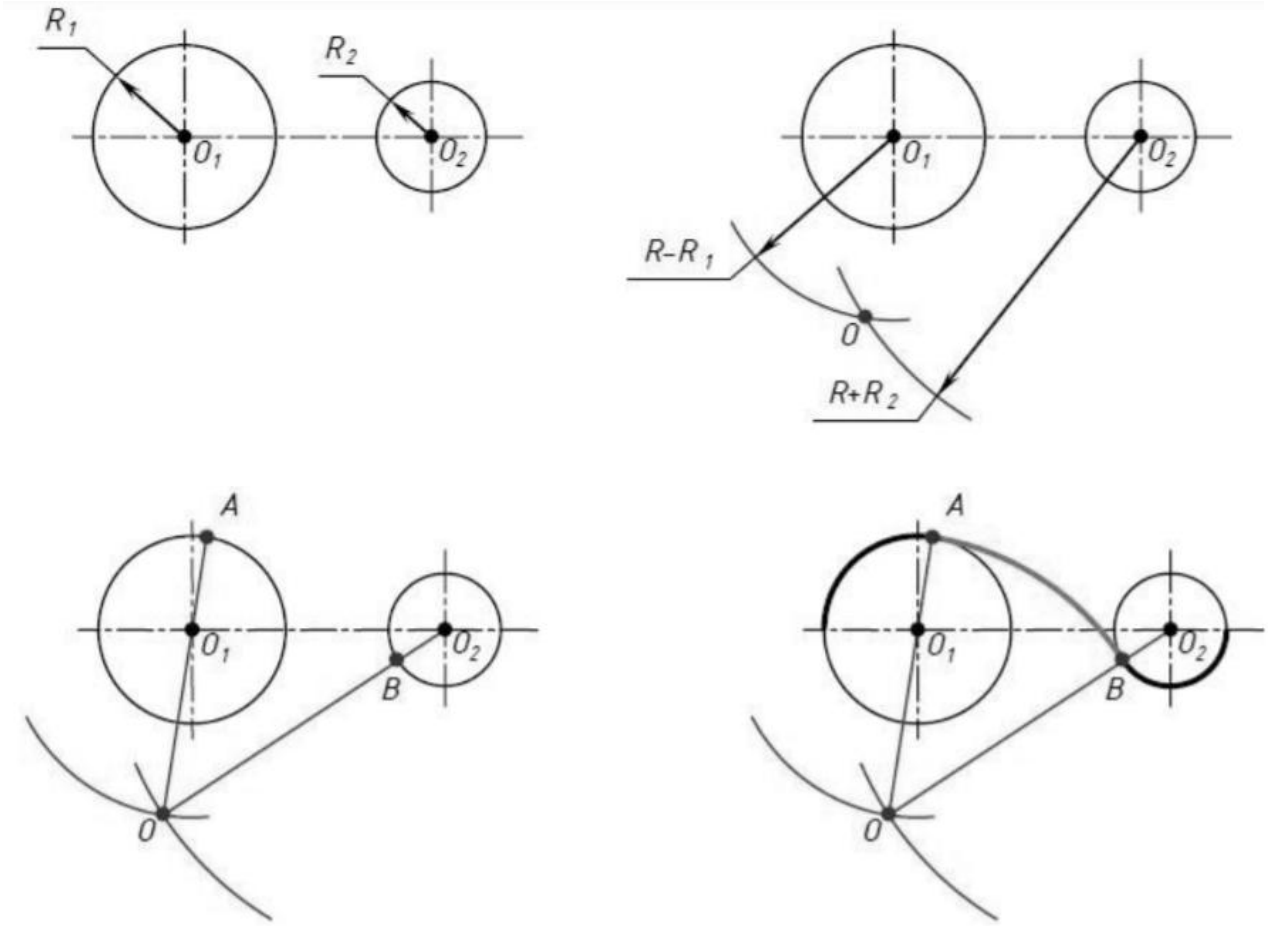
1. Даны две окружности радиуса R_1 с центром O_1 и радиуса R_2 с центром O_2.
2. Проводим вспомогательную дугу радиуса (R–R_1) из центра O_1 и вспомогательную дугу радиуса (R–R_2) из центра O_2. Дуги пересекается в точке O. Точка O есть центр сопряжения.
3. Проводим прямую O_1O, получаем точку сопряжения A. Проводим прямую OO_2, получаем точку сопряжения B.
4. Из центра сопряжения O проводим сопрягающую дугу радиуса R от точки A до точки B.



Ил. 7.14 – Построение внутреннего сопряжения двух окружностей

Построение смешанного сопряжения двух окружностей дугой заданного радиуса показано на Ил. 7.15.

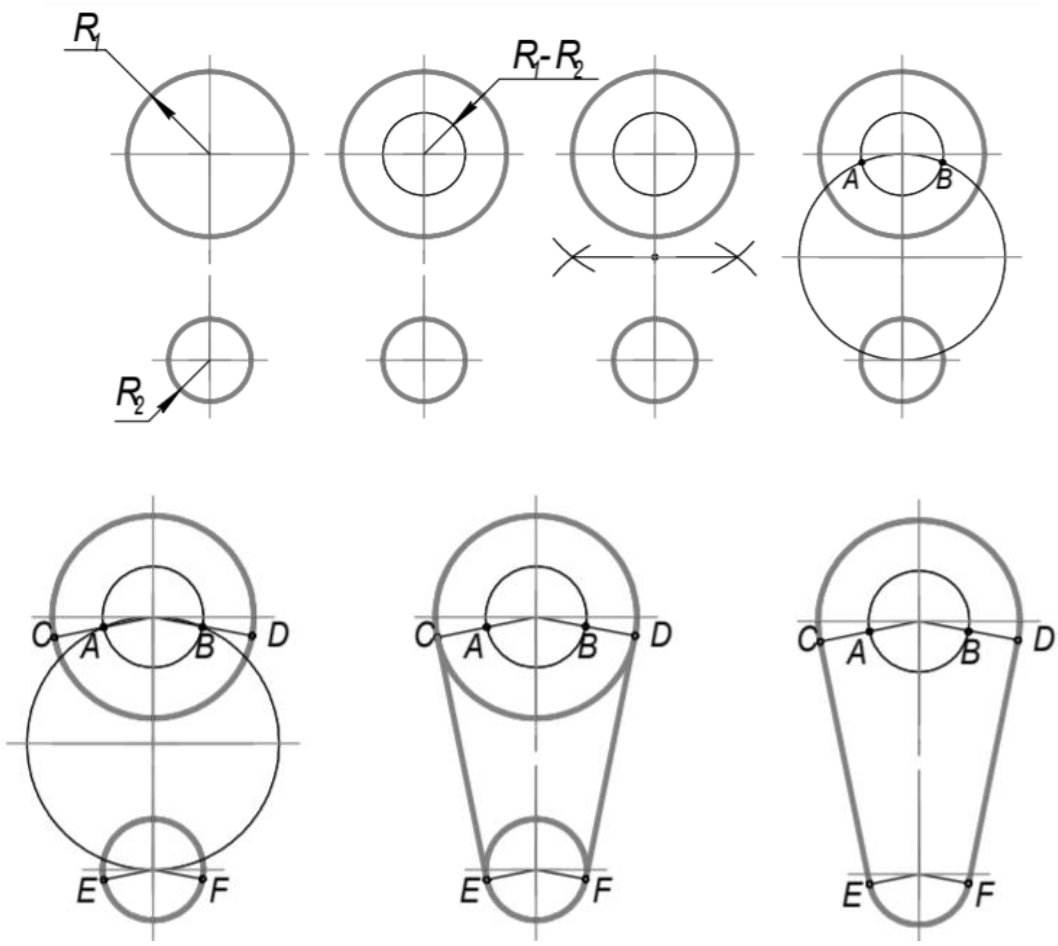
1. Даны две окружности радиуса R_1 с центром O_1 и радиуса R_2 с центром O_2.
2. Проводим вспомогательную дугу радиуса $(R–R_1)$ из центра O_1 и вспомогательную дугу радиуса $(R+R_2)$ из центра O_2. Дуги пересекается в точке O. Точка O есть центр сопряжения.
3. Проводим прямую O_1O, получаем точку сопряжения A. Проводим прямую OO_2, получаем точку сопряжения B.
4. Из центра сопряжения O проводим сопрягающую дугу радиуса R от точки A до точки B.



Ил. 7.15 – Построение смешанного сопряжения двух окружностей

Построение внешней касательной к двум окружностям показано на Ил. 7.16.

1. Из центра большей заданной окружности проводим окружность радиусом равным (R_1–R_2).
2. Через середину расстояния между центрами заданных окружностей проводим окружность радиусом, равным половине расстояния между этими окружностями.
3.Находим точки пересечения этих окружностей *A* и *B*.
4. Через центр заданной большей окружности и точки *A* и *B* проводим линии до окружности большего радиуса. Получаем точки *C* и *D*.
5. Из центра меньшей окружности проводим прямые, параллельные прямым, построенным на предыдущем этапе, получаем точки *E* и *F*.
6. Точки *C, E* и точки *D,* F соединяем прямыми. Они расположены касательно к заданным окружностям.



Ил. 7.16 – Построение внешней касательной к двум окружностям

7.6. Выполнение чертежей деталей, имеющих сопряжения

Построение чертежа детали, имеющей сопряжения, следует начинать с анализа геометрических элементов, составляющих изображение детали, и определения ее габаритных размеров. Затем следует продумать, какие геометрические построения нужно выполнить на чертеже. Соответственно габаритным размерам детали выбирают масштаб изображения.

В качестве примера приведен пример построения детали, представленной на Ил. 7.17.

Построение необходимо выполнять в следующей последовательности.

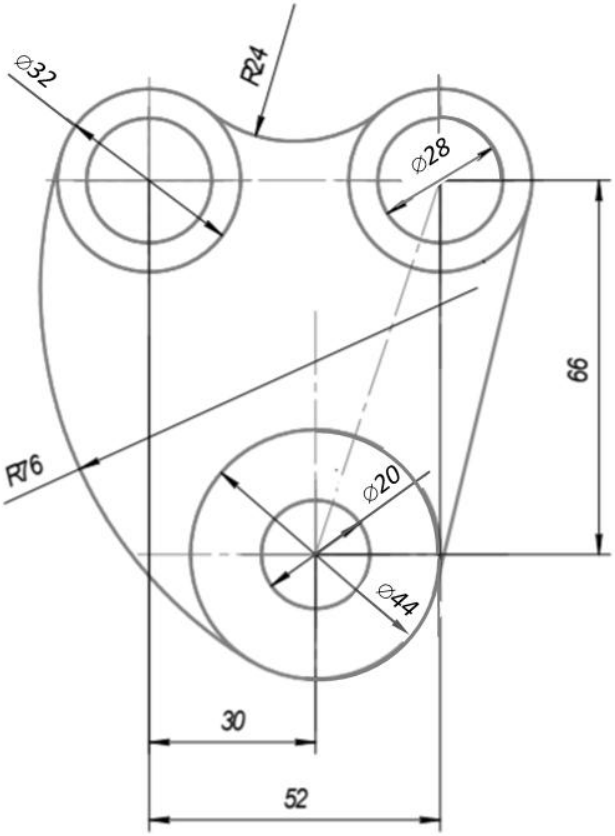
1. Нанести осевые и центровые линии (Ил. 7.18, а).
2. Провести окружности, центры которых расположены на пересечении центровых линий (Ил. 7.18, б).
3. Выполнить сопряжения с указанием вспомогательных построений, необходимых для определения центров и точек сопряжения (Ил. 7.19):

а) между окружностями Ø32 построить наружное сопряжение радиусом R24;

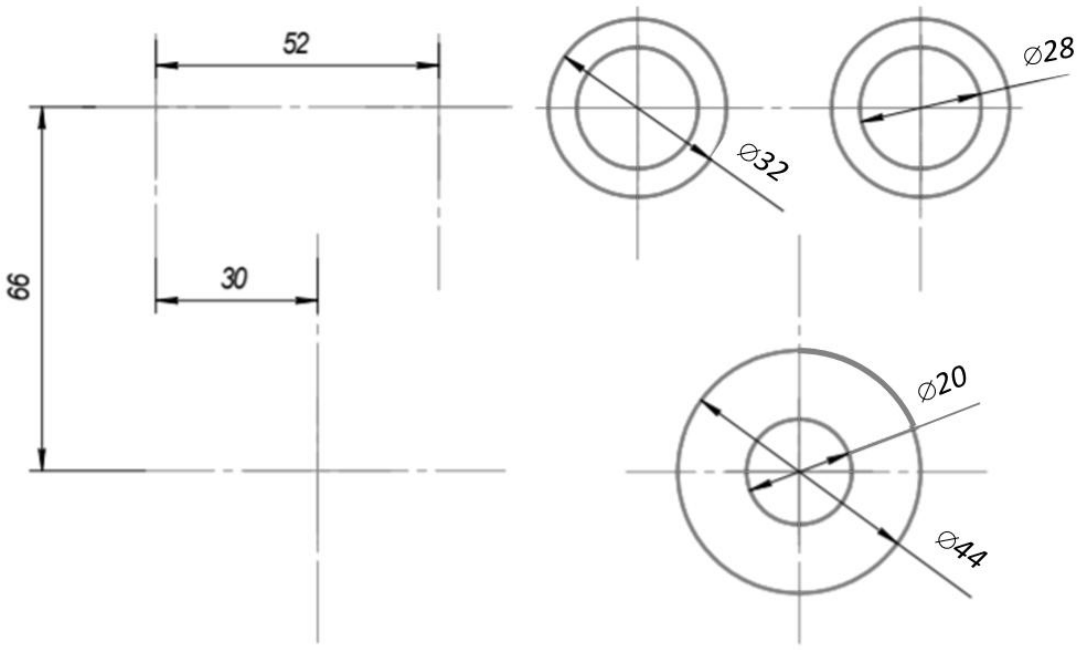
б) между окружностями Ø32 и Ø44 построить внутреннее сопряжение радиусом R76;

в) выполнить построения для проведения касательной к окружностям Ø32 и Ø44, построить касательную.

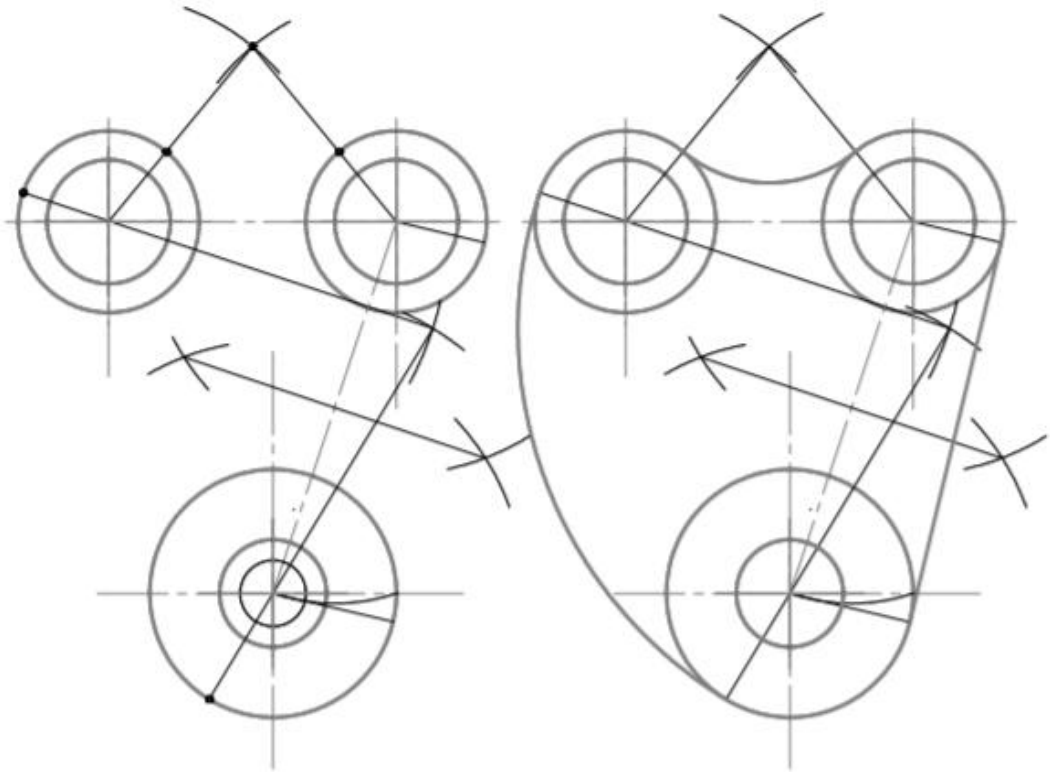
4) Нанести размерные линии и проставить размерные числа, согласно исходного чертежа, при этом вспомогательные построения необходимо на чертеже оставить (Ил. 7.20).



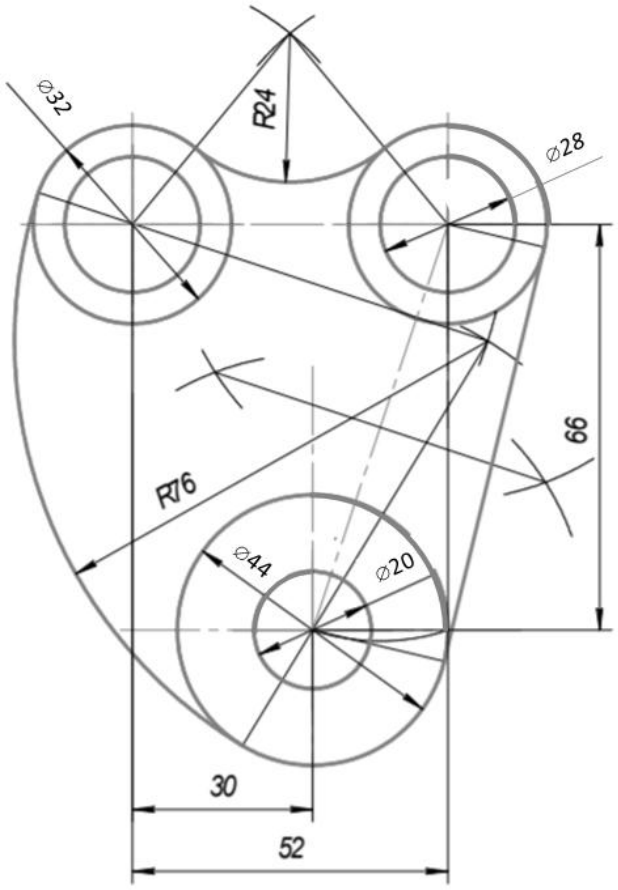
Ил. 7.17 – Чертеж детали с сопряжениями



Ил. 7.18 – Начало построения детали с сопряжениями:
а – нанесение осевых и центровых линий; б – нанесение основных окружностей



Ил. 7.19 – Построение сопряжений и касательной на чертеже детали

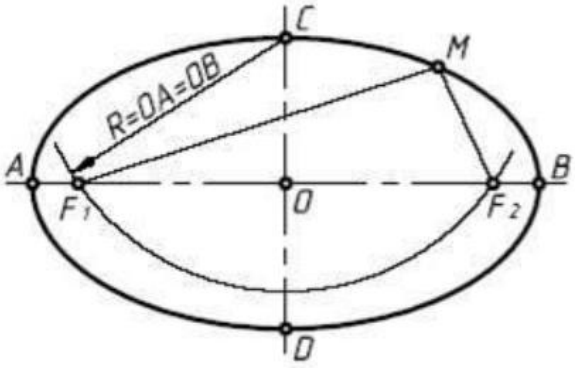


Ил. 7.20 – Чертеж детали со вспомогательными построениями

8. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ОВАЛА

Овал – это замкнутая вытянутая геометрическая фигура, обладающая правильной формой и особыми свойствами. Вписанная в окружность, она обладает как минимум 4 точками экстремума, то есть вершинами. Если разделить овал прямой линией по двум противоположным вершинам, то два сегмента, полученные в результате данного действия, будут абсолютно идентичными.

Эллипс – это замкнутая плоская кривая, частный случай овала, у которого имеется 4 вершины в точках экстремума. Центральная ось, проведённая по двум противоположным точкам экстремума, содержит две точки фокуса, равноудалённые от вершин. Сумма расстояний от фокусов до любой точки на кривой эллипса – постоянная величина, которая равна длине центральной оси (Ил. 8.1).



Ил. 8.1 – Эллипс:
F_1, F_2 – точки фокуса; $MF_1+MF_2=AB$

Эллипс строится по двум фокусам, и двум радиусам. А овал – это любая замкнутая кривая, удовлетворяющая условиям выпуклости. Эллипс может быть частным случаем овала, а наоборот – нет.

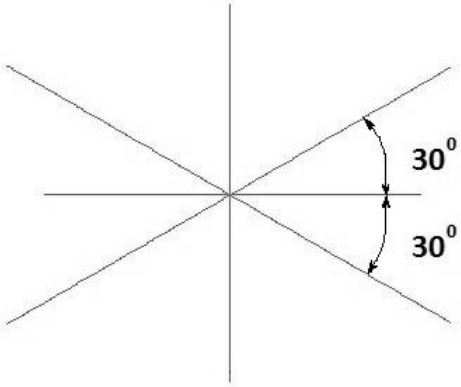
Поэтому в практике в тех случаях, когда требуется построить эллипс, нередко вычерчивают овал, так как построение его значительно проще.

Построение овала можно осуществить двумя методами:

- методом окружности;
- методом параллелограмма.

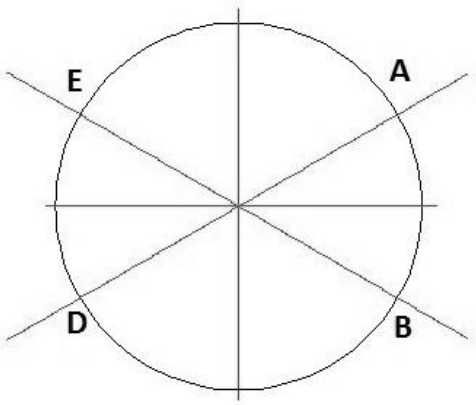
8.1. Метод окружности

Построение овала методом окружности начинается с построения осей. Тонкими линями проводим вертикальную и горизонтальную прямые, а также две диагональные прямые, расположенные под углом примерно 30° к горизонтали (Ил. 8.2).



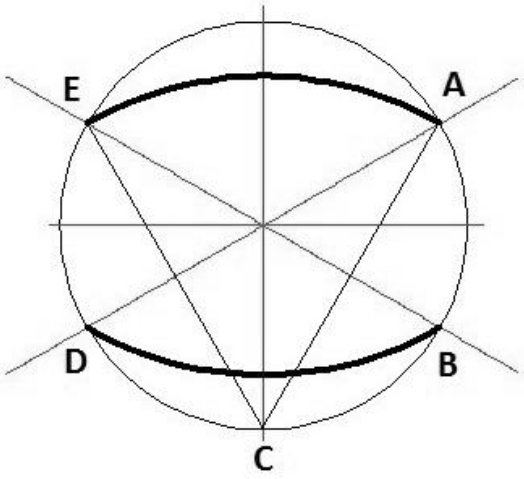
Ил. 8.2 – Построение осей

Чертим окружность произвольного радиуса. Радиус окружности будет определять размах овала (Ил. 8.3). Окружность пересекается с осями в точках *A, B, E, D*.



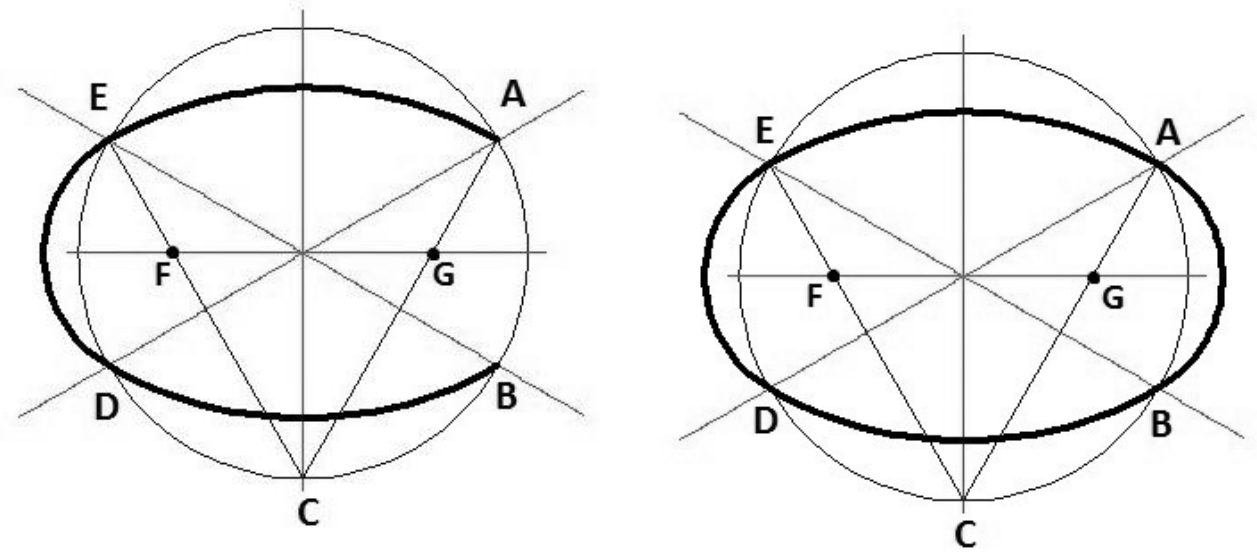
Ил. 8.3 – Построение вспомогательной окружности

Чертим дуги *EA* и *BD* радиусом *EC* (Ил. 8.4).



Ил. 8.4 – Построение дуг овала

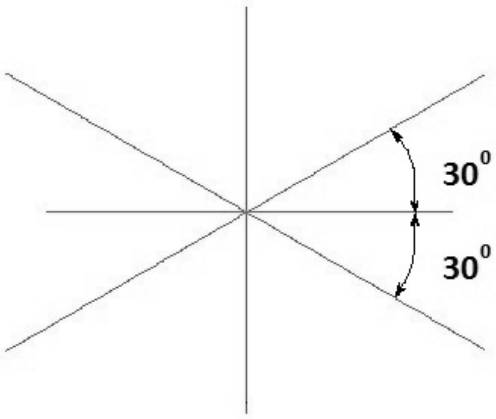
Чертим дуги *ED* и *AB* радиусом *FB* (Ил. 8.5).



Ил. 8.5 – Построение дуг овала

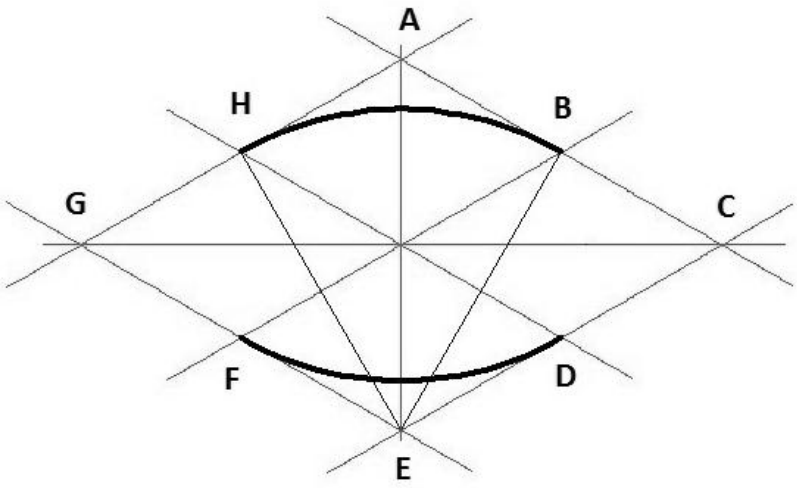
8.2. Метод параллелограмма

Построение овала методом параллелограмма начинается с построения осей. Тонкими линями проводим вертикальную и горизонтальную прямые, а также две диагональные прямые, расположенные под углом примерно 30° к горизонтали (Ил. 8.6).



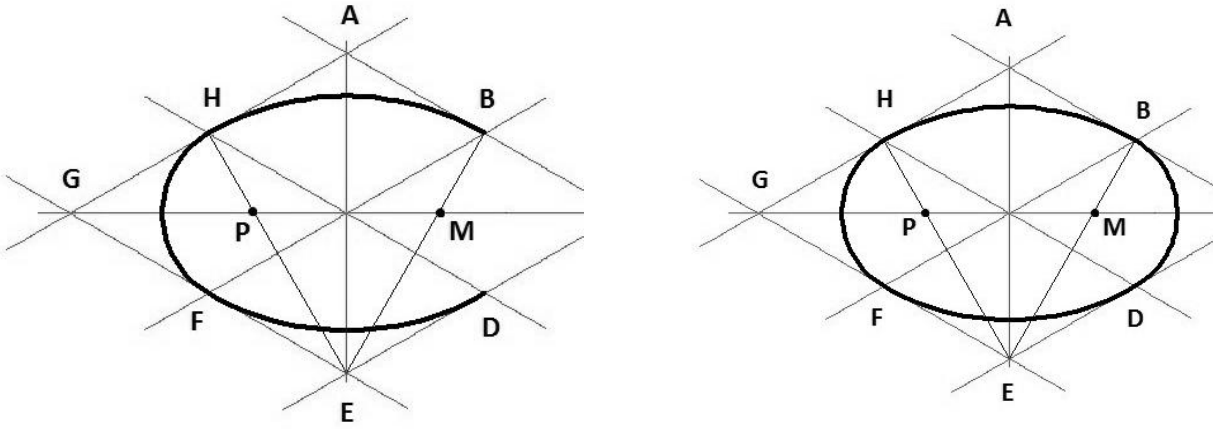
Ил. 8.6 – Построение осей

Чертим линии параллельные диагональным осевым линиям. Строим дуги *HB* и *DF* радиусом *HE* (Ил. 8.7).



Ил. 8.7 – Построение дуг овала

Продолжаем вычерчивать дугу *BD* радиусом *MB* и дугу *FH* радиусом *PH* (Ил. 8.8).



Ил. 8.8 – Построение дуг овала

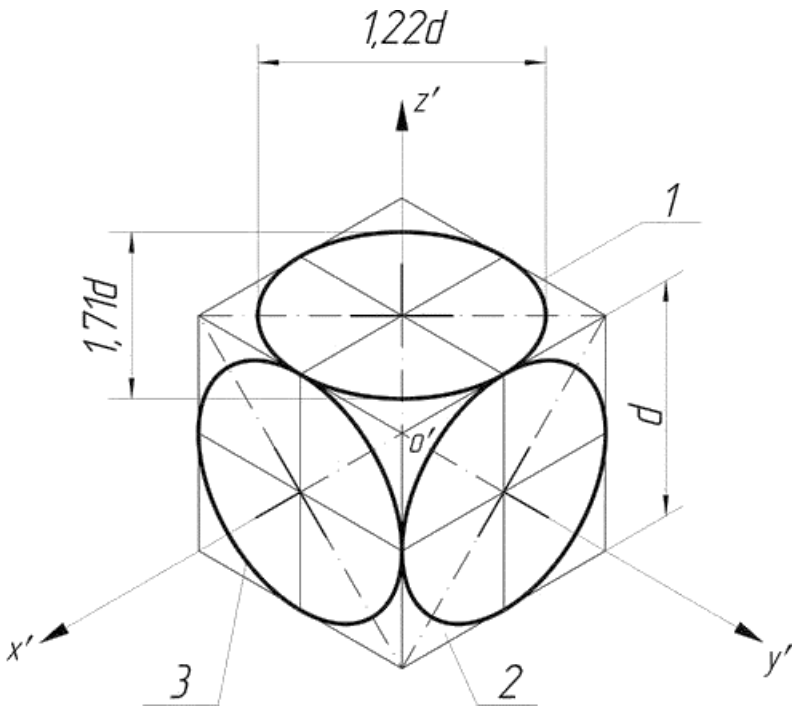
8.3. Изометрические проекции окружностей

Аксонометрическая проекция – это способ изображения геометрических предметов на чертеже при помощи параллельных проекций.

Предмет с системой координат, к которой он отнесён, проецируют на произвольную плоскость (картинная плоскость аксонометрической проекции) таким образом, чтобы эта плоскость не совпадала с его координатной плоскостью. В этом случае получаются две взаимосвязанные проекции одной фигуры на одну плоскость, что позволяет восстановить положение в пространстве, получив наглядное изображение предмета. Так как картинная плоскость не параллельна ни одной из координатных осей, то имеются искажения отрезков по длине параллельных координатным осям. Это искажение может быть равным по всем трём осям — изометрическая проекция,

одинаковыми по двум осям – диметрическая проекция и с искажениями разными по всем трём осям – триметрическая проекция.

Квадрат в изометрической проекции проецируется в ромб. Окружности, вписанные в квадраты, например, расположенные на гранях куба, в изометрической проекции изображаются эллипсами с одинаковыми соотношениями осей (Ил. 8.9). На практике эллипсы заменяют овалами, которые вычерчивают четырьмя дугами окружностей.

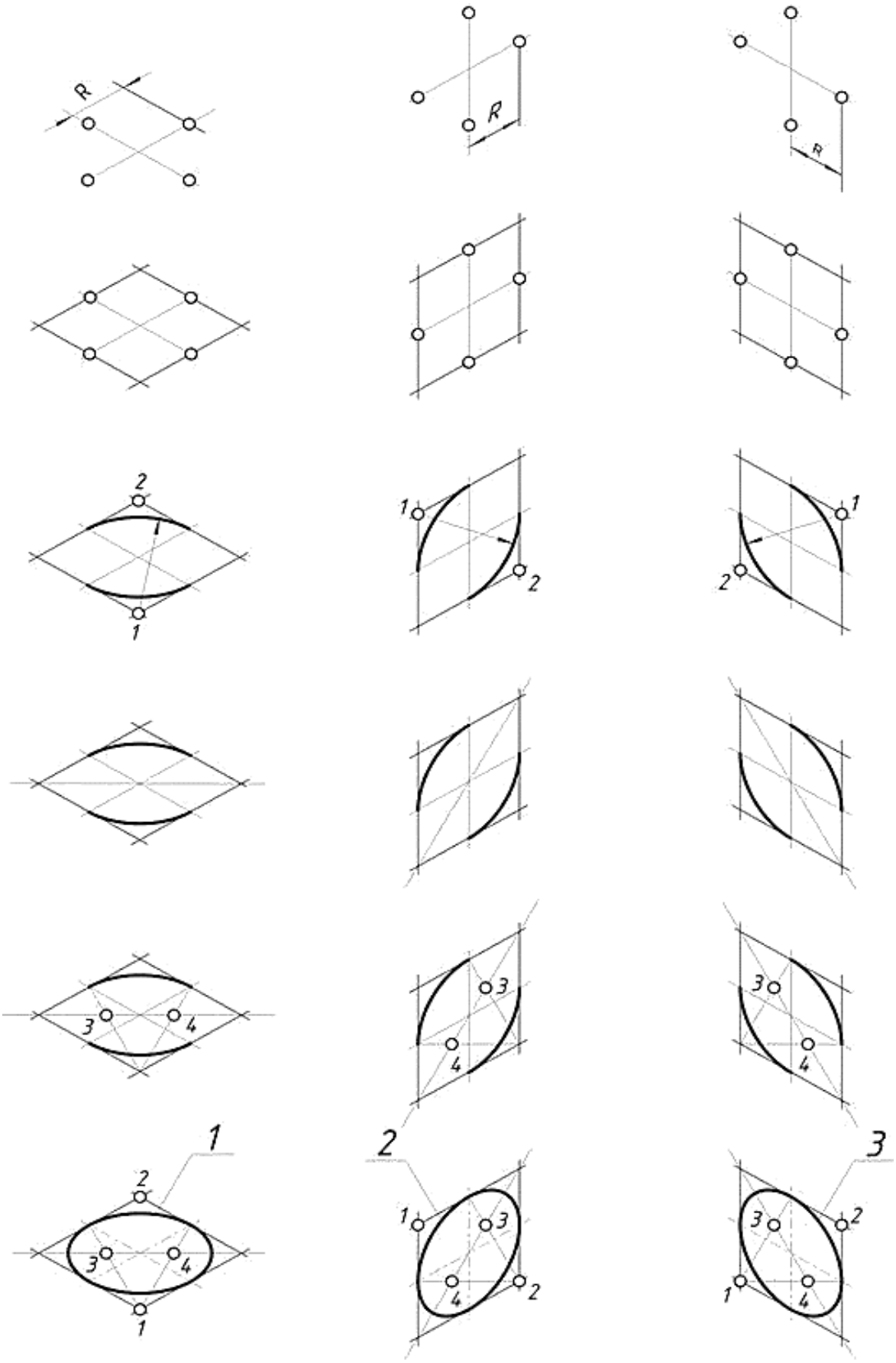


Ил. 8.9 – Изометрические проекции окружностей

Большие оси эллипсов равны 1,22d, а малые – 0,71d, где d – диаметр изображаемой окружности.

Для упрощения построений допускается заменять эллипсы овалами, очерченными дугами окружностей.

На Ил. 8.10 приведена последовательность построения четырех центровых овалов, приближенно заменяющих проекции окружности, расположенной в плоскости проекций или ей параллельной. Данный способ является наиболее простым в построении.

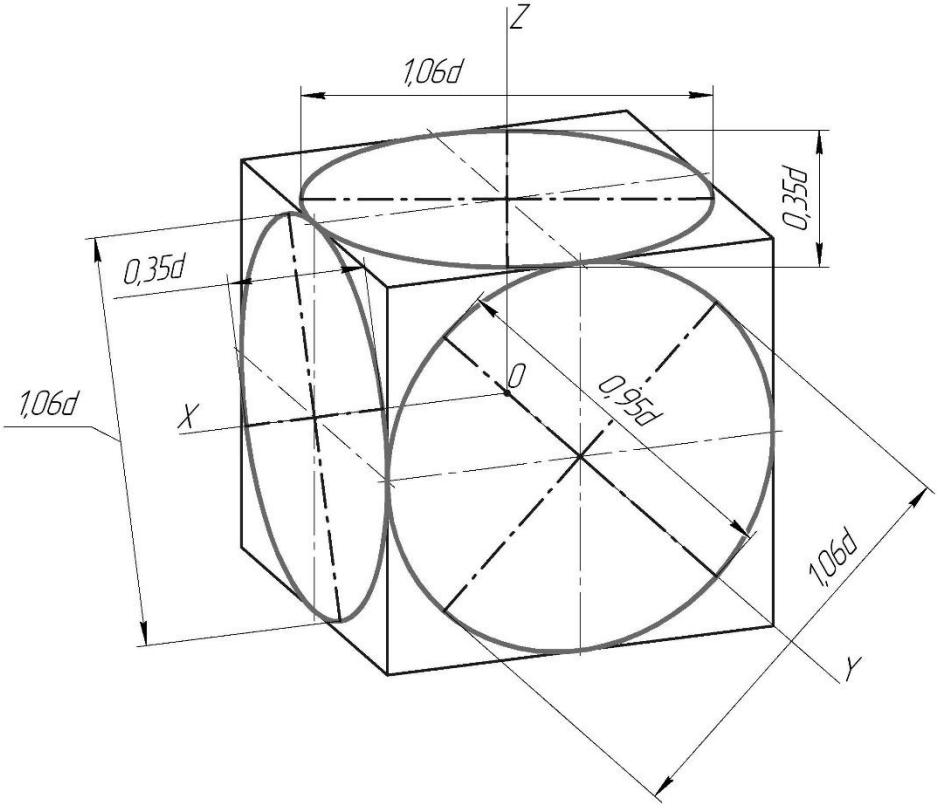


Ил. 8.10 – Построение овалов на трех гранях куба

8.4. Диметрические проекции окружностей

Диметрическая проекция – это аксонометрическая проекция, у которой коэффициенты искажения по двум осям имеют равные значения, а искажение по третьей оси может принимать иное значение.

В диметрической проекции большая ось эллипса располагается перпендикулярно к той аксонометрической оси, которая отсутствует в данной плоскости, а малая ось совпадает с направлением этой оси (Ил. 8.11).



Ил. 8.10 – Проецирование окружностей в диметрии на гранях куба

Порядок выполнения овала на плоскости, параллельной горизонтальной и профильной плоскостям проекций, показан на Ил. 8.11, а.

Проводим из точки *O* большие полуоси овала *OA=OB* (*AB*=1,06*d*), где *d* – заданный диаметр окружности.

Из точки *O* проводим малые полуоси овала *OC=OD*. Малая ось овала *CD*=0,35*d*.

Из точки *O* на малых полуосях овала откладываем отрезок $OE = OE_1 = AB$, равный 1,06*d*, (на Ил. 8.11, а отрезок OE_1 не показан).

Проводим дуги окружностей радиусом *R EC=E*$_1$*D* из точек *E* и E_1.

Из точек *A* и *B* на больших полуосях овала откладываем отрезки $AK=BK_1=$ 1/2*OC*.

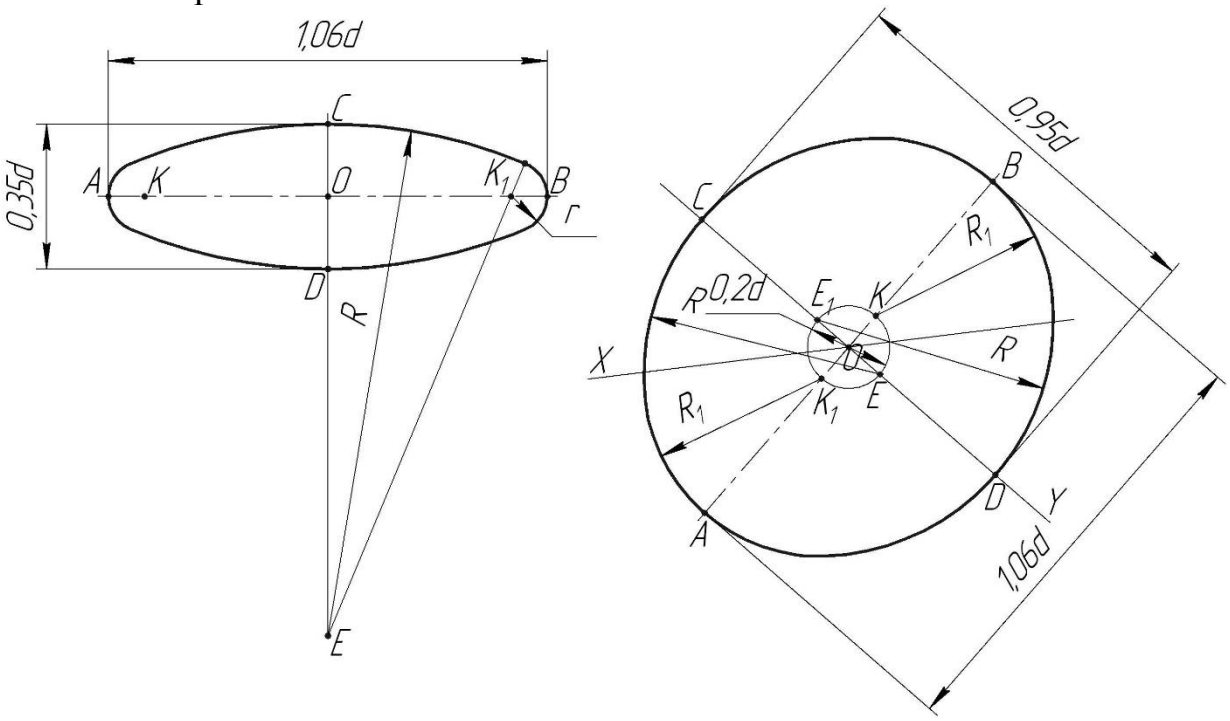
Из точек *K* и K_1 проводим дуги окружностей радиусом $r=AK=BK_1$.

Порядок построения овала на плоскости, параллельной фронтальной плоскости проекций, показан на Ил. 8.11, б.

Из точки O проводим окружность радиусом $r=OK_1=$ 0,1d, (где d – заданный диаметр окружности) и оси овала AB и CD. $AB \perp y$, $CD \perp AB$, AB = 1,06d, CD = 0,95d.

Из точки E проводим дугу окружности радиусом $R= EC$. Аналогичное построение выполняем из точки E_1.

Из точки K_1 проводим дугу окружности радиусом $R_1= AK_1= KB$, полученное изображение является на плоскости овалом.



а б

Ил. 8.11 – Построение овалов в диметрической проекции:
а – на плоскости, параллельной горизонтальной и профильной плоскостям проекций; б – на плоскости, параллельной фронтальной плоскости проекций

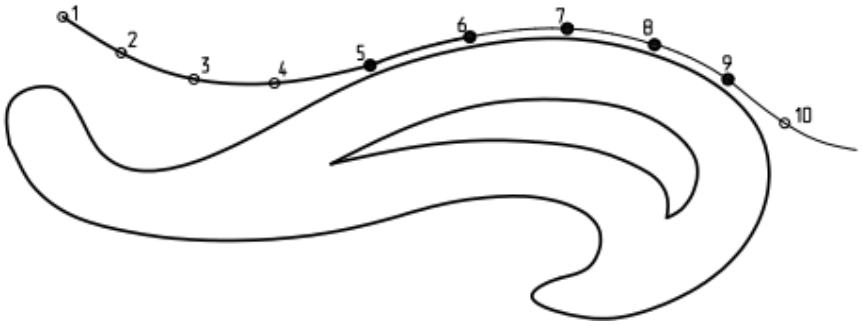
9. ПОСТРОЕНИЕ ЛЕКАЛЬНЫХ КРИВЫХ

Контуры всех изображений образованы различными линиями. Основными линиями служат: прямая линия, окружность, ряд кривых. При вычерчивании контуров изображений применяются различные построения и сопряжения.

С точки зрения геометрического построения плоские кривые разделяются на циркульные и лекальные. Циркульными называются кривые, точки которых лежат на окружности (овалы, овоиды, завитки и др.). Лекальными называются кривые, точки которых не лежат на окружности. К ним относятся эвольвента, эллипс, парабола, гипербола и др. Все перечисленные виды кривых имеют широкое применение в технике.

Все лекальные кривые строятся по точкам, положение которых определяется графически или аналитически. Чтобы получить плавную кривую, необходимо иметь на чертеже достаточное количество точек. Лекальную кривую можно рассматривать как линию, состоящую из бесчисленного количества бесконечно малых дуг окружностей при постепенном изменении места из центров и радиусов кривизны.

Для построения кривой пользуются лекалами. Плавную кривую линию можно получить в том случае, когда кромка лекала совпадет с четырьмя–пятью точками, но необходимо соединять при этом три или четыре точки соответственно (Ил. 9.1).



Ил. 9.1 – Построение лекальной кривой

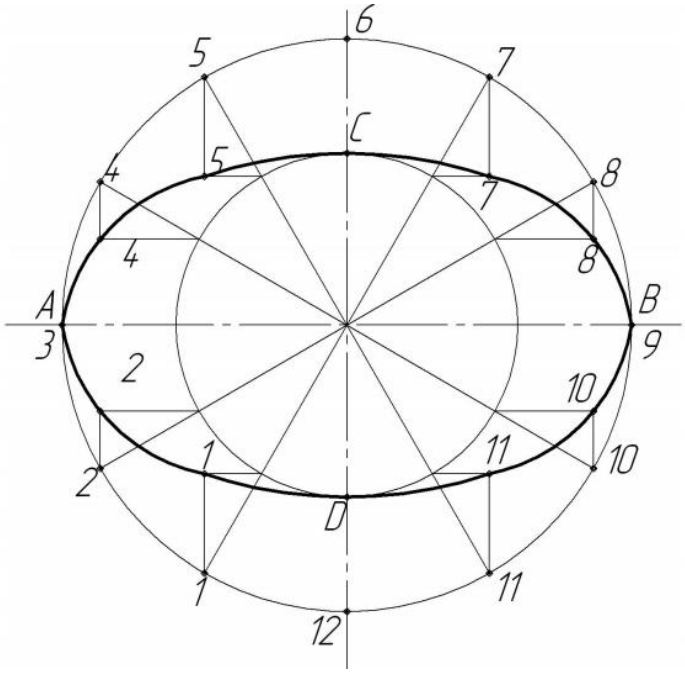
При выполнении чертежей часто приходится прибегать к вычерчиванию кривых, состоящих из ряда сопряжённых частей, которые невозможно провести циркулем. Такие кривые строят обычно по ряду принадлежащих им точек, которые затем соединяют плавной линией сначала от руки карандашом, а затем обводят с помощью лекала.

Чтобы начертить плавную лекальную кривую, необходимо иметь набор из нескольких лекал. Выбрав подходящее лекало, надо подогнать кромку части лекала к возможно большему числу заданных точек кривой.

9.1. Построение эллипса

Построение эллипса лекальным методом показано на Ил. 9.2.

1. На заданных осях эллипса – большой *AB* и малой *CD* строим как на диаметрах две концентрические окружности – проводим окружность с центром в точке *O* и радиусом *R=OA=OB*; проводим окружность с центром в точке O и радиусом *R=OC=OD*.
2. Делим большую окружность на равные части, например, на 12. Точки деления соединяем прямыми, проходящими через центр окружностей *O*.
3. Из точек пересечения прямых с окружностями проводим линии, параллельные осям эллипса, как показано на Ил. 8.2. При взаимном пересечении этих линий получаем точки, принадлежащие эллипсу, которые соединив предварительно от руки тонкой плавной кривой, обводим с помощью лекала.



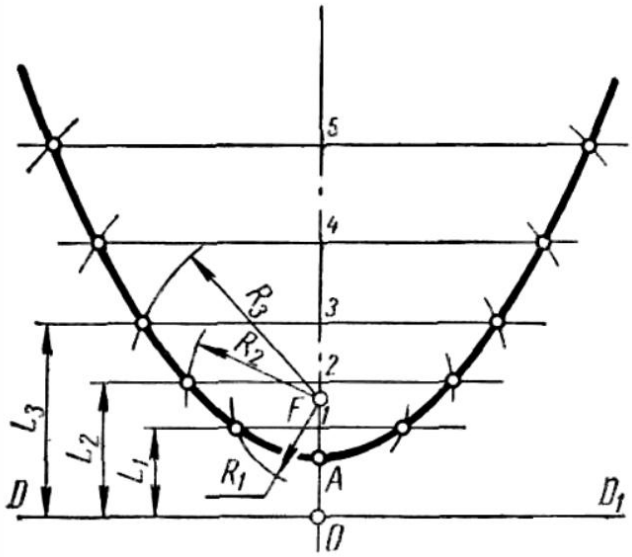
Ил. 9.2 – Построение эллипса лекальным методом

9.2. Построение параболы

Построение параболы лекальным методом по заданному расстоянию между директрисой DD_1 и фокусом *F* показано на Ил. 9.3.

Через точку *F* перпендикулярно к директрисе проводим ось параболы до пересечения ее с директрисой в точке *O*. Отрезок *OF* делим пополам и получаем точку *A* – вершину параболы. На оси параболы от точки *A* откладываем несколько постепенно увеличивающихся отрезков. Через точки деления *1, 2, 3* и т. д. проводим прямые, параллельные директрисе. Приняв фокус параболы за центр, описываем дуги радиусом $R_1=L_1$ до пересечения с прямой, проведенной через точку *1*, радиусом $R_2=L_2$ до

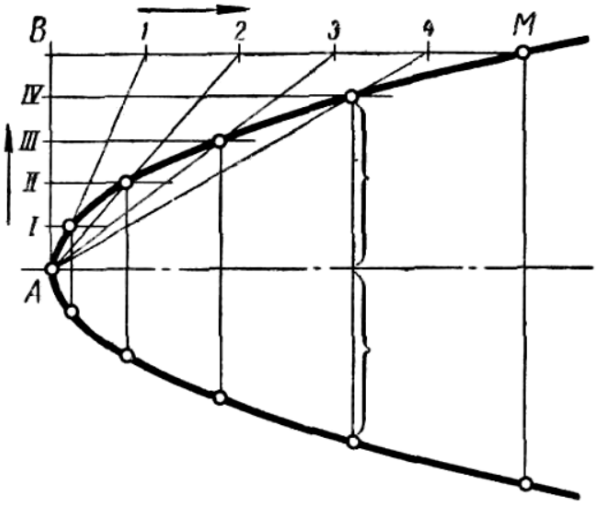
пересечения с прямой, проведенной через точку *2*, и т. д. Полученные точки принадлежат параболе. Вначале их соединяем тонкой плавной линией от руки, затем обводим по лекалу.



Ил. 9.3 – Построение параболы по заданному расстоянию между директрисой и фокусом

Построение параболы по ее оси, вершине *A* и промежуточной точке *M* показано на Ил. 9.4.

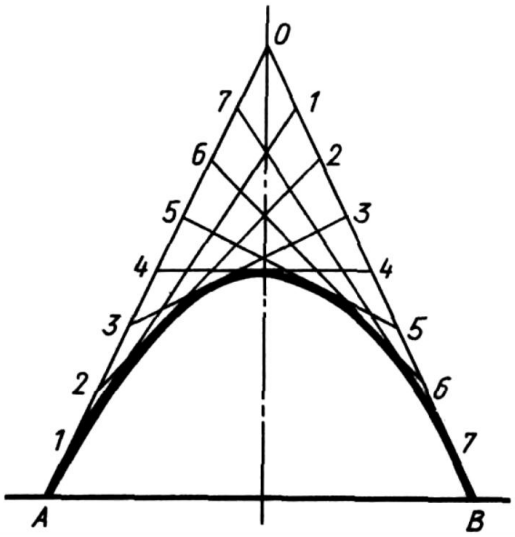
Через вершину *A* проводим прямую, перпендикулярную к оси параболы, а через точку *M* – прямую, параллельную оси. Обе прямые пересекаются в точке *B*. Отрезки *AB* и *BM* делим на одинаковое число равных частей, а точки деления нумеруем в направлениях, указанных стрелками. Через вершину *A* и точки *1, 2, 3, 4* проводим 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 строим симметрично первой с помощью хорд.



Ил. 9.4 – Построение параболы по ее оси, вершине и промежуточной точке

Построение параболы, касательной к двум прямым *OA* и *OB* в данных на них точках *A* и *B* показано на Ил. 9.5.

Отрезки *OA* и *OB* делим на одинаковое число равных частей (например, на 8 частей). Полученные точки деления нумеруем и одноименные точки соединяем прямыми *1–1, 2–2, 3–3* и т. д. Эти прямые являются касательными к параболической кривой. Далее в образованный прямыми контур вписываем плавную касательную кривую – параболу.



Ил. 9.5 – Построение параболы, касательной к двум прямым в данных на них точках

9.3. Построение гиперболы

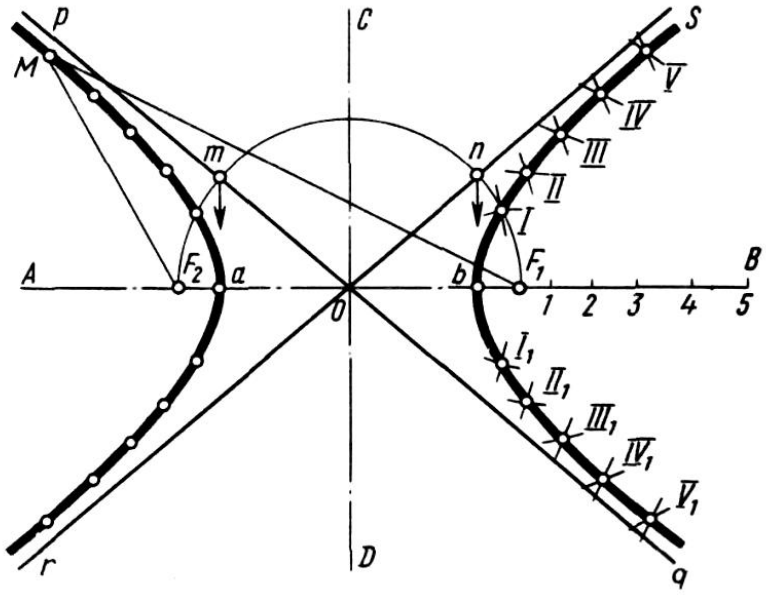
Если рассечь прямой и обратный конусы плоскостью, параллельной двум его образующим или в частном случае параллельной оси, то в плоскости сечения получится гипербола, состоящая из двух симметричных ветвей. Гиперболой называется незамкнутая плоская кривая, представляющая собой множество точек, разность расстояний которых от двух данных точек есть величина постоянная.

Построение гиперболы по данным асимптотам *pq* и *rs*, фокусам F_1 и F_2 показано на Ил. 9.6.

Постоянные точки F_1 и F_2 называются фокусами, а расстояние между ними – фокусным расстоянием. Отрезки прямой (F_1M и F_2M), соединяющие какую-нибудь точку *M* кривой с фокусами, называются радиус–векторами гиперболы. Разность расстояний точки от фокусов F_1 и F_2 есть величина постоянная и равная расстоянию между вершинами *a* и *b* гиперболы. Например, для точки *M* будем иметь: $F_1M–F_2M=ab$. Гипербола состоит из двух незамкнутых ветвей, имеет две взаимно перпендикулярные оси – действительную *AB* и мнимую *CD*. Прямые *pq* и *rs*, проходящие через центр *O*, называются асимптотами.

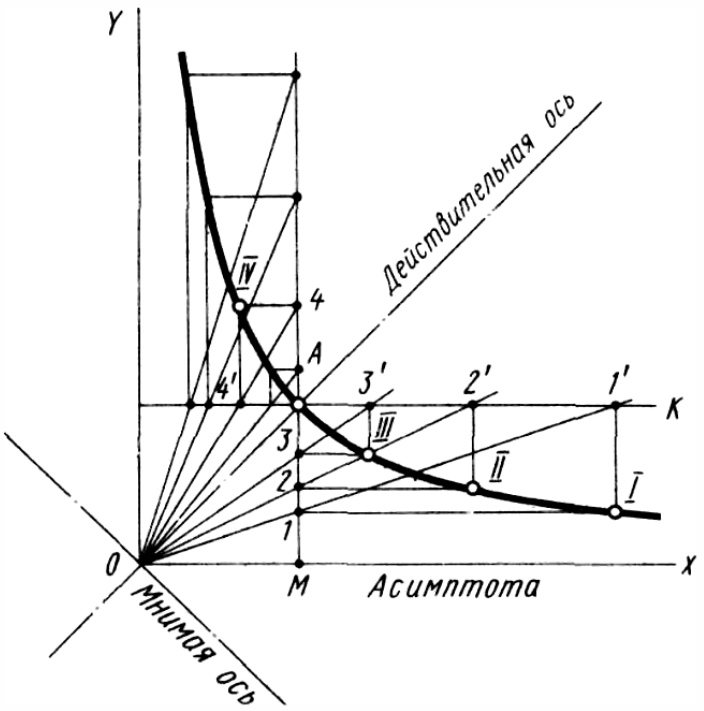
Действительная ось *AB* гиперболы является биссектИл.ой угла, образованного асимптотами. Мнимая ось *CD* перпендикулярна *AB* и проходит через точку *O*. Имея фокусы F_1 и F_2, определяем вершины *a* и *b* гиперболы, для чего на отрезке F_1F_2 строим полуокружность, которая пересекает асимптоты в точках *m* и *n*. Из этих точек опускаем перпендикуляры на ось *AB* и на пересечении с ней получаем вершины *a* и *b* гиперболы.

Для построения правой ветви гиперболы на прямой *AB* правее фокуса F_1 намечаем произвольные точки 1, *2, 3, 4, 5*. Точки *V* и V_1 гиперболы получаются, если принять отрезок *a5* за радиус и из точки F_2 провести дугу окружности, которую засекаем из точки F_1, радиусом, равным *b5*. Остальные точки гиперболы строим аналогично.



Ил. 9.6 – Построение гиперболы

Иногда приходится строить гиперболу, у которой асимптоты *OX* и *OY* взаимно перпендикулярны (Ил. 9.7). В этом случае действительная и мнимая оси будут биссектрисами прямых углов. Для построения задаем одну из точек гиперболы, например, точку *A*. Через точку *A* проводим прямые *AK* и *AM*, параллельные осям *ox* и *oy*. Из точки *O* пересечения осей проводим прямые, пересекающие прямые *AM* и *AK* в точках *1, 2, 3, 4* и *1', 2', 3', 4'*. Далее из точек пересечения с этими прямыми проводим вертикальные и горизонтальные отрезки до их взаимного пересечения в точках *I, II, III, IV* и т. д. Полученные точки гиперболы соединяют с помощью лекала. Точки *1, 2, 3, 4*, расположенные на вертикальной прямой, берутся произвольно.



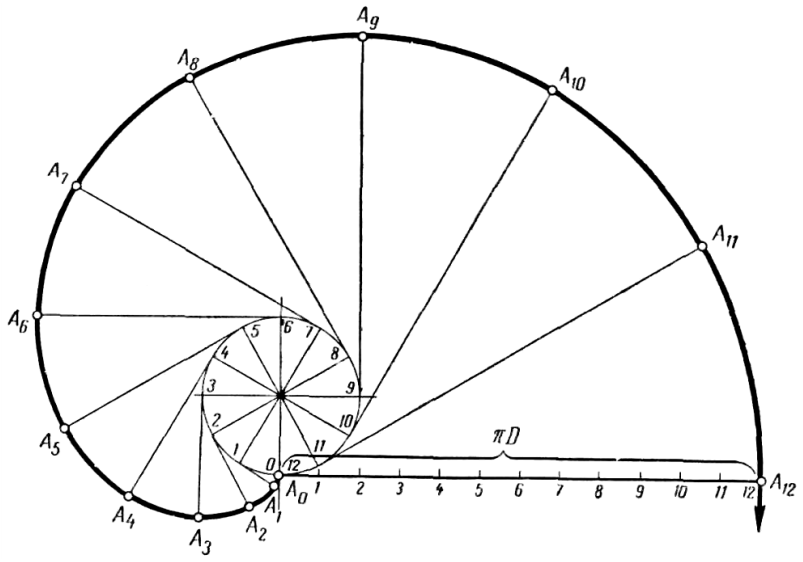
Ил. 9.7 – Построение гиперболы

9.4. Построение эвольвенты окружности

Эвольвентой окружности называется плоская кривая, которую описывает каждая точка прямой линии, если эту прямую катить без скольжения по неподвижной окружности (траектория точек окружности, образованная ее развертыванием и выпрямлением).

Построение эвольвенты окружности показано на Ил. 9.8.

Для построения эвольвенты достаточно задать диаметр окружности D и начальное положение точки A (точку A_0). Через точку A_0 проводим касательную к окружности и на ней откладываем длину заданной окружности πD. Полученный отрезок и окружность делим на одинаковое число частей и через точки деления окружности проводим в одном направлении касательные к ней. На каждой касательной откладываем 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 соединяем по лекалу.



Ил. 9.8 – Построение эвольвенты окружности

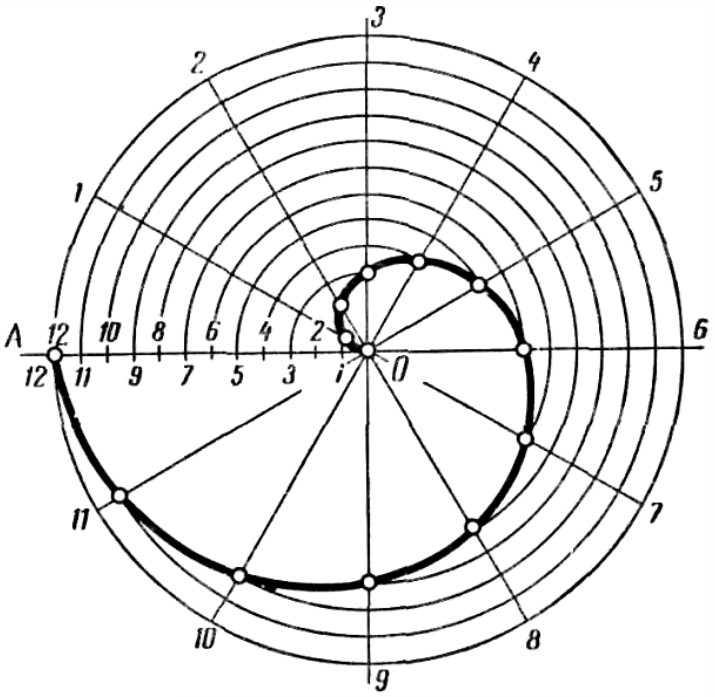
9.5. Построение спирали Архимеда

Спираль Архимеда – это плоская кривая, которую описывает точка *A*, равномерно вращающаяся вокруг неподвижной точки – полюса *O* и одновременно равномерно удаляющаяся от него. 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 часовой стрелке показано на Ил. 9.9.

Через точку *O* проводим прямую, откладываем на ней величину шага спирали *OA* и, приняв его за радиус, описываем окружность. Окружность и отрезок *OA* делим на 12 равных частей. Через точки деления окружности проводим радиусы *O1, O2, O3* и т. д. и на них от точки *O* откладываем при помощи дуг соответственно *1/12, 2/12, 3/12* и т. д. радиуса окружности. Полученные точки соединяем по лекалу плавной кривой.

Спираль Архимеда является незамкнутой кривой, и при необходимости можно построить любое число ее витков. Для построения второго витка описываем окружность радиусом $R=2\pi OA$ и повторяем все предыдущие построения.

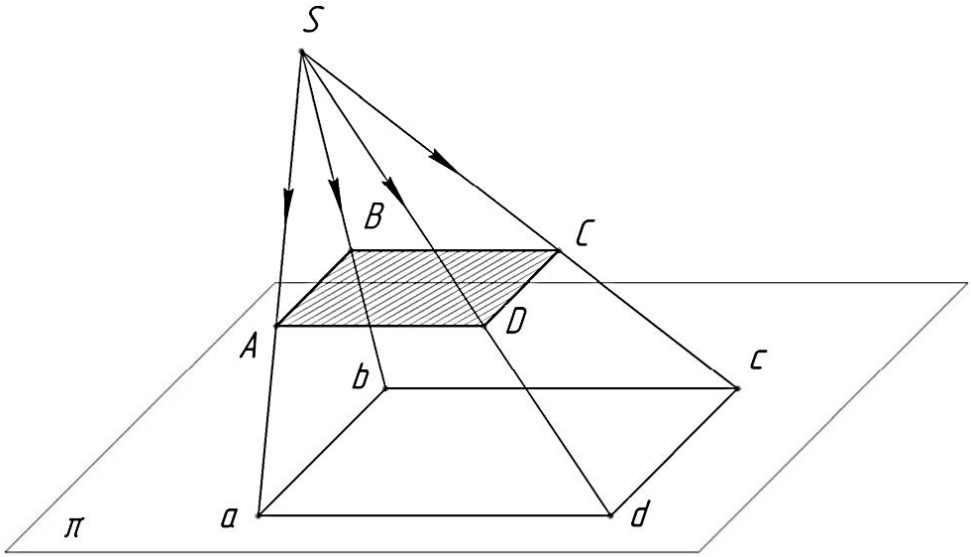


Ил. 9.9 – Построение спирали Архимеда

10. ПРОЕКЦИОННОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

10.1. Метод проецирования

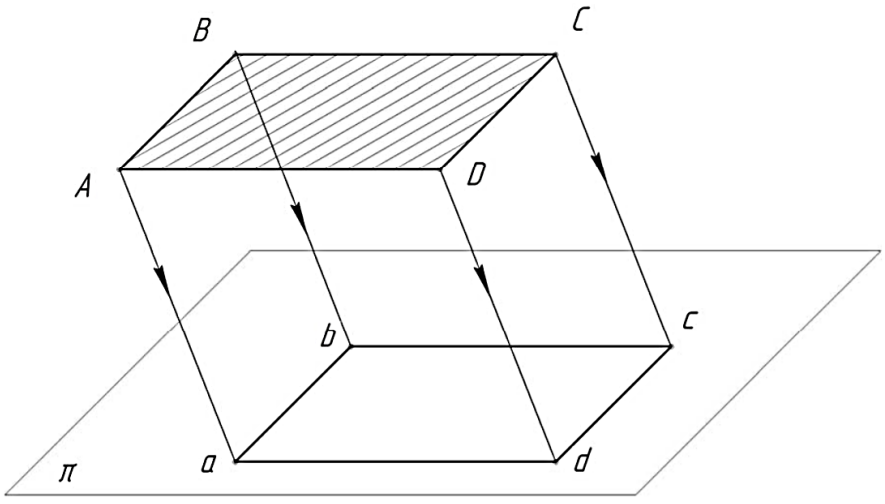
В основе любого чертежа лежит изображение предметов, которое выполняют методом прямоугольного (ортогонального) проецирования. Сущность метода проекции заключается в том, что через данный предмет проводят пучок лучей до пересечения с некоторой плоскостью. Совокупность полученных при этом точек пересечения представляет собой изображение, называемое проекцией, а процесс построения изображения называется проецированием. Плоскость, на которой получается проекция, называется плоскостью проекций (π). Если проецирующие лучи исходят из одной точки, проецирование называется центральным (Ил. 10.1).



Ил. 10.1 – Метод центрального проецирования

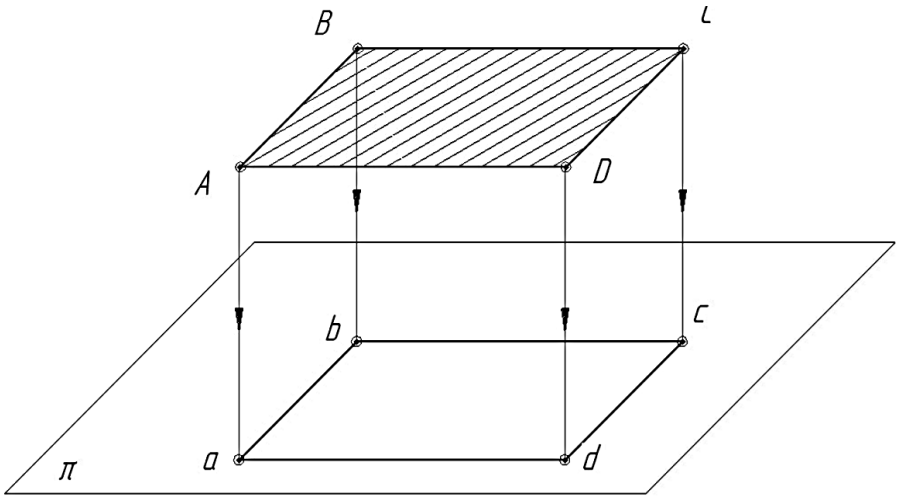
Центральную проекцию часто называют перспективой. Примерами центральной проекции являются фотоснимки и кинокадры, тени, отброшенные от предмета лучами электрической лампочки и др. Центральные проекции применяют в рисовании с натуры.

Если проецирующие лучи параллельны друг другу, то проецирование называется параллельным, а полученная проекция – параллельной. Примером параллельной проекции можно условно считать солнечные тени предметов. Строить изображения предмета в параллельной проекции проще, чем в центральной. При параллельном проецировании все лучи падают на плоскость проекций под одинаковым углом. Если это любой острый угол, то проецирование называется косоугольным (Ил. 10.2).



Ил. 10.2 – Метод косоугольного проецирования

В том случае, когда проецирующие лучи перпендикулярны плоскости проекций, проецирование называют прямоугольным (Ил. 10.3). Полученная при этом проекция называется прямоугольной.

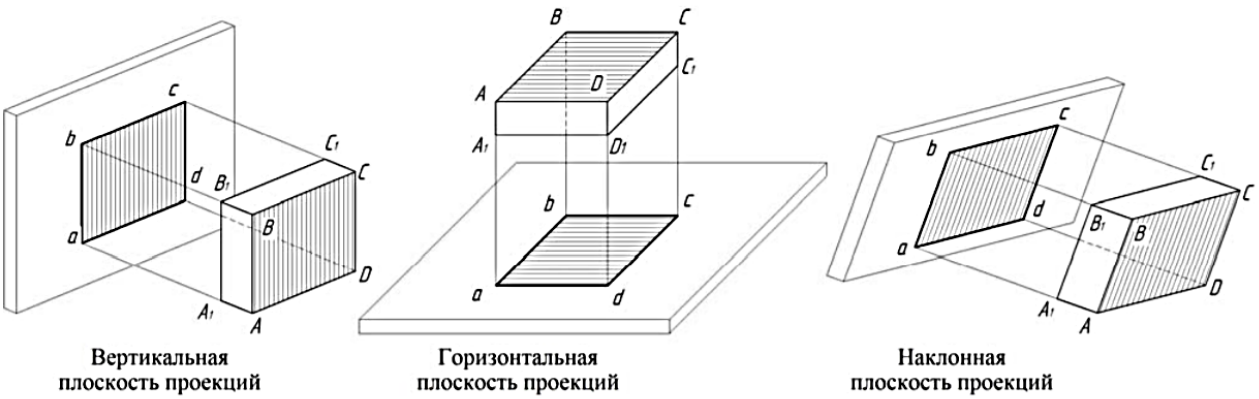


Ил. 10.3 – Метод прямоугольного проецирования

Изображения предметов на технических чертежах, исключая аксонометрические проекции, строятся по методу прямоугольного проецирования согласно правилам, установленным ГОСТ 2.305–68 «Единая система конструкторской документации. Изображения – виды, разрезы, сечения». Поэтому подробно рассмотрим только этот вид проецирования.

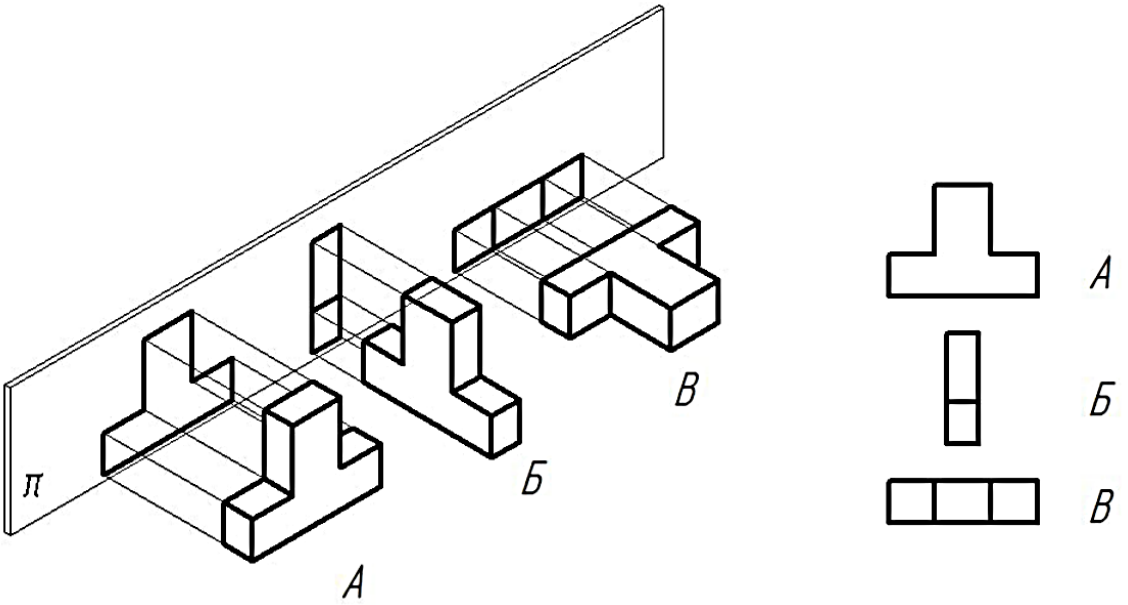
В пространстве плоскость проекций может располагаться как угодно: вертикально, наклонно, горизонтально.

Чтобы получить проекцию предмета на плоскости, его располагают параллельно этой плоскости (1-е условие) и через каждую вершину проводят лучи перпендикулярно этой плоскости (2-е условие) (Ил. 10.4).



Ил. 10.4 – Получение проекций

Пусть необходимо построить прямоугольную проекцию предмета, заданного на Ил. 10.5.



Ил. 10.5 – Получение проекций детали

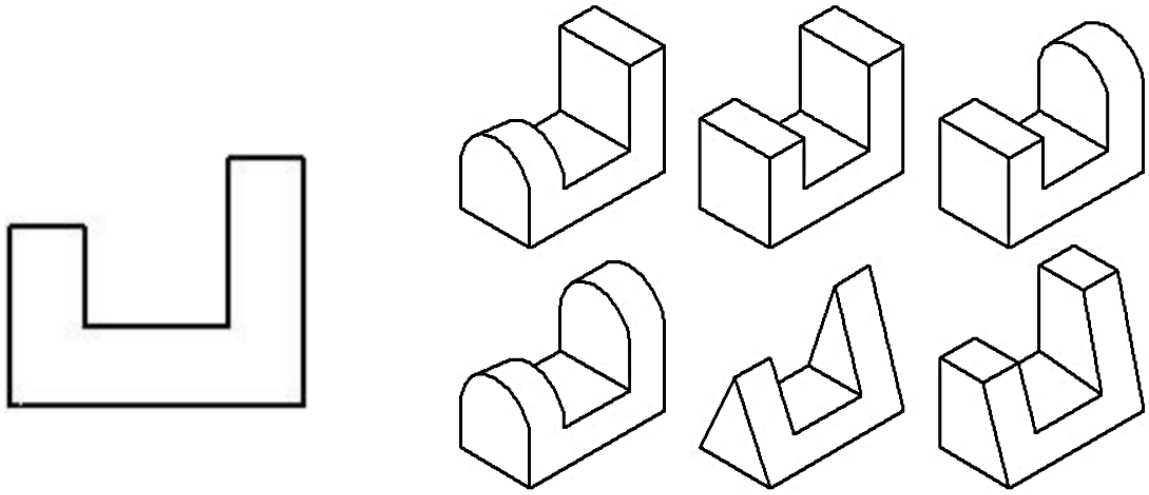
Выберем вертикальную плоскость проекций, обозначив ее π. Такую плоскость, расположенную перед наблюдателем, называют фронтальной, а изображение на ней видимой части предмета называют видом.

Через характерные точки предмета проводят проецирующие лучи до пересечения с плоскостью проекций. Точки пересечения соединяют прямыми или кривыми линиями. Полученная фигура будет проекцией предмета на плоскость.

На Ил. 10.5 показаны различные изображения детали на фронтальной (вертикальной) плоскости проекций. На изображении А форма детали передана наиболее полно.

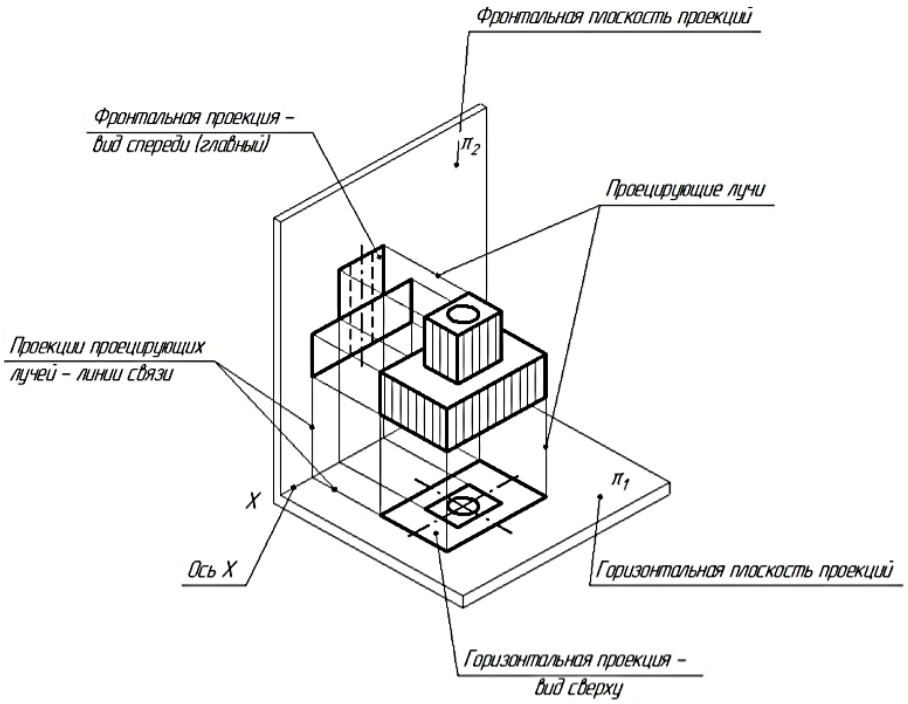
Изображение, полученное на фронтальной плоскости проекций и дающее наиболее полное представление о форме и размерах предмета, называют главным видом.

Одна проекция редко однозначно определяет геометрическую форму предмета. Например, по одной проекции, представленной на Ил. 10.6, можно представить детали различной формы.



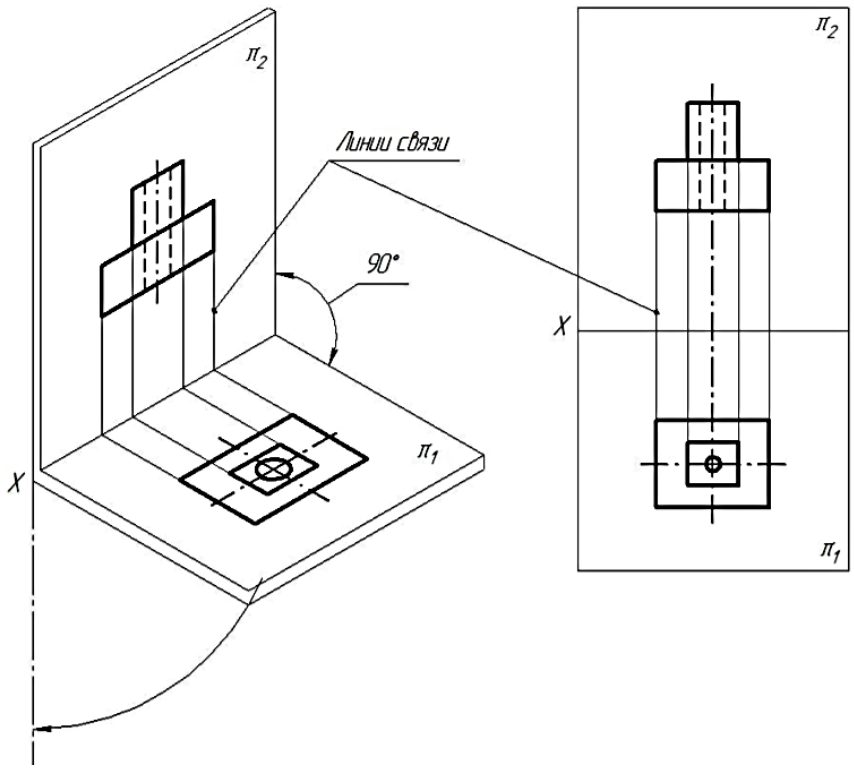
Ил. 10.6 – Проекция и возможные формы детали по данной проекции

В таких случаях нужно построить не одну, а две прямоугольные проекции предмета на две взаимно перпендикулярные плоскости: фронтальную (π_2) и горизонтальную (π_1) (Ил. 10.7).



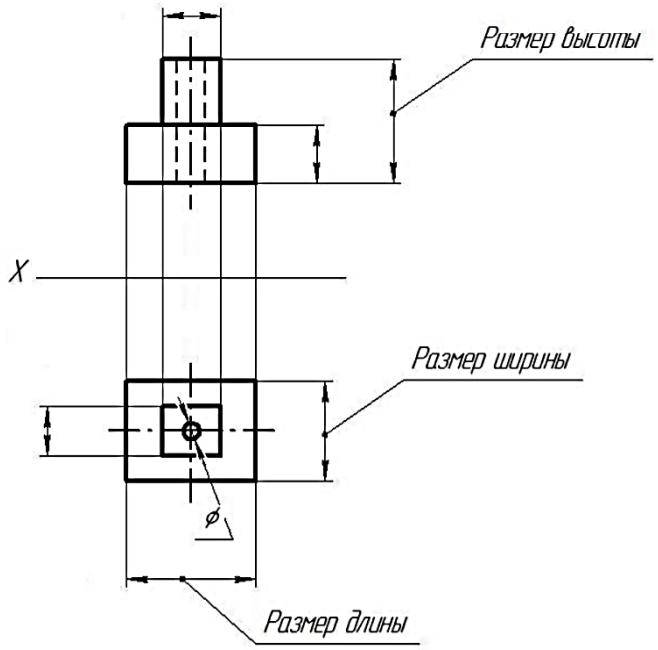
Ил. 10.6 – Горизонтальная (π_1) и фронтальная (π_2) плоскости проекций

Плоскости π_2 и π_1 пересекаются по оси *x*, вокруг которой плоскость π_1 поворачивается до совмещения с плоскостью π_2 (Ил. 10.8).



Ил. 10.7 – Плоскости проекций

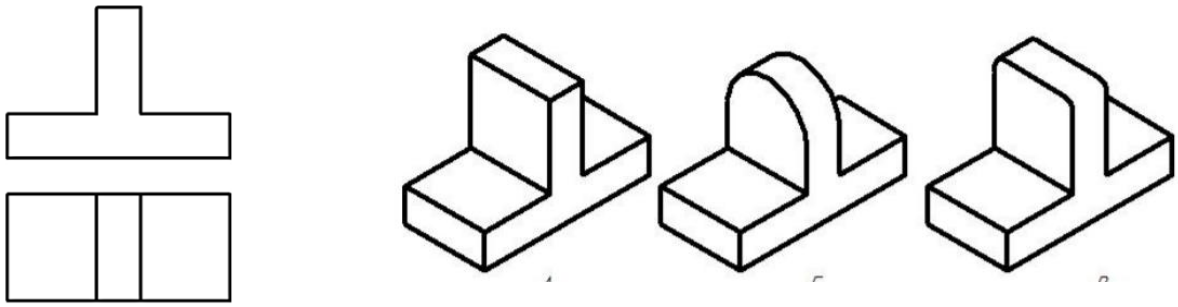
На чертеже по оси *x* или по прямым, параллельным ей, откладывают длину детали. Таким образом, на фронтальной плоскости проекций мы отображаем длину и высоту детали, а на горизонтальной – ее длину и ширину (Ил. 10.8).



Ил. 10.8 – Отображение размеров детали на плоскостях проекций

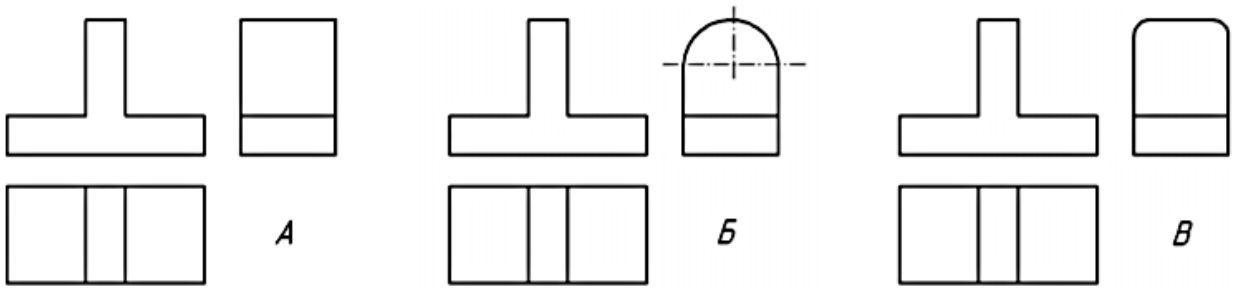
Чертеж, полученный на фронтальной и горизонтальной плоскостях проекций, называют комплексным, или эпюрой. Обе проекции объединены линиями проекционной связи.

Зачастую даже два вида детали не дают полного представления о ее геометрической форме (Ил. 10.9).



Ил. 10.9 – Две проекции и возможные формы детали по двум проекциям

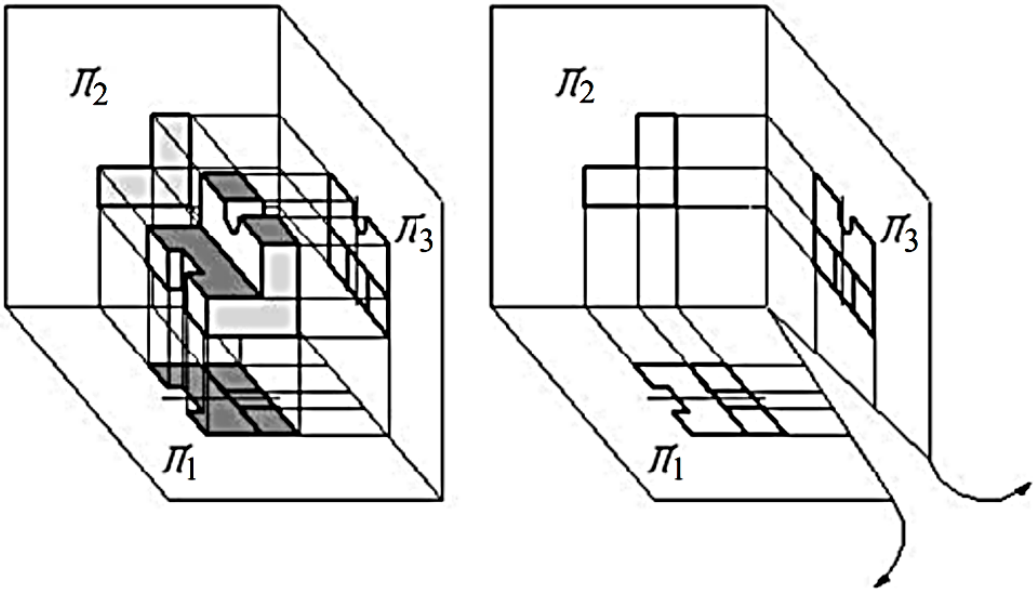
В этом случае для выявления формы детали надо построить ее проекцию на третью плоскость (Ил. 10.10).



Ил. 10.10 – Три проекции детали

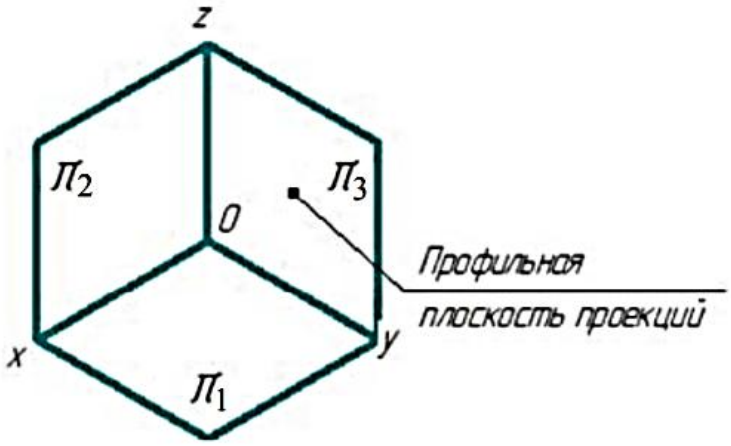
Третью плоскость проекций располагают перпендикулярно плоскостям проекций π_1 и π_2. Эту плоскость называют профильной и обозначают π_3, а полученную на ней проекцию – профильной проекцией предмета. Проецируемый предмет помещают в пространстве трехгранного угла, образованного плоскостями.

Плоскости π_2, π_1 и π_3, и рассматривают со всех сторон – спереди, сверху и слева (Ил. 10.11).



Ил. 10.11 – Образование трех проекций

Профильная плоскость проекций вертикальная. В пересечении с плоскостью π_1 она образует ось y, а с плоскостью π_2 – ось Z (Ил. 10.12).

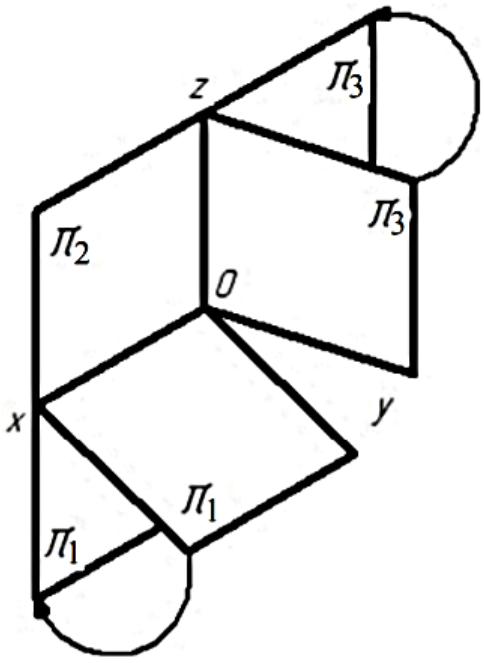


Ил. 10.12 – Профильная плоскость проекций

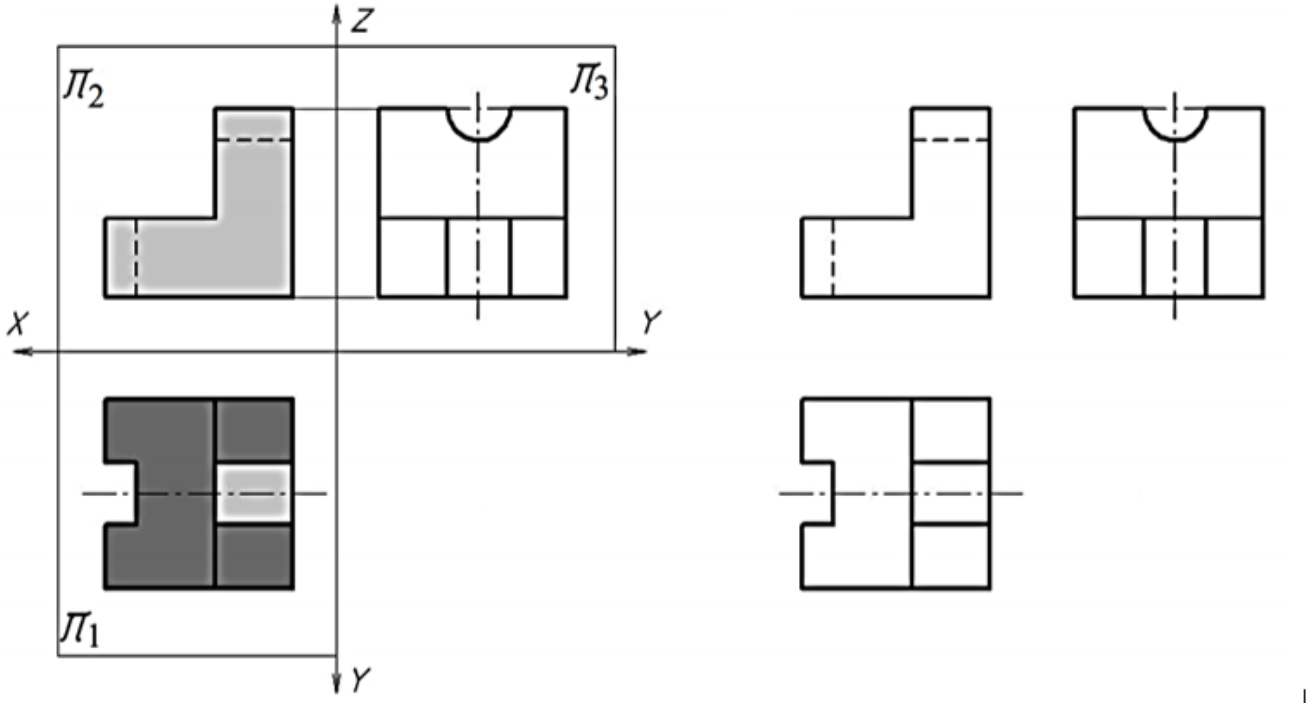
Для получения чертежа предмета плоскость π_3 поворачивают на 90° вправо, а плоскость π_1 – на 90° вниз (Ил. 10.13).

Полученный таким образом чертеж содержит три прямоугольные проекции предмета: фронтальную, горизонтальную и профильную (Ил. 10.14, а).

На чертежах плоскости и оси проекций, а также линии проекционной связи не показывают. Профильную проекцию располагают в проекционной связи с фронтальной, справа от нее на одной высоте. Надо запомнить, что длина детали всегда располагается вдоль оси x, высота – вдоль оси z, ширина – вдоль оси y (Ил. 10.14, б).



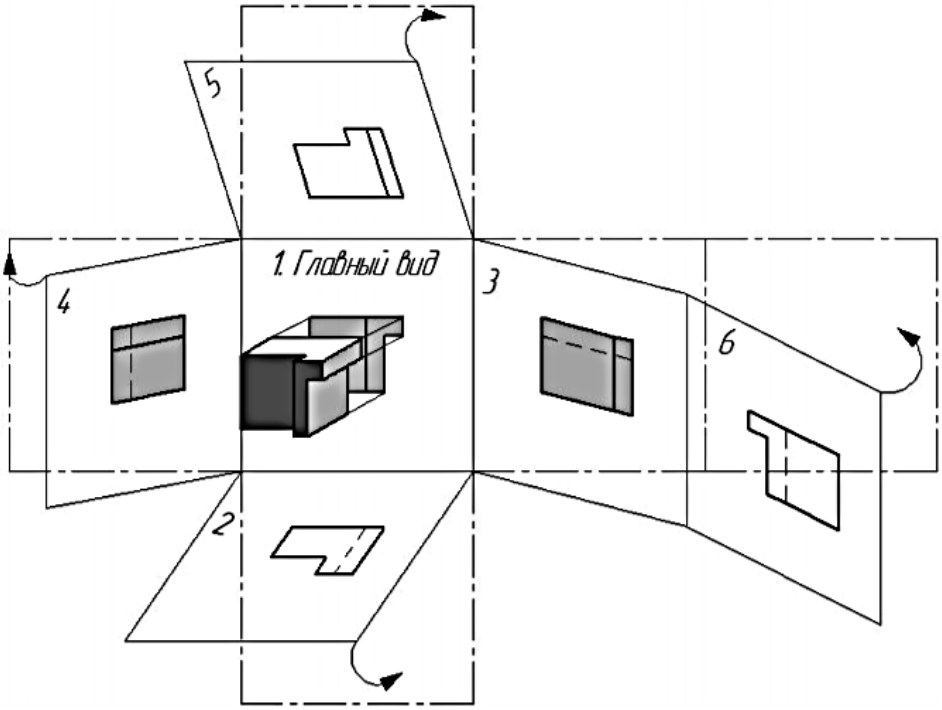
Ил. 10.13 – Получение чертежа проекций



а б

Ил. 10.14 – Проекции детали (а) и чертеж трех проекций детали (б)

Если для изображения простого геометрического тела было достаточно трех плоскостей проекций, то в общем случае для изображения предметов, особенно сложной формы, необходимо большее число плоскостей проекций. За основные плоскости проекций принимаются 6 граней куба, которые разворачиваются в одну плоскость (Ил. 10.15).



Ил. 10.15 – Расположение плоскостей проекций на чертеже

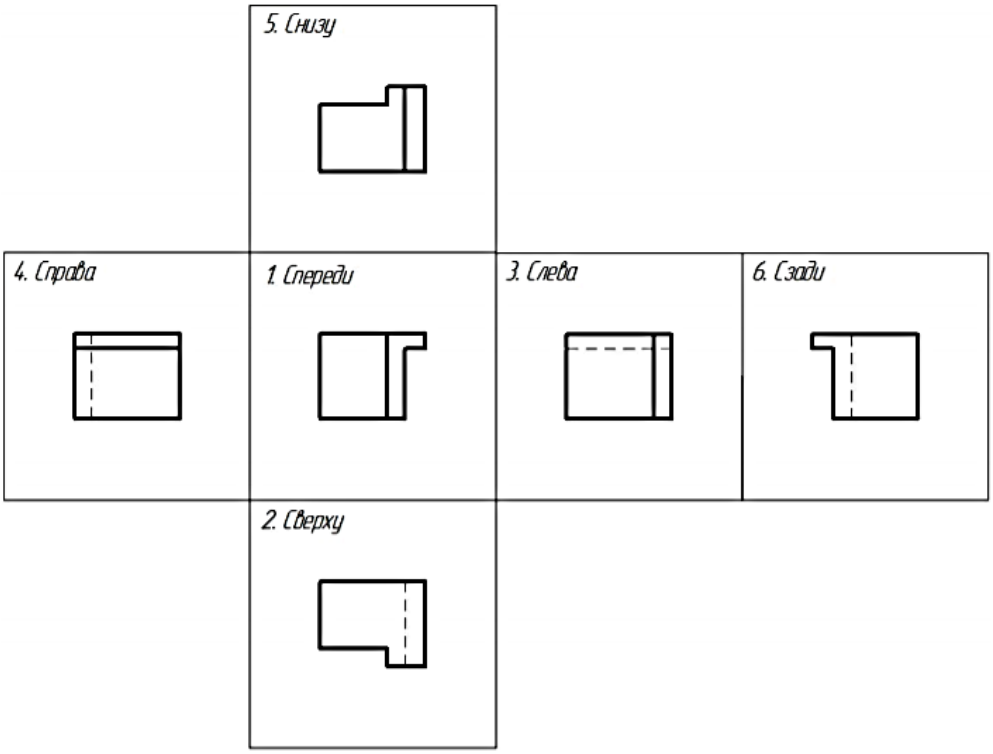
Предмет мысленно располагают внутри куба (его заднюю грань 1 принимают за фронтальную плоскость проекций) и строят проекции предмета на каждой грани. Если после этого развернуть грани куба до совмещения с фронтальной плоскостью 1, то получим изображения предмета на шести плоскостях проекций.

Для полного выявления формы предмета на чертеже применяют различные изображения: виды, разрезы, сечения.

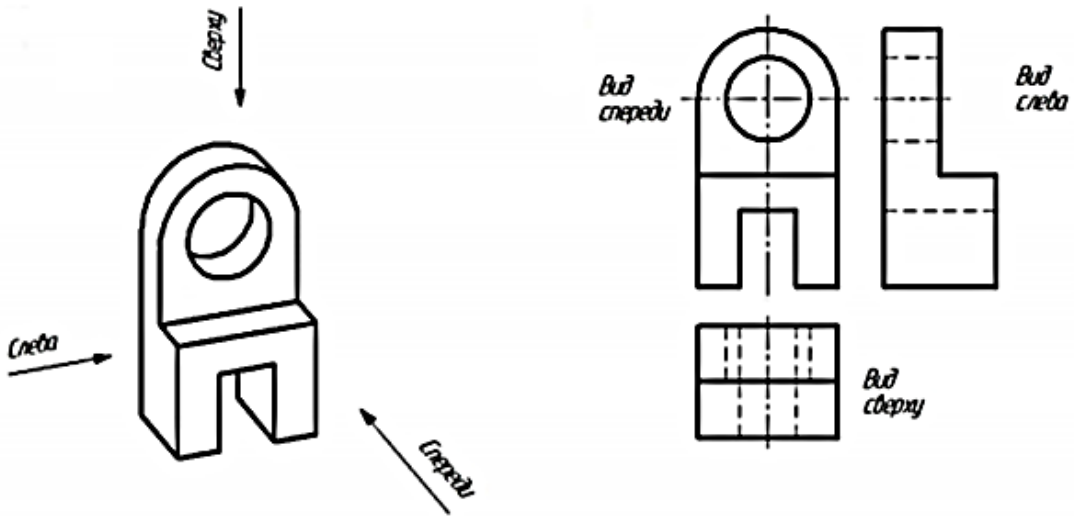
10.2. Основные виды

Видом называют изображение обращенной к наблюдателю видимой части предмета. На Ил. 10.16 представлены 6 основных видов.

На проекционном чертеже чаще применяют три плоскости проекций (Ил. 10.17). Названия видов зависят от того, с какой стороны смотреть на предмет. Направления взгляда указаны на Ил. 10.17 стрелками с надписями.



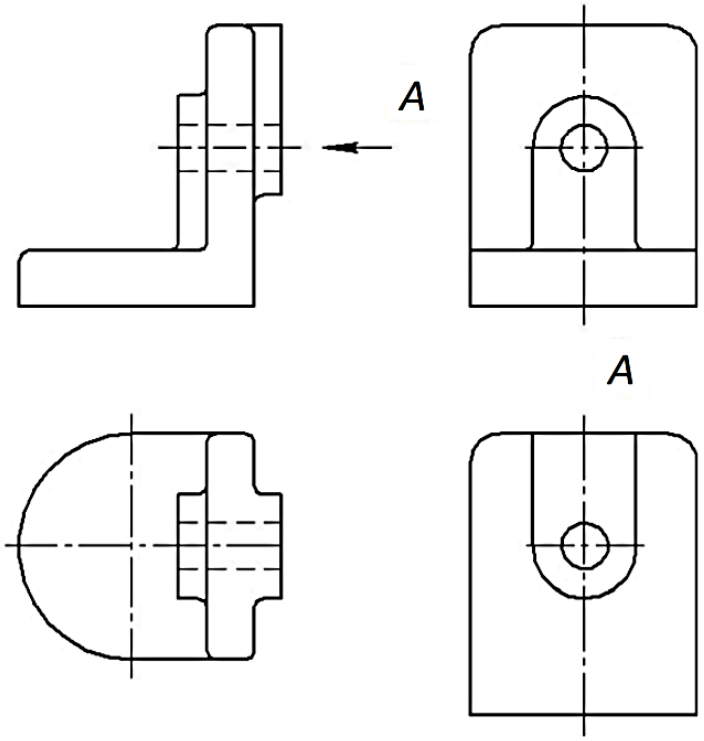
Ил. 10.16 – Изображение предмета на шести плоскостях проекций



Ил. 10.17 – Предмет изображения и его три вида

Изображение на фронтальной плоскости проекции (вид спереди) принимают на чертеже в качестве главного. Изображение на горизонтальной плоскости проекций называют видом сверху; на профильной – видом слева. К основным видам также относят вид справа, который располагается слева от главного вида, вид снизу – над главным видом и вид сзади – справа от вида слева или слева от вида справа.

Если все перечисленные основные виды находятся в проекционной связи с главным видом, их названия на чертеже не наносят, не показывают. Если проекционная связь отсутствует, то направление проецирования (взгляда) должно быть указано стрелкой у соответствующего вида. Над стрелкой и полученным изображением следует нанести одну и ту же прописную букву русского алфавита начиная с буквы А (например, А на Ил. 10.18).

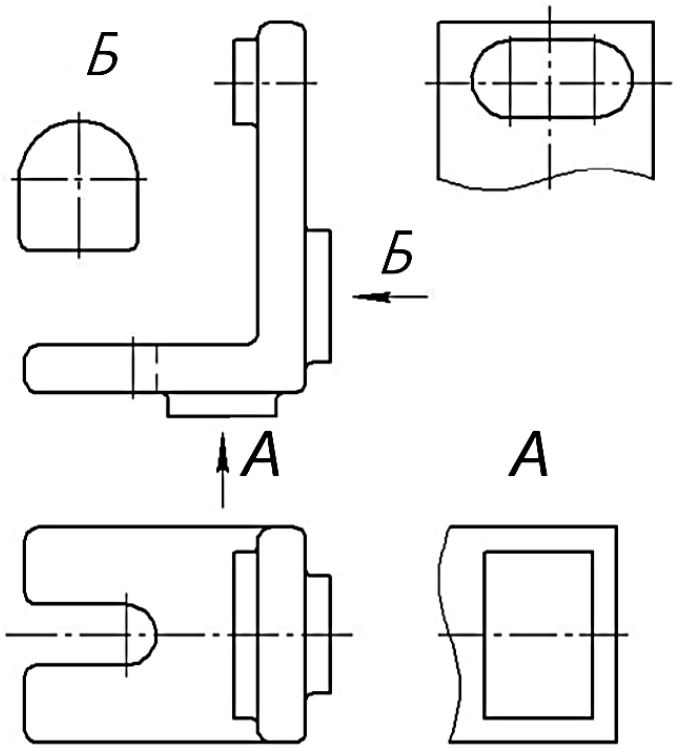


Ил. 10.18 – Оформление (подпись) вида

10.3. Местные и дополнительные виды

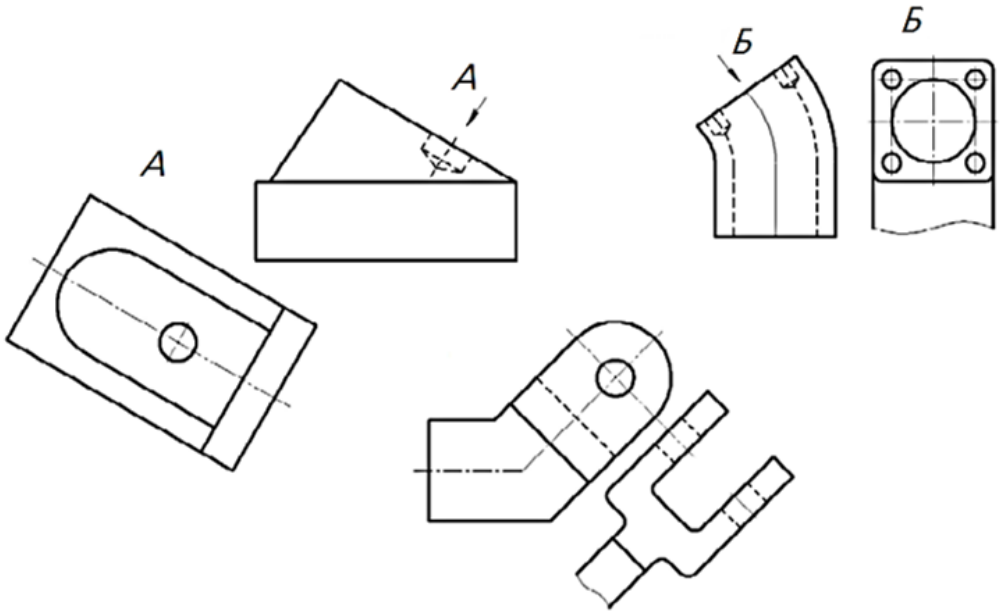
В некоторых случаях на чертежах вместо полного вида можно применить его часть. Изображение отдельного, ограниченного места поверхности предмета называется местным видом. Его применяют в том случае, когда требуется показать форму и размеры отдельных элементов детали (фланца, шпоночной канавки и пр.).

Местный вид может быть ограничен линией обрыва, осью симметрии или не ограничен. Он может быть отмечен на чертеже надписью. Располагают местный вид на свободном поле чертежа или в проекционной связи с другими изображениями (Ил. 10.19).



Ил. 10.19 – Пример изображения местных видов

Когда какая-нибудь часть предмета не может быть показана на основных плоскостях проекций без искажения формы, применяют дополнительные виды, которые получаются на плоскостях, непараллельных основным плоскостям проекций (Ил. 10.20).



Ил. 10.20 – Пример изображения дополнительных видов

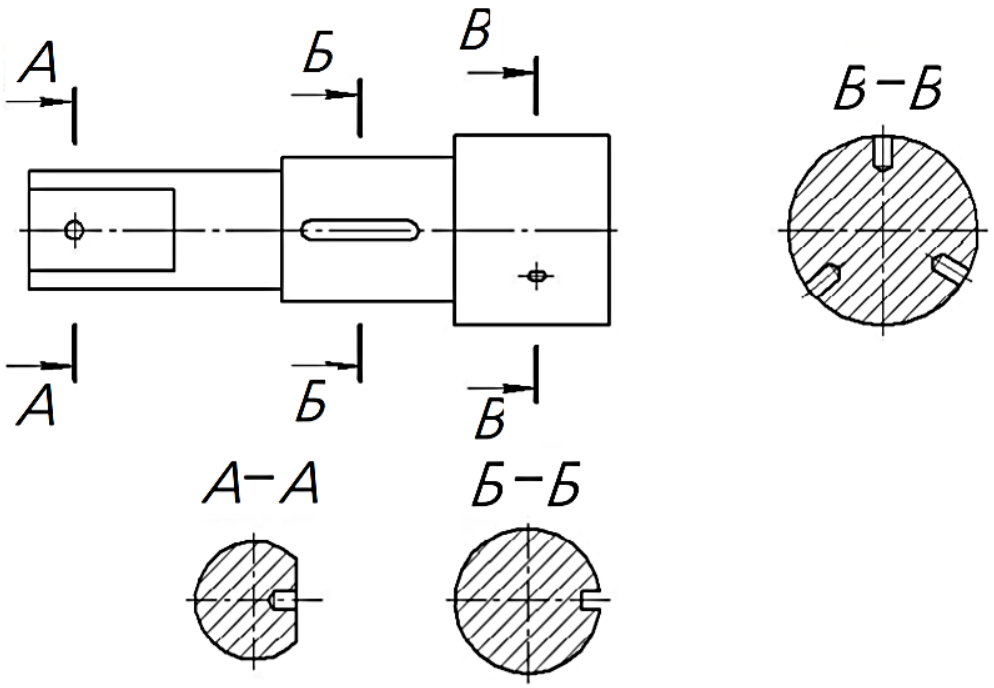
Дополнительные виды обозначаются аналогично видам на основных плоскостях проекций. Если дополнительный вид расположен в проекционной связи с соответствующим изображением, то стрелку и обозначение вида не наносят. Дополнительный вид можно повернуть до положения параллельного основной надписи. Обозначение при этом должно быть дополнено условным графическим обозначением ←. Минимальный диаметр знака поворота равен 5 мм, стрелка проводится слева под 90°.

Чтобы понять по чертежу форму сложного предмета, его мысленно разделяют на части, представляющие собой геометрические тела, т. е. анализируют форму. Мысленно объединив эти части, воссоздают общую форму предмета. Но форму большинства предметов с помощью одних видов не выявить. Поэтому для определения внутренних очертаний предметов применяют сечения и разрезы.

10.4. Сечения

Сечением называется изображение фигуры, получающейся при мысленном рассечении предмета одной или несколькими плоскостями.

В сечении показывается только то, что получается непосредственно в секущей плоскости (Ил. 10.21).



Ил. 10.21 – Сечения

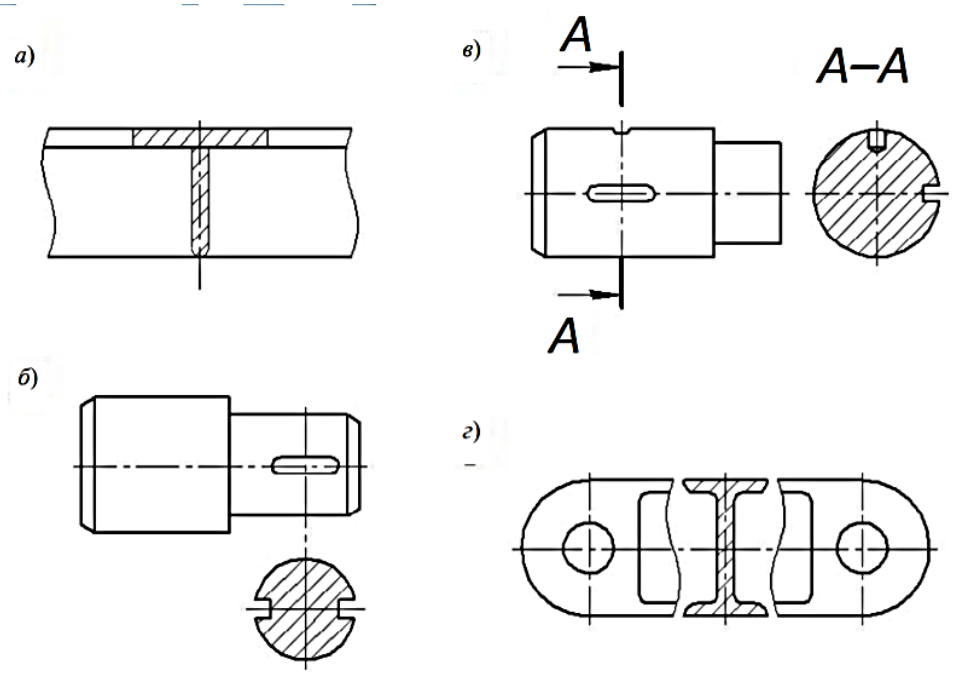
Секущей плоскостью называют вспомогательную плоскость, которой мысленно рассекают деталь. Сечения применяют в основном для того, чтобы показать поперечную форму предмета. Фигуру сечения на чертеже выделяют штриховкой, чтобы отличить на детали мысленно образованные поверхности от существующих.

По расположению сечения делятся на наложенные и вынесенные.

Наложенными называются сечения, расположенные непосредственно на видах чертежа (Ил. 10.22, а). Контур наложенного сечения обводят сплошной тонкой линией, причем контур изображения в месте расположения наложенного сечения не прерывают.

Вынесенными называют сечения, расположенные вне контура изображений деталей (Ил. 10.21, 10.22, б–г). Контур вынесенного сечения обводят сплошной толстой линией такой же толщины, как и линия, выбранная для обводки контура изображения. Эти сечения допускается располагать на любом месте поля чертежа (Ил. 10.21). Они могут быть помещены непосредственно на продолжении линии сечения (см. Ил. 10.22, б) или в стороне от этой линии, в частности на месте, предназначенном для одного из видов (Ил. 10.22, в), а также в разрыве между частями вида (Ил. 10.22, г).

Вынесенным сечениям следует отдавать предпочтение перед наложенными, так как последние затемняют виды чертежа и неудобны для нанесения размеров.



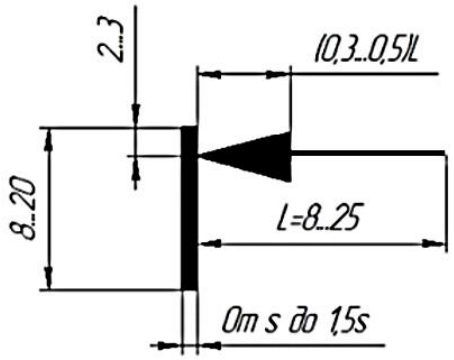
Ил. 10.22 – Вынесенные сечения

Если изображение наложенного или вынесенного сечения симметричное, то его выполняют без обозначения буквами и стрелками, а линию сечения не проводят (ею является ось симметрии). Это указано на Ил. 10.22, а, б, г. Во всех остальных случаях в качестве линии сечения применяют разомкнутую линию (Ил. 10.21, 10.22, в), начальный и конечный штрихи которой не должны пересекать контур соответствующего изображения. Толщина штрихов разомкнутой линии берется от s до 1,5s (s – толщина линии основного контура), а длина – от 8 до 20 мм.

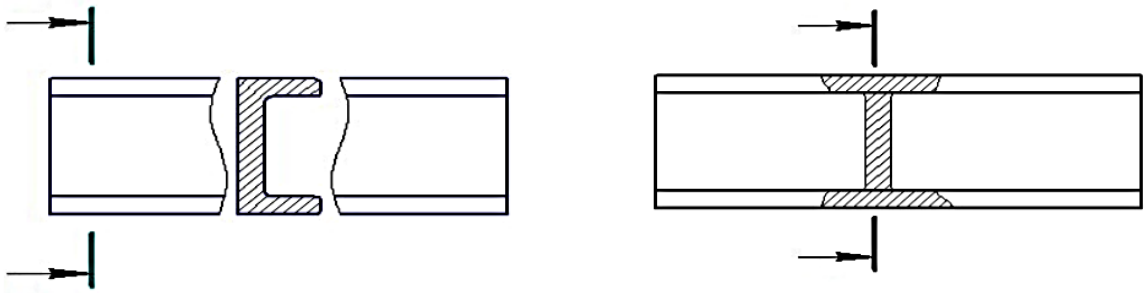
На начальном и конечном штрихах, перпендикулярно им на расстоянии 2…3 мм от наружного конца штриха, ставят стрелки, указывающие направление взгляда.

Форма, соотношение размеров стрелок и взаимное расположение стрелок и разомкнутой линии показаны на Ил. 10.23. У начала и конца линии сечения ставят одну и ту же прописную букву русского алфавита. Буквы наносят с внешней стороны стрелок, указывающих направление взгляда. Над сечением делают надпись по типу А–А, т. е. сечение обозначают двумя одинаковыми буквами через тире.

Для несимметричных сечений, расположенных в разрыве вида (Ил. 10.24,а) или наложенных (Ил. 10.24, б), линию сечения проводят со стрелками, но буквы не ставят.



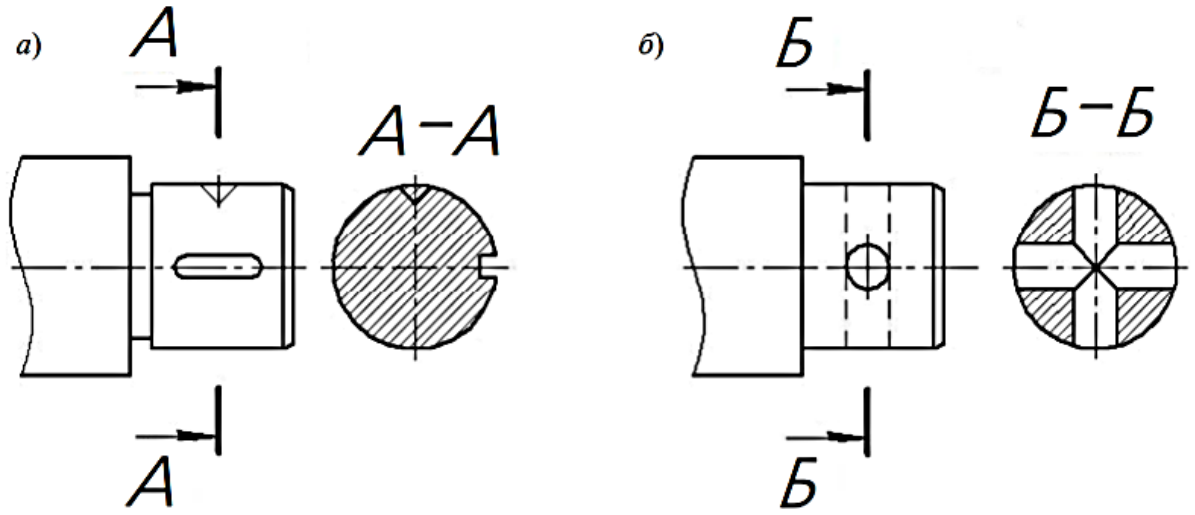
Ил. 10.23 – Форма и размеры стрелок при оформлении сечений



а б

Ил. 10.24 – Оформление сечений:
а – в разрыве вида; б – наложенных

Если секущая плоскость проходит через ось поверхности вращения, ограничивающей отверстие или углубление, то контур отверстия или углубления в сечении показывают полностью (Ил. 10.25).



Ил. 10.25 – Сечения, проходящие через ось поверхности вращения

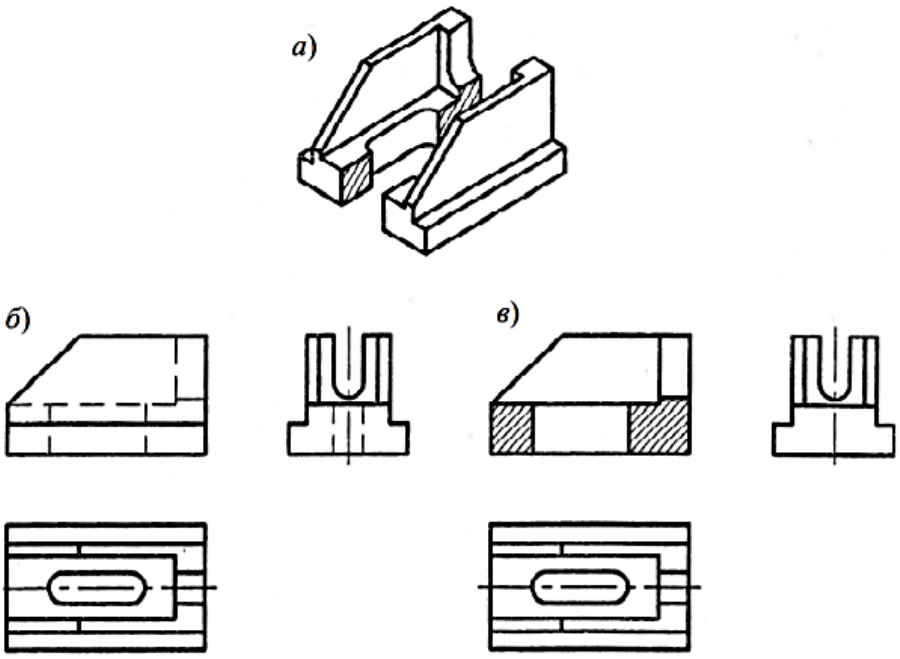
10.5. Разрезы

Невидимые внутренние очертания предметов допускается показывать на чертежах штриховыми линиями. Однако, эти линии плохо выявляют форму детали, а иногда перекрываются линиями контура. Кроме того, от штриховых линий не рекомендуется наносить размеры. Чтобы яснее показать внутреннюю форму детали, применяют разрезы.

Разрезом называют изображение предмета, мысленно рассеченного одной или несколькими плоскостями. При этом ту часть предмета, которая расположена между глазом наблюдателя и секущей плоскостью, мысленно удаляют.

На разрезе показывают то, что находится в секущей плоскости и что расположено за ней. Иначе говоря, разрез состоит из сечения, уже изученного нами, и того, что расположено за секущей плоскостью.

Деталь, внутреннюю форму которой целесообразно выявить разрезом, изображена на Ил. 10.26, а; три вида этой детали даны на Ил. 10.26, б, где внутренние очертания на главном виде показаны штриховыми линиями, а выступ у основания – сплошной основной линией.

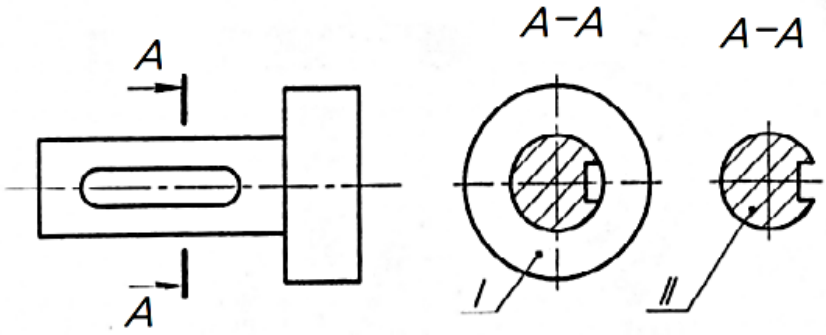


Ил. 10.26 – Деталь (а), виды (б) и разрез детали (в)

Разрез, приведенный на Ил. 38, в, получен следующим образом. Деталь вдоль линии симметрии рассечена плоскостью, параллельной фронтальной плоскости проекций; передняя половина детали мысленно удалена, а оставшаяся половина изображена полностью. Показано сечение, которое получилось в секущей плоскости, и то, что находится за ней. Этот разрез помещен на месте главного вида. Виды сверху и слева при этом не изменились (за исключением штриховых линий на виде слева, которые здесь будут лишними).

При выполнении разреза штриховые линии, которыми до разреза были показаны внутренние очертания детали, заменены на сплошные основные; сечение, входящее в разрез, заштриховано; линии, находящиеся на передней (не изображаемой) половине предмета, не показаны.

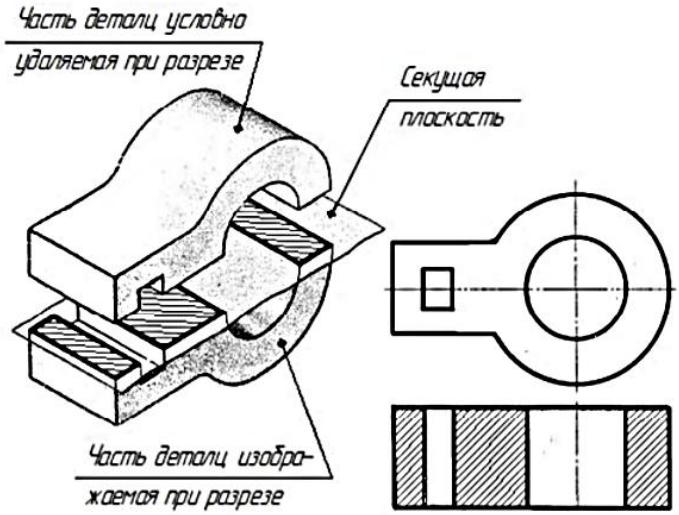
Между разрезом и сечением при одной и той же секущей плоскости есть разница, которую видно из сравнения изображений на Ил. 10.27: I – разрез, II – сечение.



Ил. 10.27 – Разрез и сечение детали

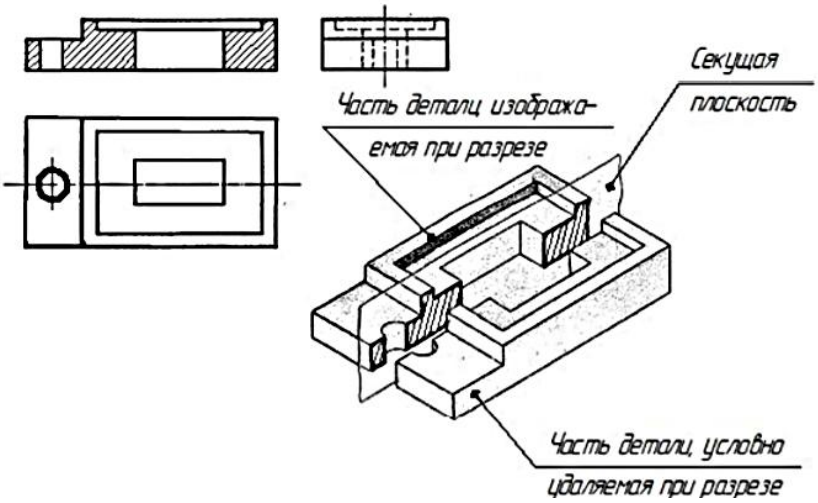
В зависимости от числа секущих плоскостей разрезы подразделяются на простые – при одной секущей плоскости и сложные – при нескольких секущих плоскостях.

В зависимости от положения секущих плоскостей относительно плоскостей проекций разрезы разделяются на горизонтальные, вертикальные и наклонные. У горизонтальных разрезов секущая плоскость параллельна горизонтальной плоскости проекций (Ил. 10.28)

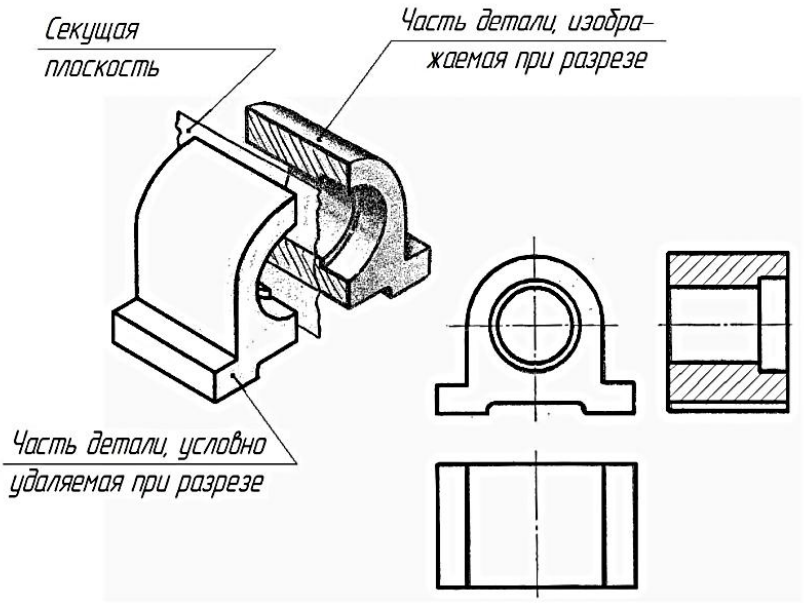


Ил. 10.28 – Горизонтальный разрез

У вертикальных разрезов секущая плоскость перпендикулярна горизонтальной плоскости проекций. Вертикальные разрезы называются фронтальными, если секущая плоскость параллельна фронтальной плоскости проекций (Ил. 10.29), и профильными, если секущая плоскость параллельна профильной плоскости проекций (Ил. 10.30).



Ил. 10.29 – Вертикальный разрез

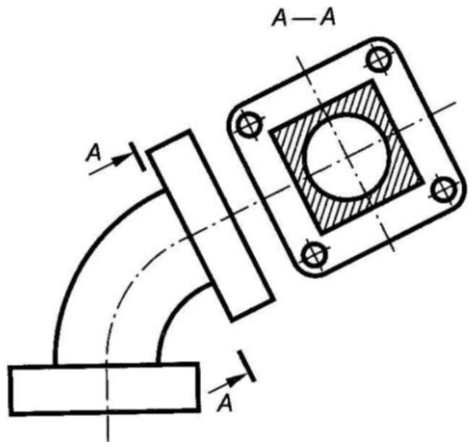


Ил. 10.30 – Профильный разрез

Разрез называется продольным, если секущая плоскость направлена вдоль длины или высоты предмета, и поперечным, если секущая плоскость направлена перпендикулярно длине или высоте предмета.

Фронтальные, профильные и горизонтальные разрезы располагаются на месте соответствующих основных видов. Фронтальный разрез располагают на месте вида спереди, профильный – на месте вида слева, горизонтальный – на месте вида сверху.

Если деталь имеет наклонно расположенные полые элементы, применяют наклонный разрез. У наклонных разрезов секущая плоскость не параллельна ни одной из основных плоскостей проекций (Ил. 10.31).

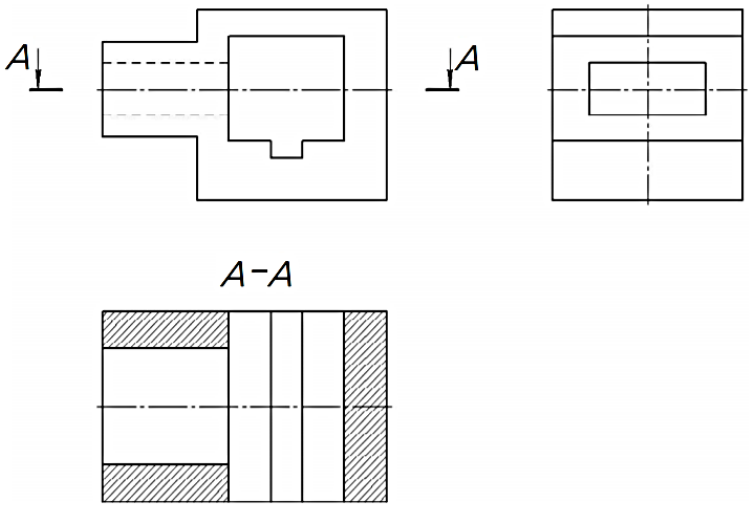


Ил. 10.31 – Наклонный разрез

Наклонный разрез проецируют на дополнительную плоскость, параллельную секущей, совмещая ее с плоскостью чертежа. Наклонные разрезы должны располагаться в соответствии с направлением взгляда, указанного

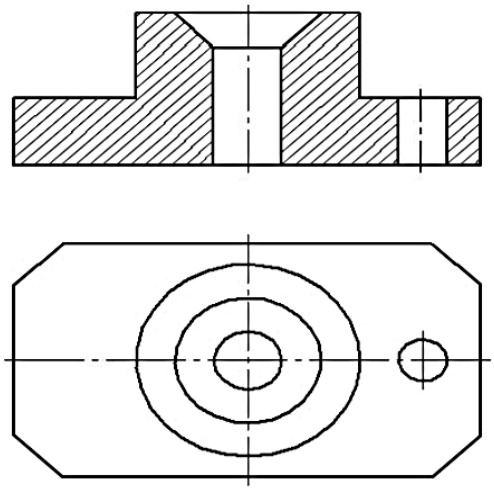
стрелками на линии сечения. Допускается располагать наклонные разрезы на любом месте поля чертежа вне проекционной связи с видом, но с учетом направления взгляда. При необходимости наклонные разрезы могут располагаться с поворотом. В зависимости от конструкции детали выбирают тот или иной разрез.

Как правило, положение секущих плоскостей (так же, как и для сечений) указывают на чертежах разомкнутой линией со стрелками и буквами (Ил. 10.32).



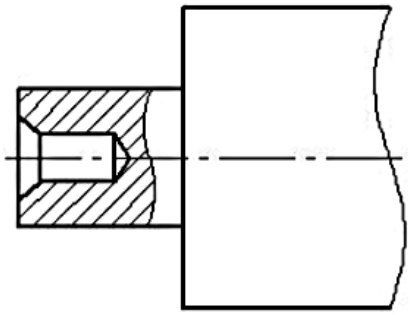
Ил. 10.32 – Пример обозначения секущей плоскости

Однако, если секущая плоскость совпадает с плоскостью симметрии предмета и его соответствующие изображения расположены на одном чертеже в непосредственной проекционной связи, то в этом случае для горизонтальных, фронтальных и профильных разрезов линию сечения не показывают и разрез не обозначают (Ил. 10.33).



Ил. 10.33 – Пример оформления разреза
(без обозначения секущей плоскости)

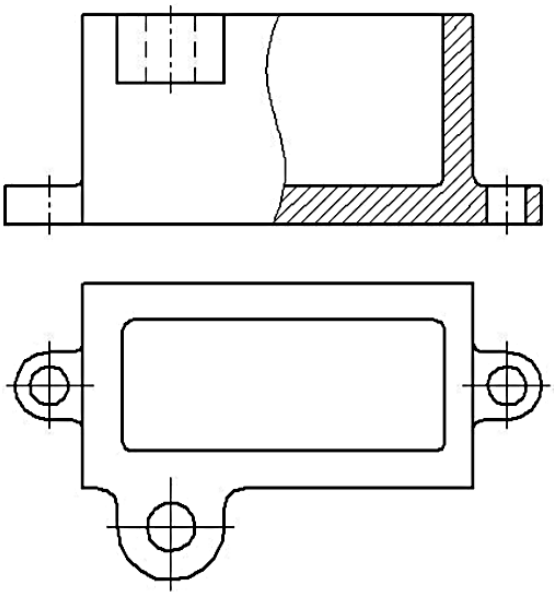
Чтобы показать в сплошной детали небольшое углубление или отверстие, применяют местный разрез. Он служит для выявления устройства предмета лишь в отдельном, узко ограниченном месте (Ил. 10.34). Местный разрез выделяют на виде сплошной тонкой волнистой линией, проводимой от руки, и никак не обозначают. Линия разделения толщиной от s/3 до s/2 не должна совпадать с какими-либо другими линиями изображения.



Ил. 10.34 – Пример оформления местного разреза

Часто для лучшего выявления формы предмета или для уменьшения количества изображений используется соединение вида с разрезом на одном изображении.

Допускается соединять на одном изображении часть вида и часть соответствующего разреза, разделяя их сплошной волнистой линией (Ил. 10.35).

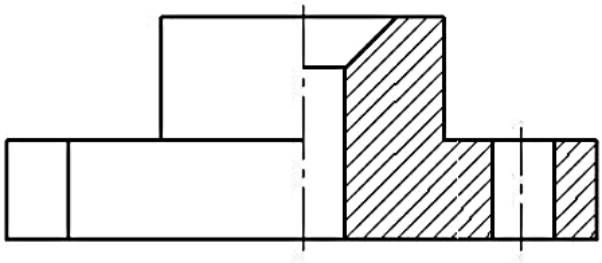


Ил. 10.35 – Пример оформления разреза

Если разрез представляет собой симметричную фигуру, изображают не весь разрез, а его половину, которую соединяют с половиной соответствующего вида: фронтальный – с видом спереди (Ил. 10.36), профильный – с видом слева,

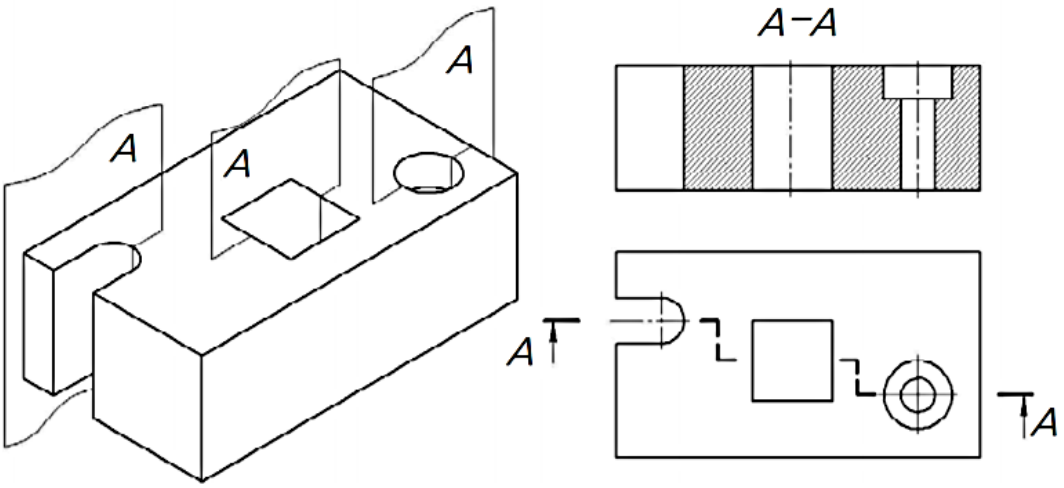
горизонтальный – с видом сверху. При этом необходимо соблюдать следующие правила:

- границей между видом и разрезом должна служить ось симметрии – тонкая штрихпунктирная линия;
- на половине вида штриховые линии, изображающие контур внутренних очертаний не проводят;
- размерные линии, относящиеся к элементу детали, вычерченному только до оси симметрии (например, отверстия), проводят несколько дальше оси и ограничивают стрелкой с одной стороны; размер указывают полный.

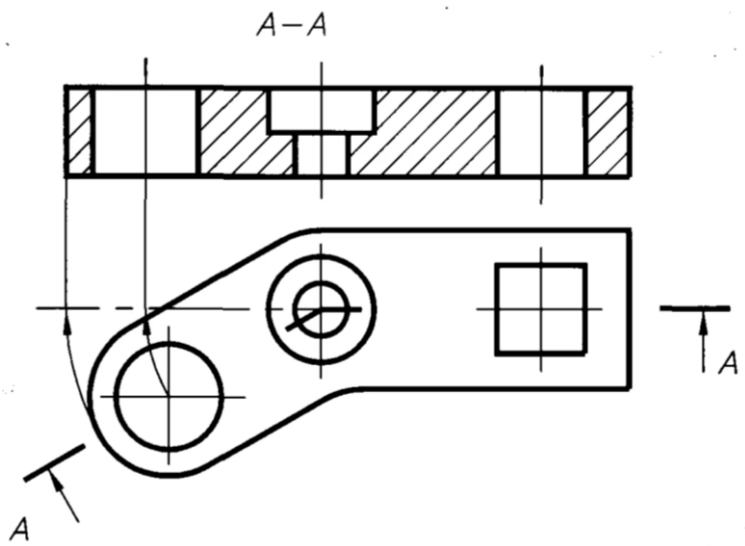


Ил. 10.36 – Пример оформления разреза на симметричной детали

Рассмотренные выше разрезы относятся к простым, так как при их выполнении на чертеже применяют сечение детали одной плоскостью. Если при изображении деталей простыми разрезами не удается выявить их внутреннее устройство, используют сложные разрезы с применением нескольких секущих плоскостей. Если секущие плоскости параллельны, то сложный разрез называют ступенчатым (Ил. 10.37, а если они пересекаются – ломаным (Ил. 10.38).



Ил. 10.37 – Ступенчатый разрез



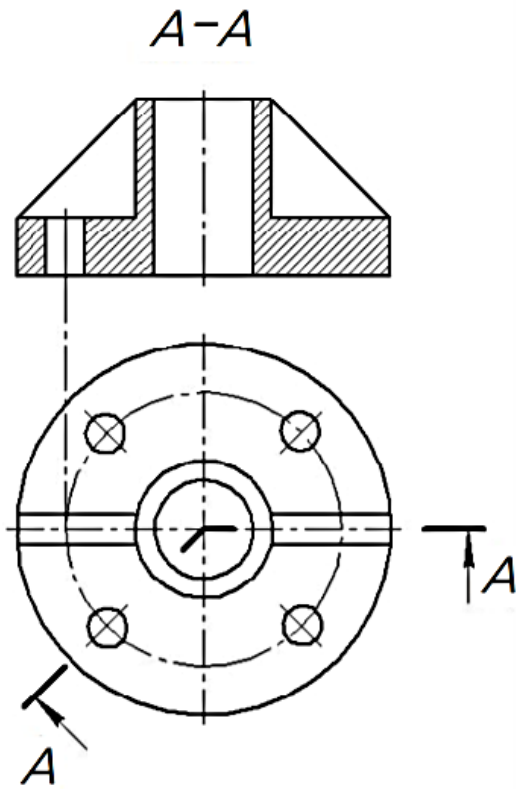
Ил. 10.38 – Ломаный разрез

Как и в простых разрезах, в сложных сечениях положение секущей плоскости указывают на чертеже линией сечения. Для линии сечения применяют разомкнутую линию, которая при сложных разрезах имеет штрихи у мест пересечения секущих плоскостей между собой (Ил. 10.37, 10.38).

При ступенчатых разрезах секущие плоскости условно совмещают с одной плоскостью, параллельной плоскости проекций. «Ступенька» – переход с одной плоскости на другую – не отображается на изображении самого разреза. Штриховка такого разреза не прерывается и не меняется по направлению.

При ломаных разрезах секущие плоскости условно поворачивают до совмещения в одну плоскость, параллельную соответствующей плоскости проекций. На Ил. 10.38 деталь рассечена двумя пересекающимися секущими плоскостями, одна из которых является горизонтальной. Наклонная секущая плоскость, расположенная левее, мысленно поворачивается вокруг линии пересечения секущих плоскостей до совмещения с горизонтальной секущей плоскостью. Вместе с секущей плоскостью поворачивается расположенная в ней фигура сечения детали. На виде сверху дано изображение рассеченной детали после выполнения указанного поворота. Для наглядности нанесены линии связи в положение детали после поворота. Эти построения на чертеже не показывают.

При повороте секущей плоскости элементы предмета, расположенные за ней, вычерчивают так, как они проецируются на соответствующую плоскость проекций (Ил. 10.39).



Ил. 10.39 – Ломаный разрез

Чтобы придать чертежу наглядность, сечения (в том числе входящие в состав разреза) штрихуют. Штриховка наносится сплошными тонкими параллельными линиями под углом 45° к линиям рамки чертежа в одну и ту же сторону (влево или вправо) на всех сечениях одной и той же детали. Если линии контура детали или осевые линии расположены под углом 45° к линиям рамки чертежа, то угол наклона линий штриховки следует брать 30 или 60°.

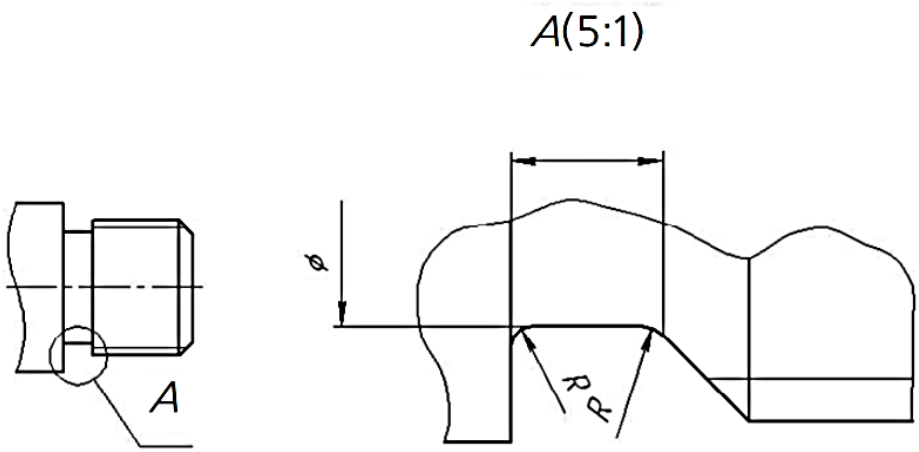
Расстояние между линиями штриховки должно быть одинаковым для всех сечений данной детали и выбирается в пределах от 1 до 3 мм в зависимости от площади штриховки.

10.6. Выносные элементы

Если какая-либо часть предмета требует пояснений в отношении формы, размеров и других данных, выполняется дополнительное увеличенное изображение, называемое выносным элементом.

Выносной элемент может содержать подробности, не указанные на соответствующем основном изображении, но и отличаться от него по содержанию (например, основное изображение – вид, а выносной элемент – разрез). Место на изображении, к которому относится выносной элемент, отмечают сплошной замкнутой тонкой линией (окружностью, овалом и т. п.), с

обозначением этого места прописной буквой на полке линии-выноски. Над изображением выносного элемента указывают обозначение и масштаб (в скобках), в котором он выполнен. Располагают его возможно ближе к соответствующему месту на изображении основного предмета (Ил. 10.40).



Ил. 10.40 – Выносной элемент

10.7. Выполнение эскиза чертежа

Эскиз – это чертеж, предназначенный для разового использования в производстве, выполненный «от руки» (без применения чертежных инструментов), в глазомерном масштабе, с соблюдением пропорций изображаемого предмета, по правилам прямоугольного проецирования и содержащий все данные для изготовления изделия. Если эскиз используется многократно, то по эскизу выполняют чертеж.

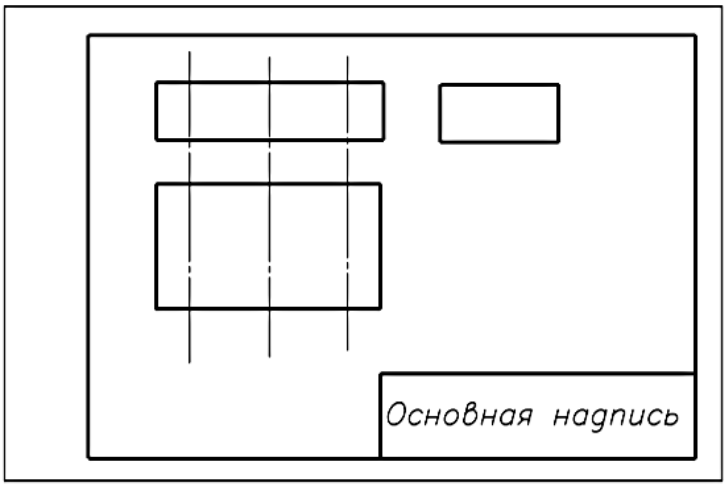
Эскизы деталей, как правило, выполняются в следующих случаях:
- при разработке конструкции новой детали;
- при необходимости доработки конструкции деталей в опытном варианте;
- для изготовления детали в случае выхода ее из строя в процессе эксплуатации.

На производстве часто приходится непосредственно по эскизу изготовлять деталь, поэтому к нему следует относиться как к важному техническому документу. Эскиз требует тщательной проработки и соблюдения всех правил выполнения чертежей деталей, установленных стандартом.

Эскиз выполняется карандашом с мягким грифелем на бумаге в клетку, линии должны быть ровными и четкими. Дуги окружностей можно проводить циркулем, а потом обвести от руки. Все надписи выполняют чертежным шрифтом. Пропорциональность определяется на глаз, однако размеры на эскизе должны соответствовать действительным размерам детали. Каждый эскиз сопровождается основной надписью.

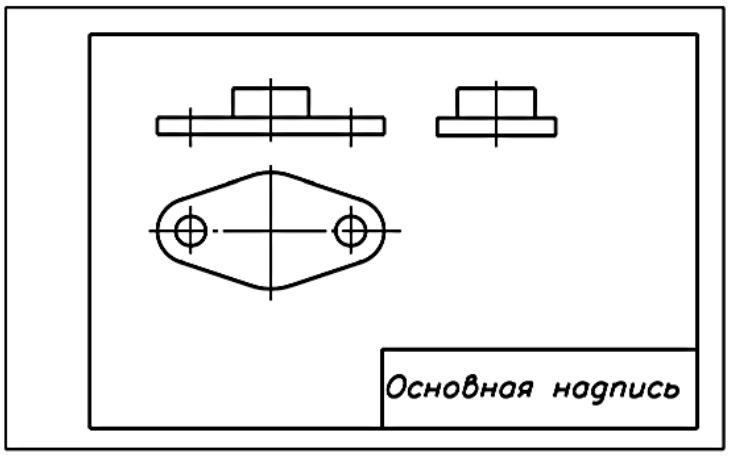
Приступая к выполнению эскиза, прежде всего, необходимо внимательно ознакомиться с деталью: по возможности выяснить ее назначение, четко уяснить общую геометрическую форму детали, форму ее отдельных составных частей. При этом, полезно мысленно разделить деталь на части, имеющие форму простых геометрических тел. Установить соотношение длины, ширины и высоты детали. Затем следует установить, сколько видов необходимо для полного выявления формы и размеров детали, выбрать главный вид. Он должен давать отчетливое и наиболее полное представление о форме детали.

Строят изображение детали на эскизе в такой последовательности. Чертят на листе выбранного формата внутреннюю рамку и основную надпись. Определяют, как лучше разместить изображения на поле чертежа с помощью габаритных прямоугольников так, чтобы между ними вместились размерные линии (Ил. 10.41).



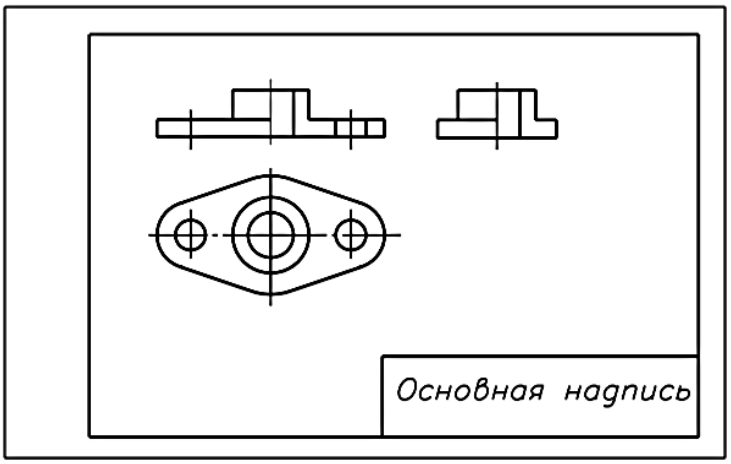
Ил. 10.41 – Размещение изображений видов детали

Затем на эскизе проводят осевые и центровые линии, наружные и внутренние очертания контуров детали (Ил. 10.42).



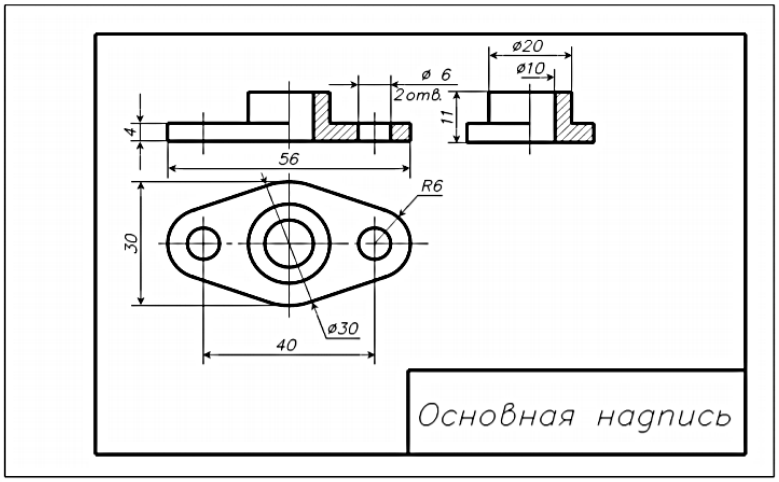
Ил. 10.42 – Формирование очертания контуров детали

После этого изображают необходимые разрезы и сечения, чтобы показать внутреннее устройство детали, и обводят линии контуров (Ил. 10.43).



Ил. 10.43 – Формирование необходимых разрезов и сечений

Затем проводят выносные и размерные линии. Обмеряют деталь, наносят размерные числа и, в случае необходимости, надписи. Заполняют основную надпись, где указывают название детали, материал, из которого она изготовлена (Ил. 10.44).

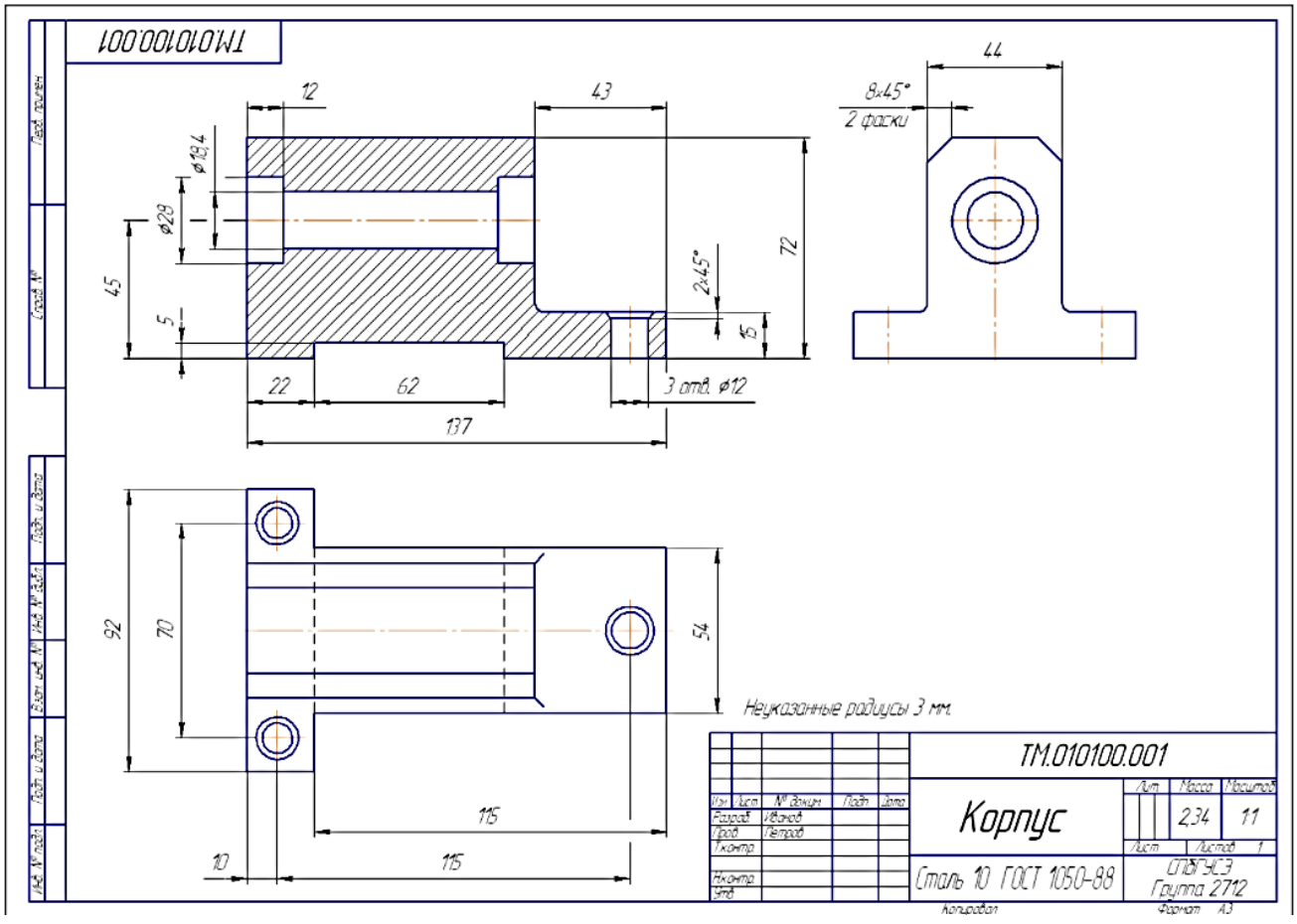


Ил. 10.44 – Формирование эскиза детали

Проверяют правильность выполнения эскиза. При этом необходимо убедиться, что:

- изображения построены правильно и в проекционной связи;
- главный вид детали выбран удачно;
- изображений достаточно, для того чтобы выявить форму детали;
- размеры нанесены правильно;
- сделаны необходимые поясняющие надписи;
- правильно заполнена основная надпись.

На основе эскиза чертежа можно выполнять точный чертеж детали или комплексный чертеж. Комплексным чертежом называют изображения предмета на совмещенных плоскостях проекций. При этом горизонтальная проекция (вид сверху) располагается под фронтальной, а профильная (вид слева) – справа от фронтальной и на одном уровне с ней. Нарушать это правило расположения проекций нельзя. Фронтальную проекцию называют видом спереди или главным видом. Главный вид, получаемый на фронтальной плоскости проекций, является исходным, он должен давать наиболее полное представление о форме и размерах предмета. Остальные проекции располагаются в зависимости от главного вида. Такое расположение проекций называют проекционной связью. Пример оформления чертежа детали представлен на Ил. 10.45.



Ил. 10.45 – Чертеж детали

10.8. Построение третьего вида по двум заданным

Построение третьего вида детали по двум заданным базируется на принципах начертательной геометрии. Изображение тел, имеющих три измерения, на плоскости, имеющей два измерения, требует умения хорошо представлять форму этих тел и знания основных положений проецирования точек, прямых и плоскостей на плоскости проекций.

Согласно ГОСТ 2.305-68 «Единая система конструкторской документации. Изображения – виды, разрезы, сечения» изображения предметов должны выполняться по методу прямоугольного проецирования. При этом предмет располагается методу наблюдателем и соответствующей плоскостью проекций.

Построение третьего вида по двум заданным выполняется в следующей последовательности.

1. По заданным видам анализируют геометрическую форму детали и ее симметричность.

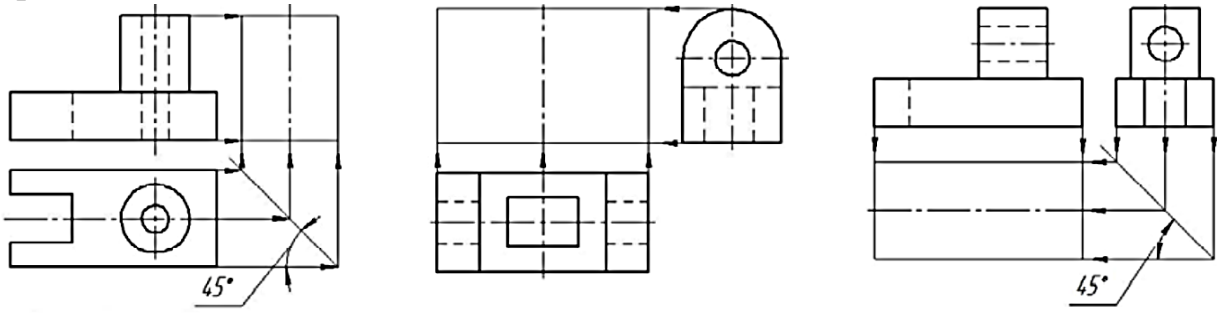
2. Представляют наглядное изображение детали, это изображение можно нарисовать или выполнить эскиз.

3. По наглядному изображению детали устанавливают очертания недостающего вида и анализируют его графический состав.

4. Строят габаритный прямоугольник, используя линии проекционной связи и построенную прямую. При проведении линий связи между горизонтальной и профильной проекциями удобно пользоваться вспомогательной прямой, которую проводят под углом 45° примерно на уровне вида сверху, правее его. Линии связи, идущие от вида сверху, доводят до вспомогательной прямой. Из точек пересечения с нею восставляют перпендикуляры для построения вида слева. Аналогично выполняют построения для других недостающих видов.

5. Проводят оси симметрии.

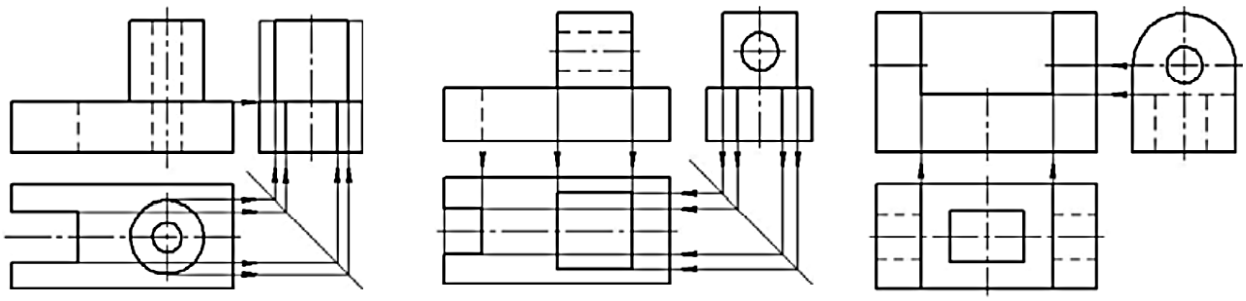
Пример выполнения данных операций для построения различных видов представлен на Ил. 10.46.



а б в

Ил. 10.46 – Построение габаритного прямоугольника недостающего вида: а – вида слева; б – вида сверху; в – вида фронтального (главного)

6. Строят видимые очертания недостающего вида, используя линии проекционной связи и построенную прямую (Ил. 10.47).



а б в

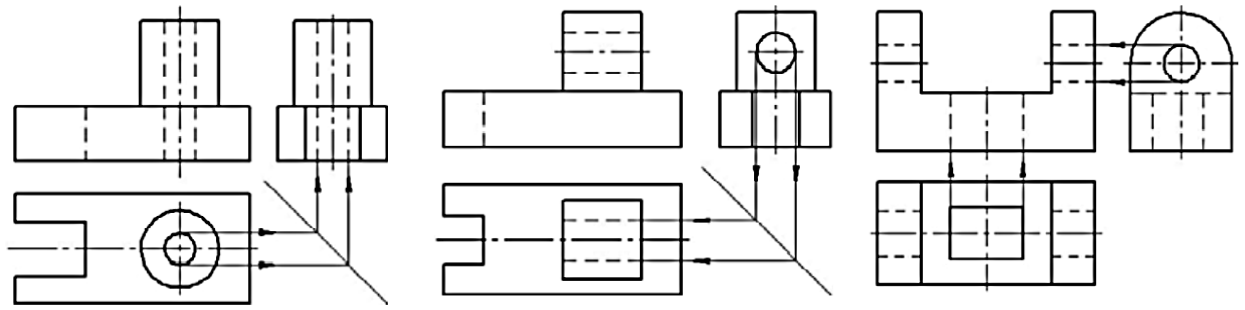
Ил. 10.47 – Построение видимых очертаний недостающего вида:
а – вида слева; б – вида сверху; в – вида фронтального (главного)

7. Строят невидимые очертания недостающего вида, используя линии проекционной связи и постоянную прямую.

8. Наносят на чертеже размеры.

9. Обводят чертеж.

Пример полученных в итоге построений представлен на Ил. 10.48.



а б в

Ил. 10.48 – Построение невидимых очертаний недостающего вида:
а – вида слева; б – вида сверху; в – вида фронтального (главного)

10.9. Аксонометрические проекции

Чтобы получить наглядное аксонометрическое изображение некоторого геометрического образа, прежде всего его нужно «привязать» к системе декартовых осей координат, затем выбрать направление проецирования, отличное от направления любой из декартовых осей и параллельно этому направлению спроецировать геометрический образ на картинную плоскость. Полученное таким образом параллельное изображение геометрического образа

будет его аксонометрической проекцией. Грани геометрического образа, параллельные плоскостям проекций, в аксонометрической проекции не будут вырождаться в отрезки прямых. Следует отметить, что в общем случае происходят искажения как угловых величин геометрического образа (в том числе и декартовых углов), так и его линейных размеров. Однако, эти искажения не мешают объемному восприятию, а, наоборот, ему способствуют. Таким образом, сутью аксонометрических проекций является построение параллельной проекции геометрического образа на плоскость, когда направление проецирования не совпадает ни с одной из декартовых осей координат (Ил. 10.49 б, в).

10.9.1. Виды аксонометрических проекций

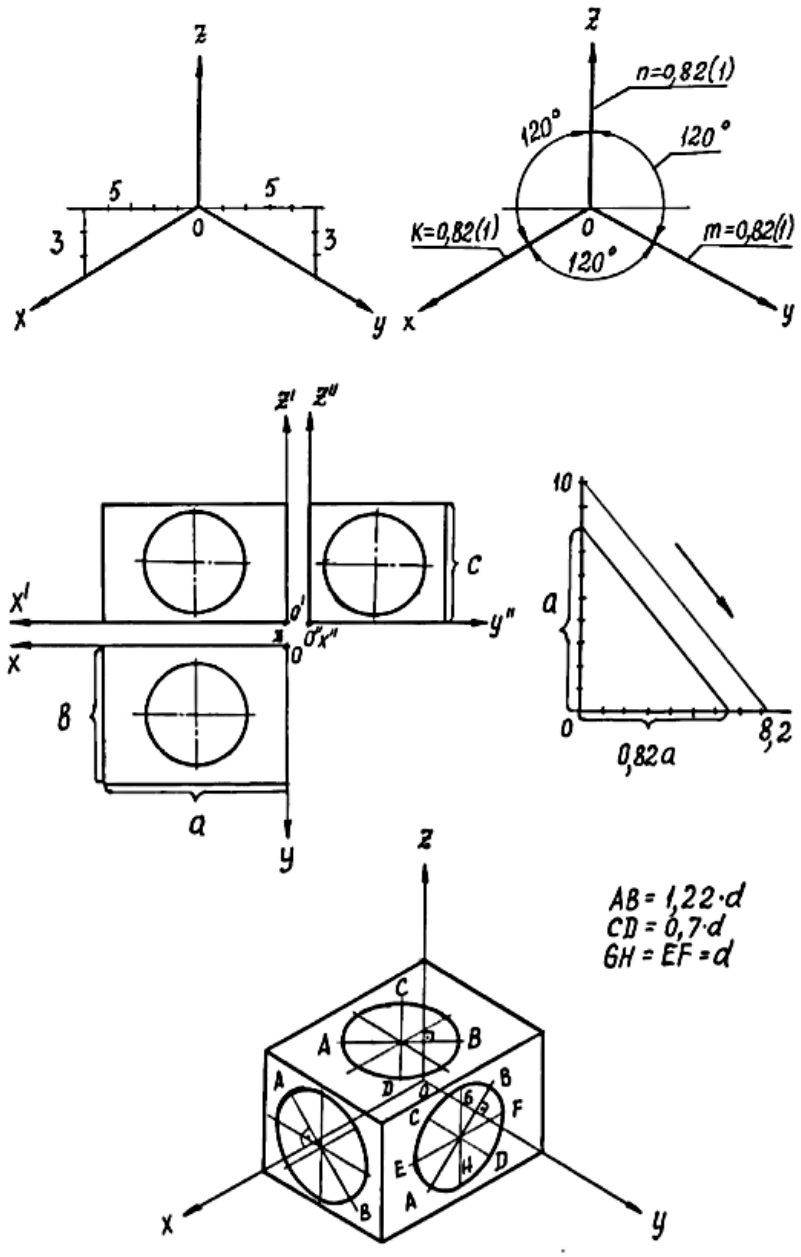
Аксонометрические проекции называют прямоугольными, если направление проецирования и проецирующие прямые перпендикулярны плоскости, на которую они проецируются; и косоугольными, если направление проецирования не перпендикулярно плоскости аксонометрических проекций. Проекции аксонометрических осей на плоскость называют аксонометрическими осями, а проекции единицы измерения по осям – аксонометрическими единицами измерения.

В зависимости от положения предмета и осей координат относительно плоскости проекций, а также в зависимости от направления проецирования, единицы измерения проецируются в общем случае с искажением. Искажаются и размеры проецируемых предметов. Отношение длины аксонометрической единицы к ее истинной величине называют показателем или коэффициентом искажения для данной оси координат. Аксонометрические проекции называют изометрическими, если коэффициенты искажения по всем осям равны; диметрическими, если коэффициенты искажения по двум осям равны и триметрическими, если все коэффициенты различны. Для аксонометрических изображений предметов применяют пять видов аксонометрических проекций: прямоугольные – изометрические и диметрические, косоугольные – фронтальные диметрические, фронтальные изометрические и горизонтальные изометрические.

10.9.2. Изометрия

В изометрических проекциях углы между аксонометрическими осями равны между собой и численно определяются как 360°/3=120°. Коэффициенты искажения также равны между собой. Их численное значение $К=\sqrt{\frac{2}{3}}=0{,}82$, т.е. коэффициенты искажения в изометрии равны по 0,82. Это значит, что все линейные размеры геометрического образа, принимаемые параллельно осям декартовой системы координат, в изометрии искажаются в 0,82 раза. На Ил. 10.49 показаны ортогональные проекции параллелепипеда, отнесенного к

декартовой системе координат. Его линейные размеры соответственно равны *a*, *b* и *c*. В аксонометрической проекции ребра параллелепипеда соответственно равны 0,82*a*, 0,82*b* и 0,82*c*.

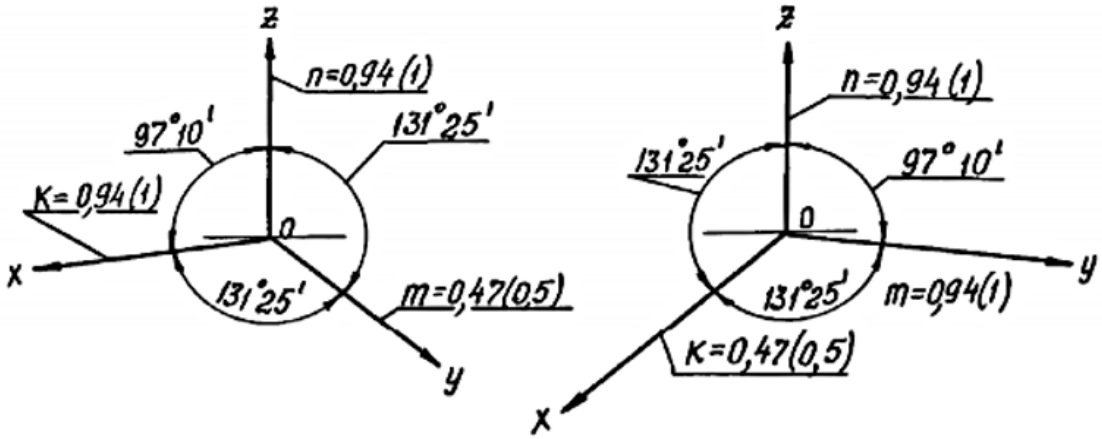


Ил. 10.49 – Прямоугольная изометрия

Чтобы не производить арифметические подсчеты, удобно пользоваться графическим масштабом, теоретическая суть которого основана на теореме Фалеса. Принимаются две пересекающиеся прямые (для удобства примем прямой угол). Одну из прямых ограничиваем десятью единицами измерений, вторую восемью и двумя десятыми, полученные точки соединяем (Ил. 10.49). Пользоваться графическим масштабом очень просто: на вертикальной прямой отмечаем натуральный размер геометрического образа и через полученную точку проводим прямую, параллельную отрезку *S* до пересечения с горизонтальной прямой. Полученный таким образом отрезок равен 0,82 натуральной величины.

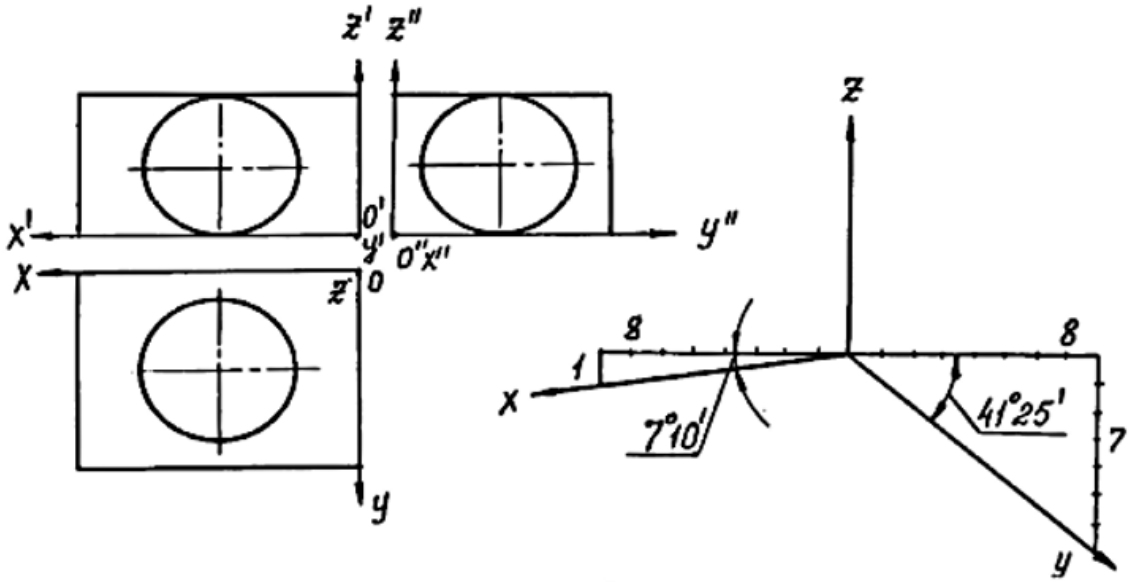
10.9.3. Диметрия

В диметрических проекциях два угла между аксонометрическими осями равны по 131°25' и третий угол составляет 97°10', причем ориентация осей может быть левой и правой. Коэффициенты искажения по аксонометрическим осям соответственно равны: два по 0,94 и третий – 0,47. Это значит, что линейные размеры геометрического образа, принимаемые параллельно декартовым осям координат, в диметрии соответственно искажаются в 0,94 и в 0,47 раза (Ил. 10.50).



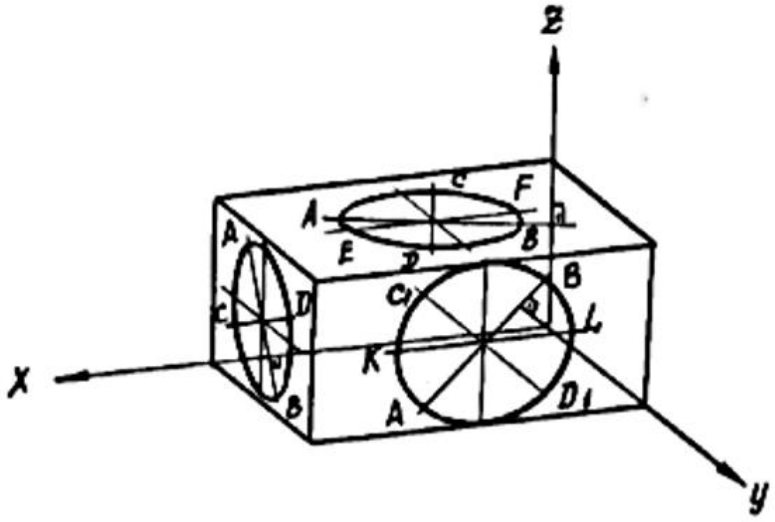
Ил. 10.50 – Расположение осей в диметрии:
а – левая; б - правая

Практически углы между аксонометрическими осями выдерживаются равными указанным, если через начало координат провести горизонтальную прямую и отложить от нее вниз углы равные 41°25' и 7°10' (Ил. 10.51). Приближенно можно принять, что tg7°≈1/8 и tg 41°≈ 7/8, тогда, чтобы отложить эти углы, нужно выполнить следующие построения: на горизонтальной вспомогательной прямой от начала координат влево и вправо откладываем по 8 единиц и вниз соответственно одну и семь единиц. В первом случае получим угол 7°, во втором - 41°. Следует помнить, что большее искажение всегда происходит по оси, наклоненной к горизонтальной прямой под углом 41°25' (по этой оси коэффициент принимается 0,47, а по двум другим – 0,94). Причем, при левой ориентации аксонометрических осей большее искажение происходит по оси ОХ, при правой ориентации – по оси ОУ.



Ил. 10.51 – Построение осей в диметрии

На Ил. 10.52 показано построение простейшей геометрической фигуры в диметрии. Как и в предыдущем случае, при построении диметрии удобно пользоваться графическими масштабами.



Ил. 10.52 – Построение геометрической фигуры в диметрии

На практике, с целью упрощения и удобства построения, пользуются не истинными коэффициентами искажения в изометрии и диметрии, а так называемыми приведенными коэффициентами. В изометрии вместо коэффициента искажения 0,82 принимают 1, искусственно увеличивая коэффициент искажения в 1: 0,82=1,22 раза, что приводит к увеличению объемного изображения в 1,22 раза.

Аналогично поступают и при построении диметрических проекций. Так, вместо истинных коэффициентов искажения 0,94; 0,94; 0,47 принимают соответственно 1,1 и 0,5. В этом случае увеличение коэффициентов происходит

в 1:0,94=1,06 раза, что также приводит к увеличению объемного изображения в 1,06 раза.

Использование приведенных коэффициентов искажения удобно и значительно упрощает построения. Аксонометрические проекции, построенные по истинным коэффициентам искажения, называются нормальными, изображения же, построенные по приведенным коэффициентам искажения, называются увеличенными или практическими.

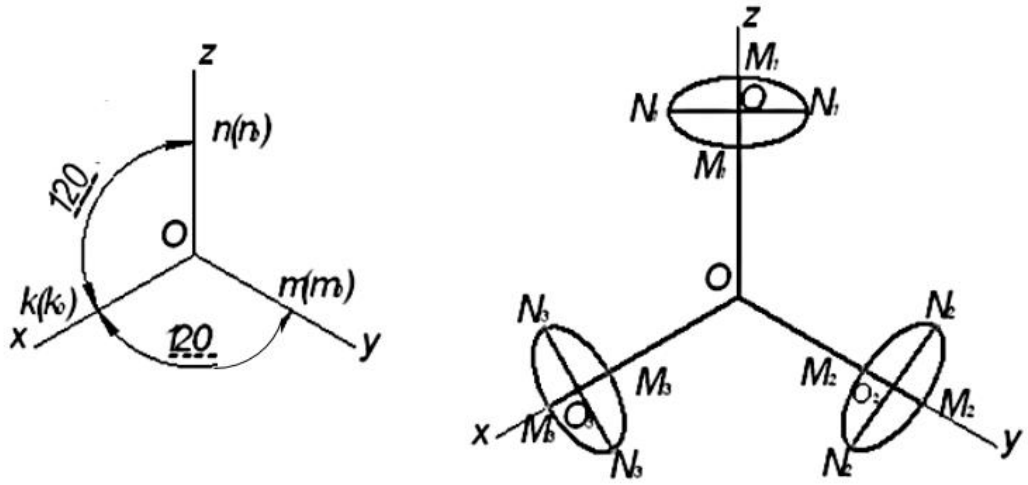
Основной задачей аксонометрических проекций является достижение наглядности изображения. Использование приведенных коэффициентов искажения вполне и проще решает эту задачу. Вот почему аксонометрические проекции, выполняемые по приведенным коэффициентам искажения, столь широко применяются в практике.

10.9.4. Прямоугольная изометрическая проекция

Коэффициент искажения в прямоугольной изометрии вычисляется по формуле $k^2 + m^2 + n^2 = 2$, которая при $k = m = n$ приобретает вид: $3k^2 = 2$, откуда $k = 0{,}82$. Как видно, уравнение при $k = m = n$ имеет только одно решение. Это означает, что существует всего лишь одна прямоугольная изометрия и ей соответствуют коэффициенты $k = m = n = 0{,}82$. Углы между аксонометрическими осями в прямоугольной изометрической проекции одинаковые и равны 120° (Ил. 10.53, а).

Так как треугольник следов в прямоугольной изометрии равносторонний, и высоты его пересекаются между собой под углом в 120°, то окружности, лежащие в плоскостях, параллельных координатным плоскостям π_1, π_2 и π_3, проецируются в виде эллипсов одинакового соотношения больших и малых осей (Ил. 10.53, б). Большая полуось таких эллипсов равна радиусу R изображаемой окружности, а малая – $0{,}58R$. В практике построения прямоугольных изометрических проекций допускается применять не дробные действительные коэффициенты искажения $k = m = n = 0{,}82$, а округленные до единицы или, как их принято называть, приведенные коэффициенты искажения $k_0 = m_0 = n_0 = 1$.

Наглядное изображение, построенное по приведенным коэффициентам, увеличивается в 1,22 раза (1:0,82=1,22) по сравнению с действительным изображением, соответствующим коэффициентам искажения 0,82. При таком увеличении большие полуоси эллипсов, показанных на Ил. 10.53, б, равны $1{,}22R$, а малые – $0{,}71R$.



$k = m = n = 0{,}82$ $\qquad$ $k_0 = m_0 = n_0 = 1$

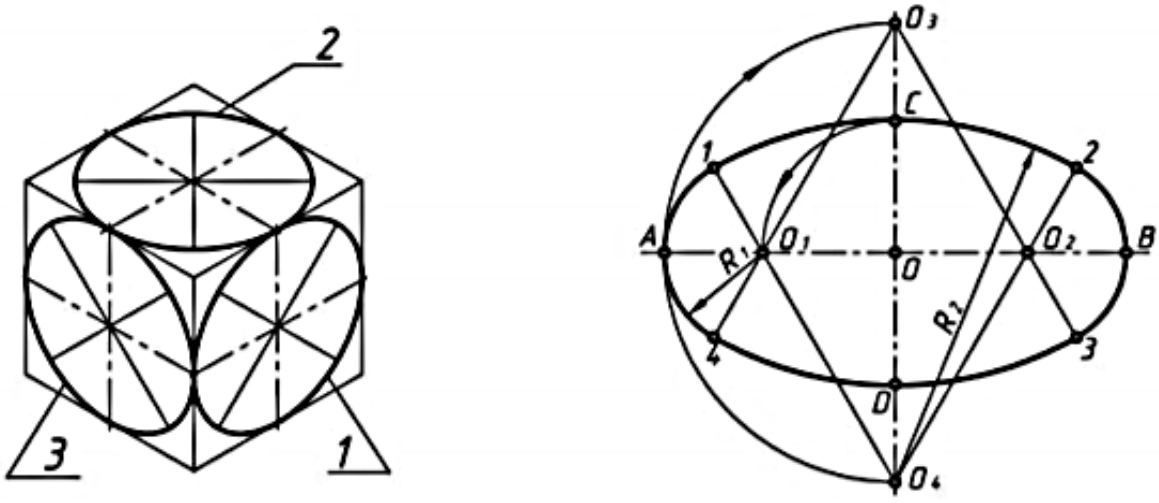
$O_1M_1, O_2M_2, O_3M_3 = 0{,}58R$ $\qquad$ $O_1M_1, O_2M_2, O_3M_3 = 0{,}71R$

$O_1N_1, O_2N_2, O_3N_3 = R$ $\qquad$ $O_1N_1, O_2N_2, O_3N_3 = 1{,}22R$

а $\qquad$ б

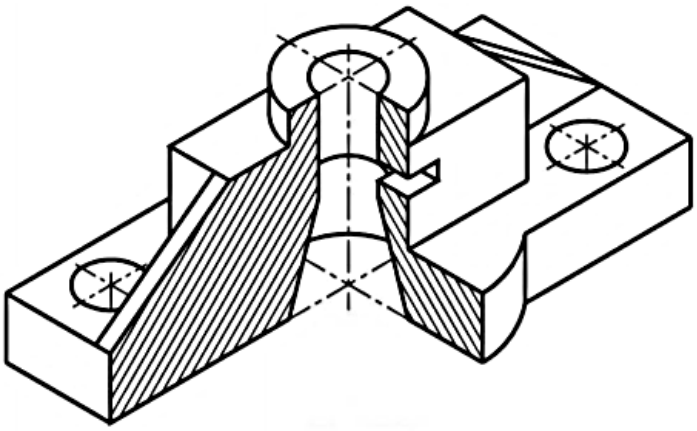
Ил. 10.53 – Прямоугольная изометрическая проекция:
а – расположение осей и коэффициент искажения в прямоугольной изометрической проекции; б – окружности в прямоугольной изометрической проекции

На Ил. 10.54 представлен пример построения изображения в прямоугольной изометрии куба с окружностями на гранях. Большие оси эллипсов расположены под углом 90° к осям *x, y, z,* соответственно и равны (при коэффициенте искажения – 1) 1,22*d*, а малые оси – 0,71*d*, где *d* – диаметр окружности



Ил. 10.54 – Изображение окружности в изометрии

На Ил. 10.55 представлен пример построения изображения детали в прямоугольной изометрии.



Ил. 10.55 – Изображение детали в прямоугольной изометрии

10.9.5. Прямоугольная диметрическая проекция

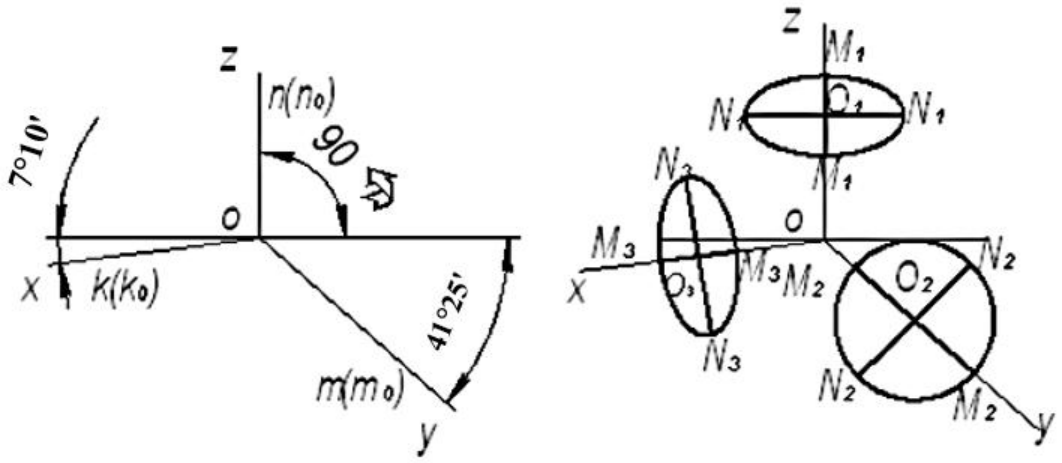
Для каждой диметрической проекции исходным условием является равенство двух коэффициентов искажения. Рассмотрим случай, когда k = m ≠ n. Если принять, что в этом случае $m = dk$, где d – это некоторое положительное число или показатель диметрии. Из основного уравнения коэффициентов искажения $k^2 + m^2 + n^2 = 2$ для прямоугольной диметрической проекции следует соотношение $2k^2 + d^2k^2 = 2$, из которого можно получить формулы для вычисления коэффициентов искажения по заданному показателю диметрии:

$k = n\sqrt{\frac{2}{2+d^2}}$; $m = a\sqrt{\frac{2}{2-d^2}}$.

ГОСТ 2.317-69 «Единая система конструкторской документации. аксонометрические проекции» рекомендует для практического применения прямоугольную диметрическую проекцию с показателем d=0,5. Такому значению d соответствуют коэффициенты искажения k=n=0,94 и m=0,47, вычисленные по вышеуказанной формуле.

Углы между аксонометрическими осями вычисляются по формулам $\cos\alpha_x = \frac{\sqrt{1-m^2}}{kn}$; $\cos\alpha_y = \frac{\sqrt{1-k^2}}{mn}$ и соответственно равны: α_x=7°10', α_y=41°25'.

Расположение осей прямоугольной диметрической проекции показано на Ил. 10.56, а.



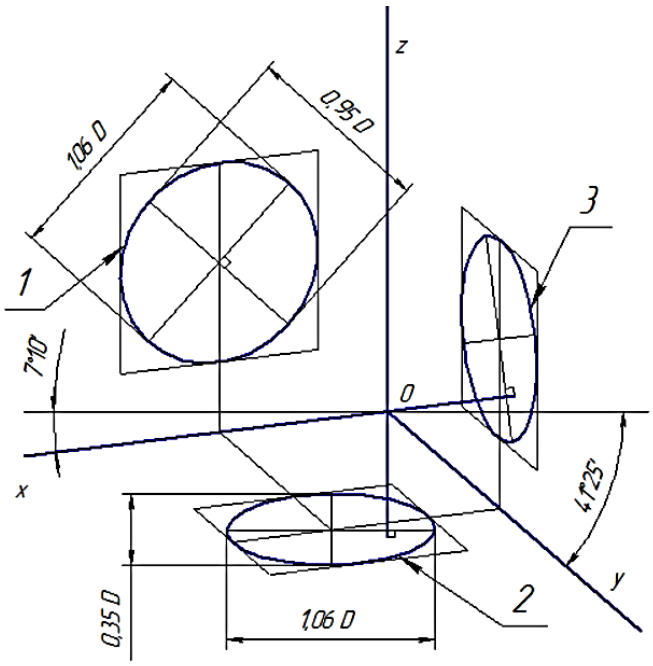
а	б
$k=n=0{,}94$; $m=0{,}47$	$k_0=n_0=1$; $m_0=0{,}5$
$O_1M_1, O_3M_3 = 0{,}33R$	$O_1M_1, O_3M_3 = 0{,}35R$
$O_2M_2 = 0{,}9R$	$O2M_2 = 0{,}95R$
$O_1N_1, O_2N_2, O_3N_3 = R$	$O_1N_1, O_2N_2, O_3N_3 = 1{,}06R$

Ил. 10.65 – Прямоугольная диметрическая проекция:
а – расположение осей и коэффициента искажения;
б – изображения окружностей

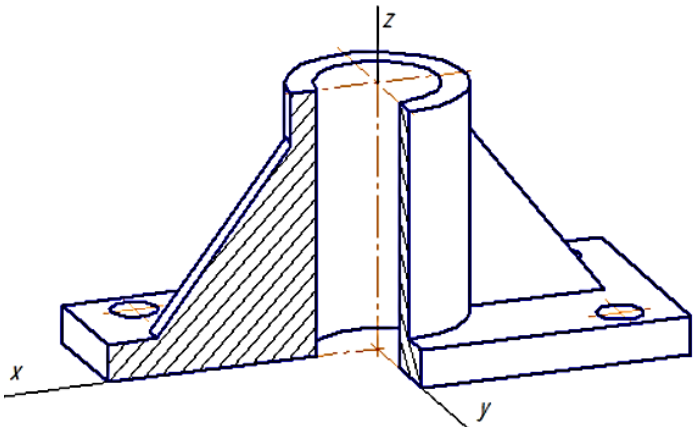
Окружности, лежащие в плоскостях, параллельных плоскости координат π_2, изображаются в виде эллипсов, большие полуоси которых равны R, а малые $0{,}9R$ (Ил. 10.56, б). Изображения, построенные по этим коэффициентам, увеличиваются в 1,06 раз (1:0,94 = 1,06). По этой причине большие полуоси всех эллипсов, показанных на Ил. 10.56, б становятся равными $1{,}06R$, а малые – $0{,}35R$ (для окружностей, лежащих в плоскостях, параллельных π_1 и π_3) и $0{,}95R$ (для окружностей лежащих в плоскостях, параллельных π_2).

В практике построения прямоугольных диметрических проекций рекомендуется пользоваться коэффициентами искажения $k_0=n_0=1$ и $m_0=0{,}5$.

Пример построения осей и прямоугольной диметрической проекции условной детали с вырезом приведен на Ил. 10.57, 10.58.



Ил. 10.57 – Аксонометрические оси в прямоугольной диметрической проекции



Ил. 10.58 – Изображение детали в прямоугольной диметрической проекции

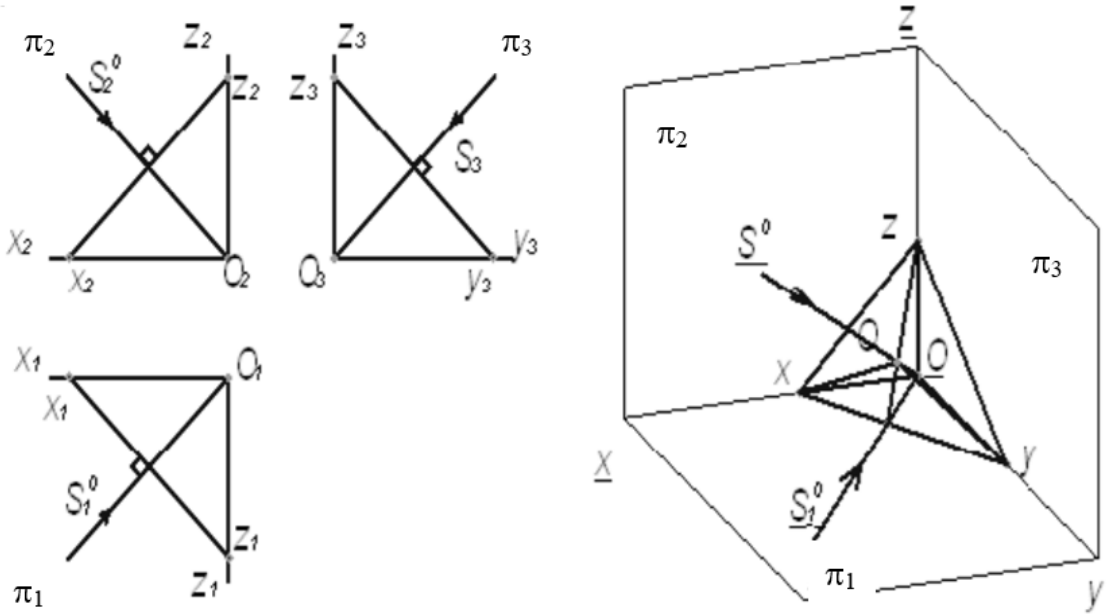
10.9.6. Прямоугольная триметрическая проекция

Прямоугольную триметрическую проекцию можно задать тремя аксонометрическими осями или двумя коэффициентами искажения. В первом случае построение наглядных изображений геометрических образов станет практически возможным только после выявления коэффициентов искажения, соответствующих произвольно взятым аксонометрическим осям. Коэффициенты искажения в этом случае определяются способом реконструкции координатного трехгранника. Во втором случае по формуле $k^2 + m^2 + n^2 = 2$ вычисляется третий коэффициент искажения и определяется взаимное расположение аксонометрических осей. Углы между осями можно

определить, например, расчетным путем, воспользовавшись для этого формулой $\cos\alpha_x = \frac{\sqrt{1-m^2}}{kn}$; $\cos\alpha_y = \frac{\sqrt{1-k^2}}{mn}$, или путем графических построений основанных на теореме Вейсбаха.

В проекционном отношении вид прямоугольной аксонометрической проекции зависит исключительно от аппарата аксонометрического проецирования, т. е. от взаимного расположения системы прямоугольных координат *Oxyz* и плоскости аксонометрических проекций π или, иначе говоря, от направления лучей аксонометрического проецирования относительно системы прямоугольных координат.

На Ил. 10.59 показан аппарат аксонометрического проецирования. Здесь плоскость аксонометрических проекций π представлена треугольником следов *XYZ*, а направление аксонометрического проецирования – лучом S^0, проходящим через начало осей системы координат *Oxyz*. Это главный луч аксонометрического проецирования. Как видно, главный луч, являясь лучом внешнего проецирования, на плоскости π изображается точкой *O*, представляющей собой начало аксонометрических осей. Горизонтальная внутренняя проекция S_1^0 этого луча перпендикулярна к стороне *XY* треугольника следов, а фронтальная $S_2^0$2 и профильная S_3^0 – к сторонам *XZ* и *YZ*.

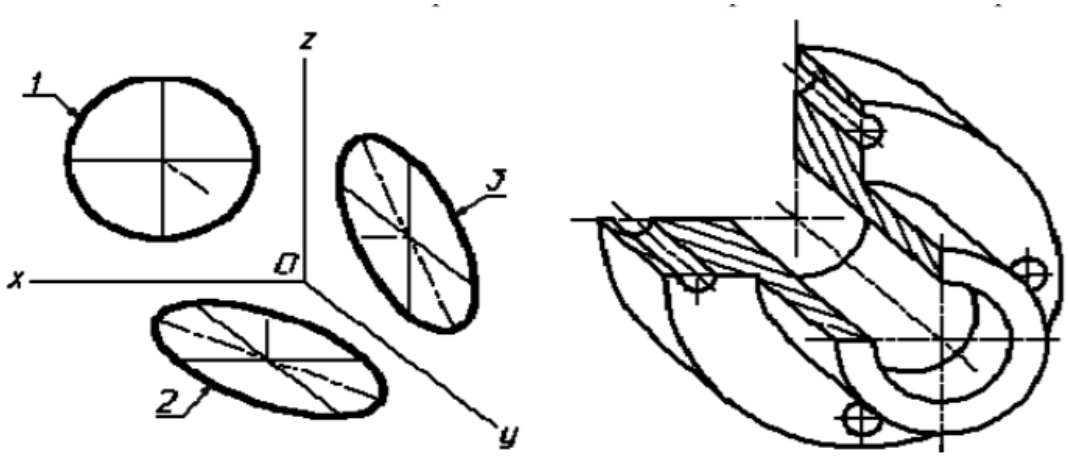


а б

Ил. 10.59 – Аксонометрическое проецирование:
а – в системе плоскостей $\pi_1\pi_2\pi_3$; б – аппарат аксонометрического проецирования на проекционном чертеже

10.9.7. Косоугольная фронтальная изометрия

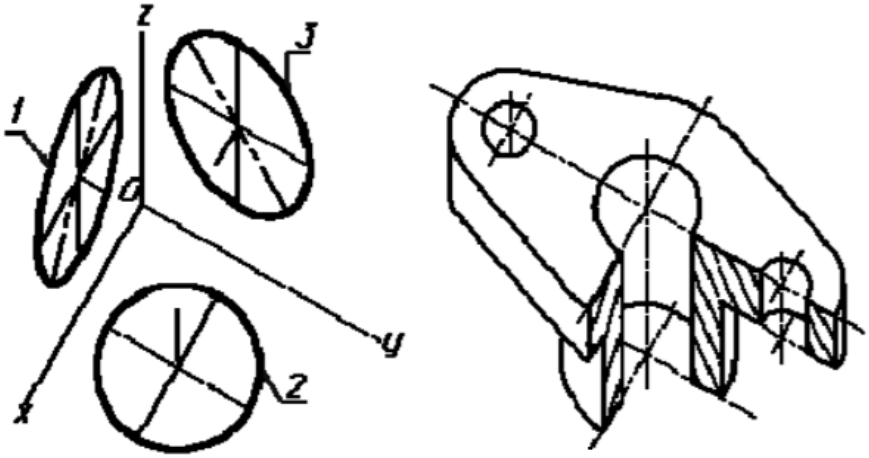
В косоугольной фронтальной изометрии показатели искажения следующие: $k_x = k_z = 1$. Допускается применять фронтальные изометрические проекции с углом наклона от оси *z* до оси *y* 135°, от оси *y* до оси *x* 135° и от оси *x* до оси *z* 90°. Расположение осей аксонометрической системы координат показано на Ил. 10.60.



Ил. 10.60 – Косоугольная фронтальная диметрия

10.9.8. Косоугольная горизонтальная изометрия (зенитная перспектива)

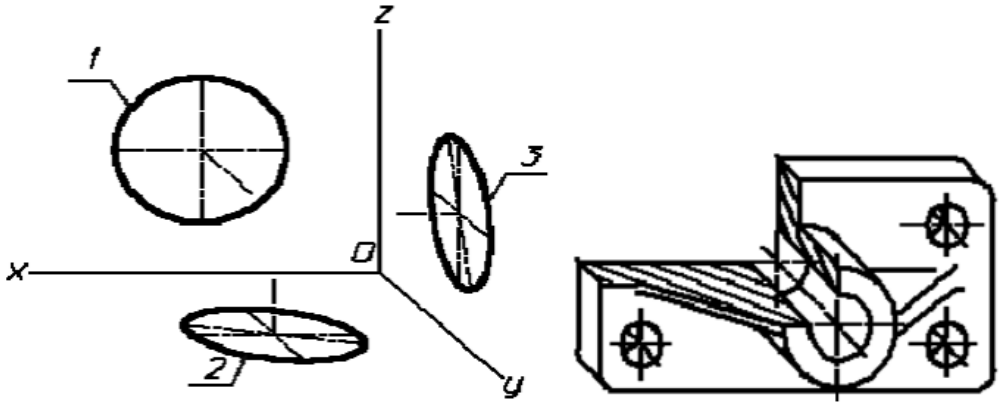
Горизонтальную изометрическую проекцию выполняют без искажения по осям *x, y* и *z*. Допускается применять горизонтальные изометрические проекции с углом наклона от оси *z* до оси *y* 120°, от оси *y* до оси *x* 90°, от оси *x* до оси *z* 150°. Расположение осей аксонометрической системы координат показано на Ил. 10.61.



Ил. 10.61 – Косоугольная горизонтальная изометрия

10.9.9. Косоугольная фронтальная диметрия

Показатели искажения в косоугольной фронтальной диметрии k_x и k_z = 1, k_y = 0.5. Допускается применять фронтальную диметрическую проекцию с углом наклона от оси *z* до оси *y* 135°, от оси *y* до оси x 135°, от оси *x* до оси *z* 90°. Расположение осей аксонометрической системы координат показано на Ил. 10.62.



Ил. 10.62 – Косоугольная фронтальная диметрия

10.9.10. Выбор вида аксонометрической проекции

При необходимости построения аксонометрической проекции той или иной детали, прежде всего нужно решить вопрос о том, какой вид аксонометрии необходимо принять для получения наиболее наглядного изображения. Каких-либо общих критериев для выбора того или иного вида аксонометрической проекции нет. Однако, в качестве рекомендаций можно пользоваться следующими соображениями:

1) Если деталь имеет некоторое количество отверстий, окружности которых расположены в различных плоскостях проекций, то в том случае рациональным видом аксонометрии окажется изометрия, поскольку эти окружности в изометрии изображаются одинаковыми по форме эллипсами, хотя и оказываются лежащими в различных плоскостях проекций.

2) Если деталь имеет некоторое количество отверстий, окружности которых преимущественно расположены в одной плоскости или в параллельных плоскостях (например: вал, фланец и др.), то в этом случае удобнее всего пользоваться фронтальной диметрической проекцией, т.к. эти окружности, при расположении их вдоль оси *Ox*, изображаются в аксонометрии без искажения. Вполне очевидно, что построение окружностей вместо эллипсов является более простым и удобным.

3) Детали, форма которых является квадратной призмой и при этом диагонали основания совпадают с ортогональными осями проекций (например – головка пробки пробкового крана), то такие детали рекомендуется

изображать в диметрии, поскольку в изометрии эта часть детали выглядит ненаглядно (боковые грани вырождаются в прямые).

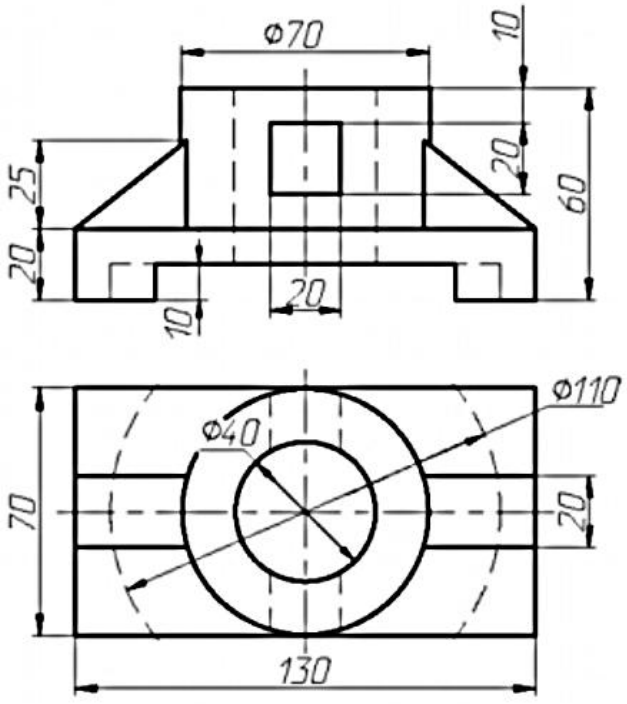
4) При всех прочих равных условиях диметрические проекции воспринимаются более естественно зрительным ощущением, нежели изометрические. Однако, построение диметрических проекций более трудоемко.

Таким образом, при выборе вида аксонометрической проекции нужно учитывать особенности формы детали, наличие в ней различных отверстий, сопоставить мысленно трудоемкость графических построений для приемлемых видов изображений. К решению этого вопроса нужно подходить вдумчиво, творчески.

10.10. Построение третьего вида и изометрии с вырезом четверти

Построение третьего вида и изометрии с вырезом четверти заключается в определении и построении видимых и невидимых линий, которые необходимы для обозначения выреза данной фигуры.

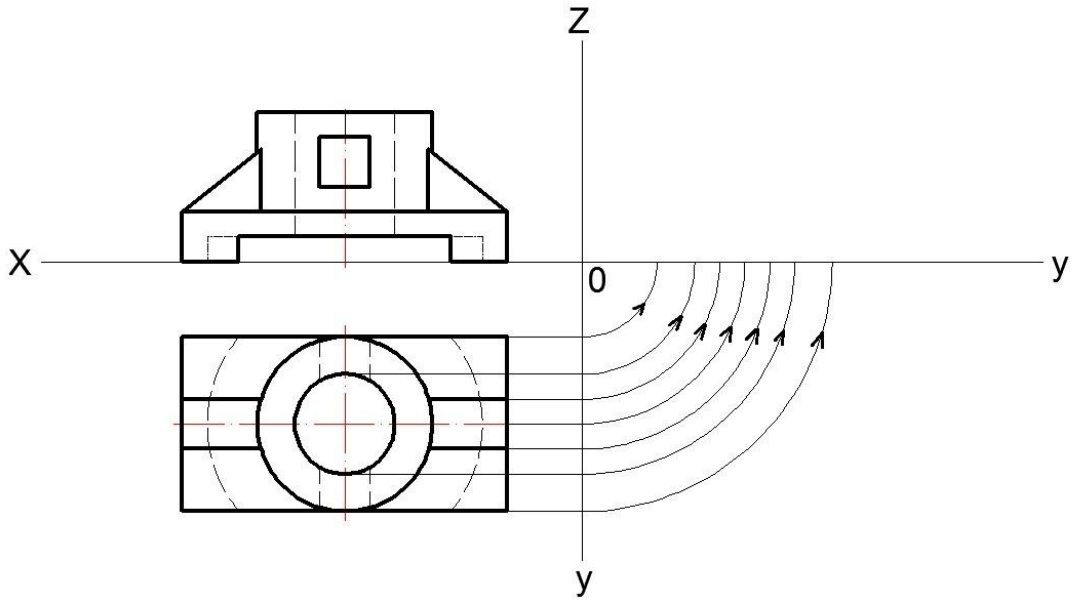
В качестве примера рассмотрим задание: даны два вида детали (вид спереди и вид сверху), необходимо построить третий вид и аксонометрию детали с вырезом четверти (Ил. 10.63).



Ил. 10.63 – Исходные данные для выполнения чертежа

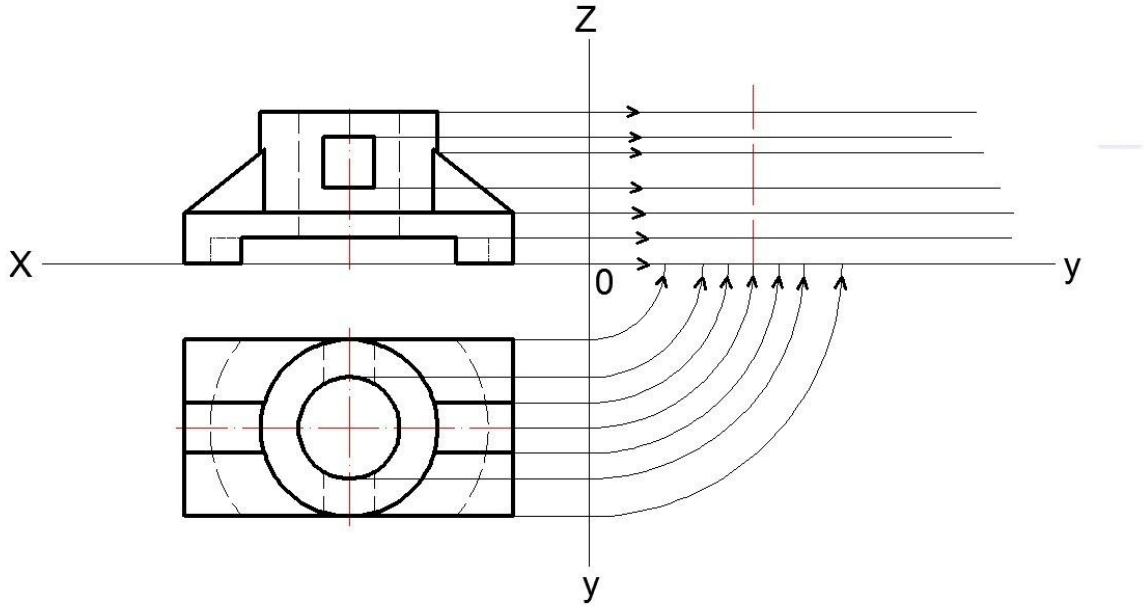
Чертеж выполняется в следующей последовательности:

1. Чертим вид спереди и вид сверху согласно заданию, указываем видимые и невидимые линии, затем переносим вспомогательные линии из вида сверху на вид слева. Вспомогательные линии строятся из крайних точек фигуры (Ил. 10.64).



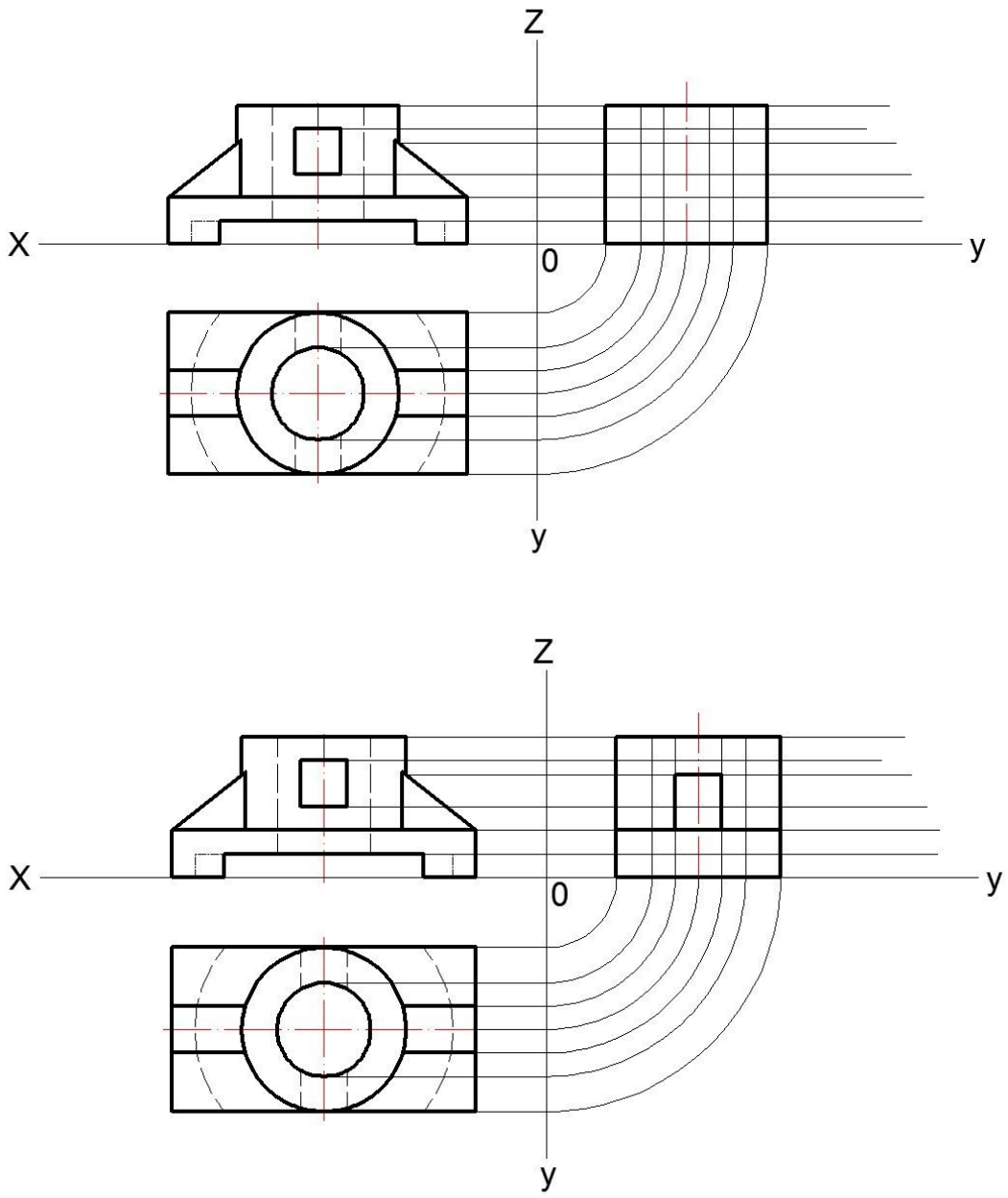
Ил. 10.63 – Начало построения вспомогательных линий

2. Чертим вспомогательные линии из вида спереди на вид слева (Ил. 10.64).



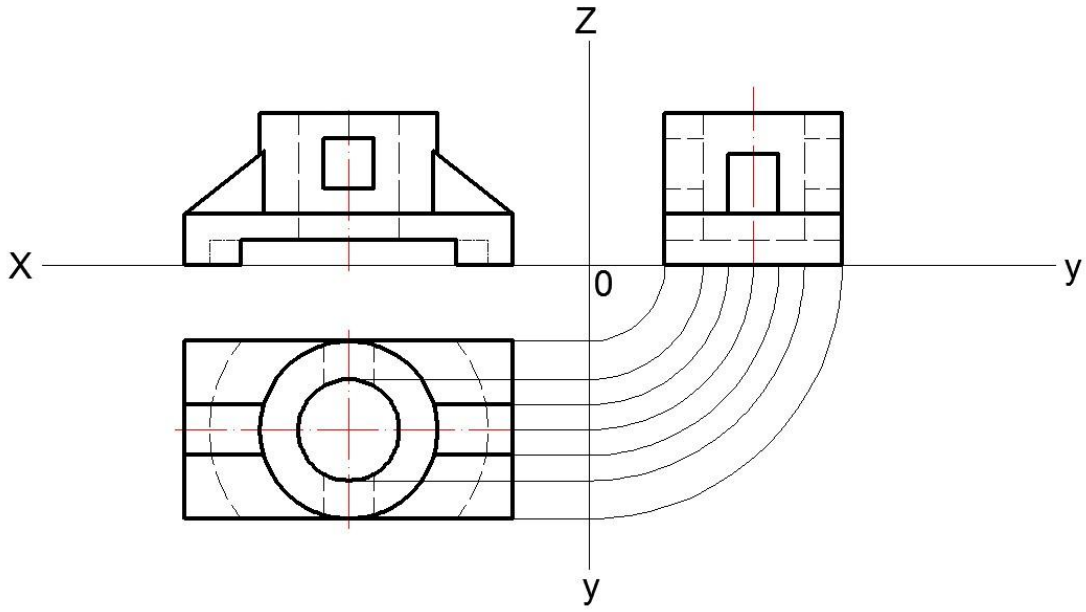
Ил. 10.64 – Формирование вспомогательных линий

3. Соединяем точки, полученные в результате пересечения вспомогательных линий (Ил. 10.65).



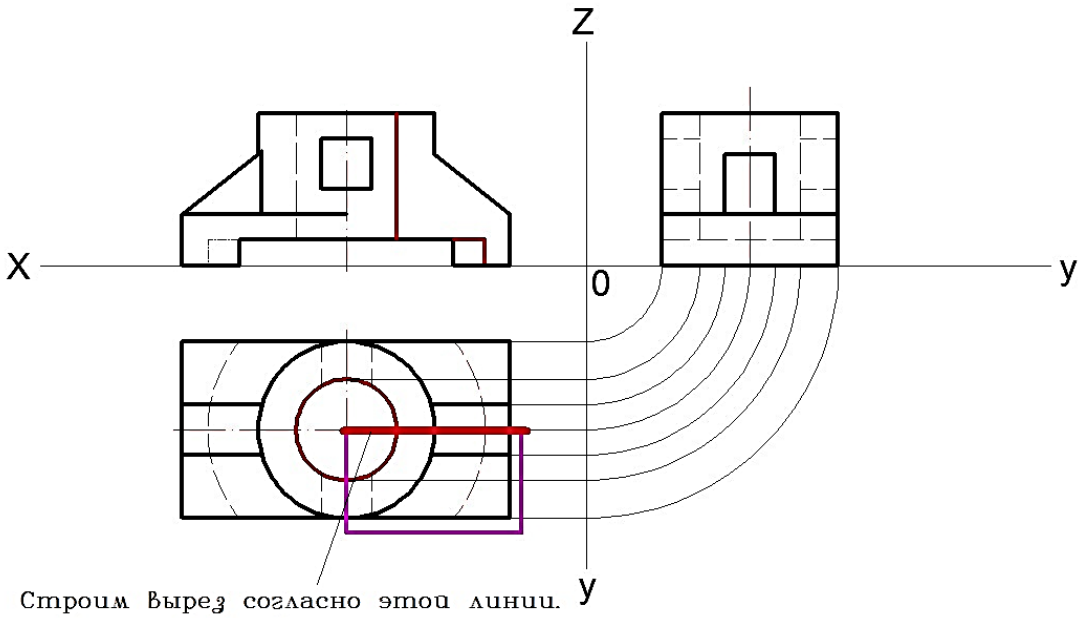
Ил. 10.65 – Формирование контура третьего вида

4. Чертим третий вид с соответствующими линиями чертежа, прочерчивая видимые и невидимые линии (Ил. 10.66).



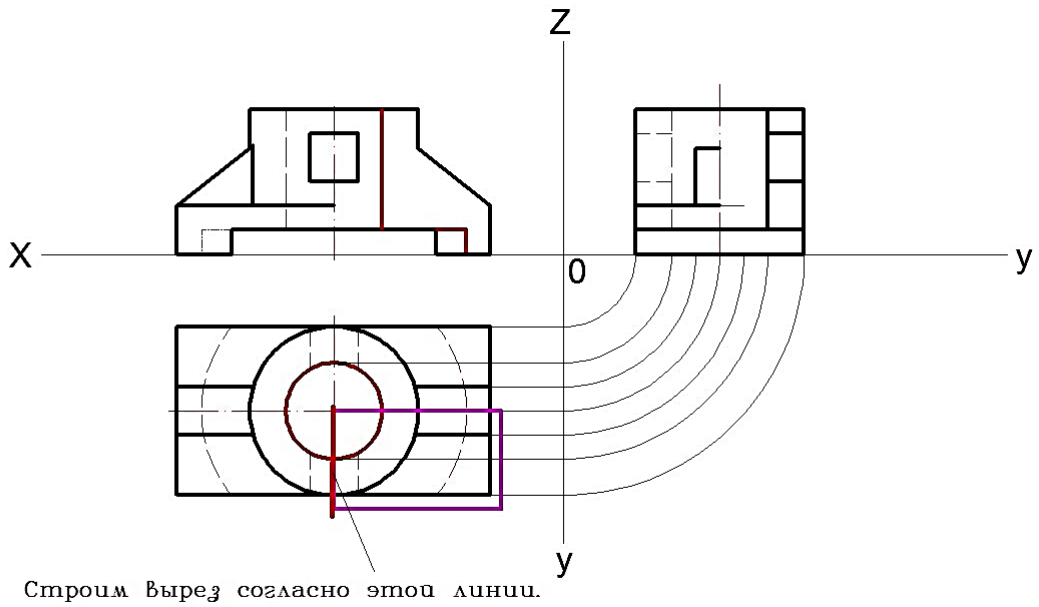
Ил. 10.66 – Проработка третьего вида

5. Смотрим, где есть пустоты в детали согласно линии на рисунке снизу и обозначаем их для формирования разреза (Ил. 10.67).



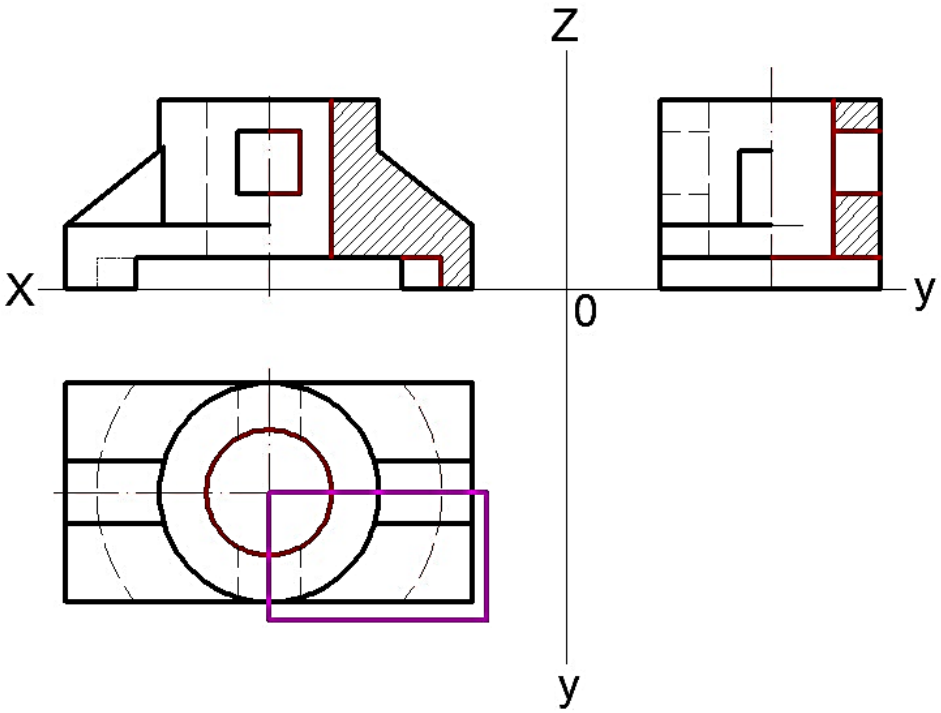
Ил. 10.67 – Выбор места разреза

6. Строим вырез согласно линии, указанной на рисунке. Смотрим, где есть пустота и обозначаем ее (Ил. 10.68).



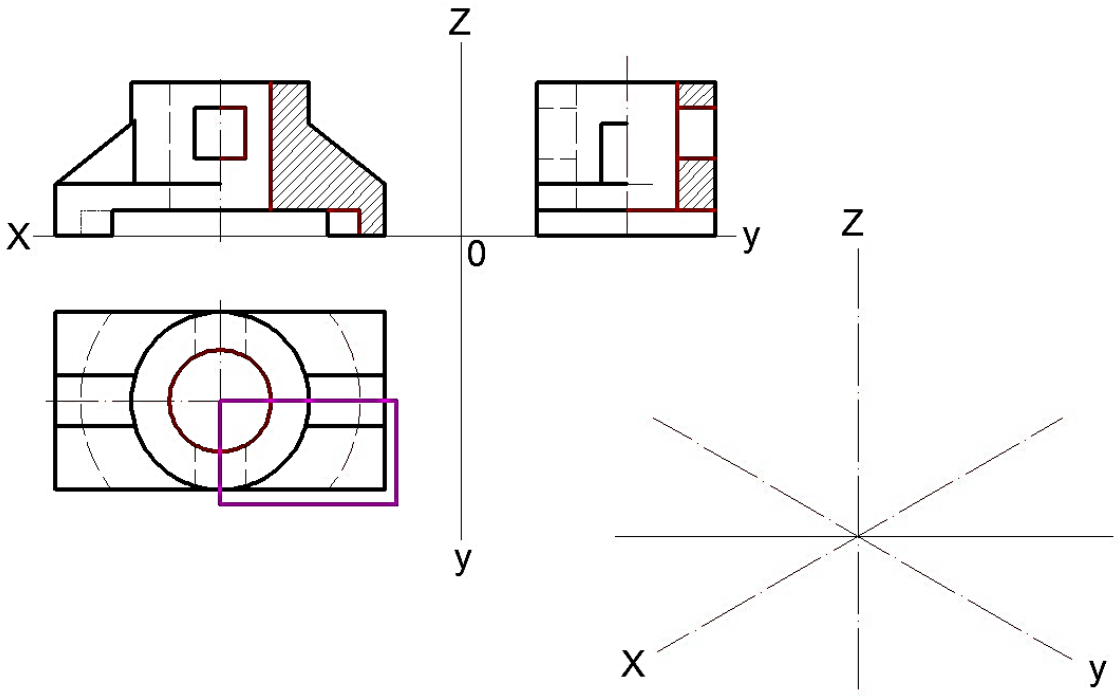
Ил. 10.68 – Формирование разреза на видах

1. Обозначаем полую часть и неполую, т.е. чертим «штриховку» в разрезах (Ил. 10.69).



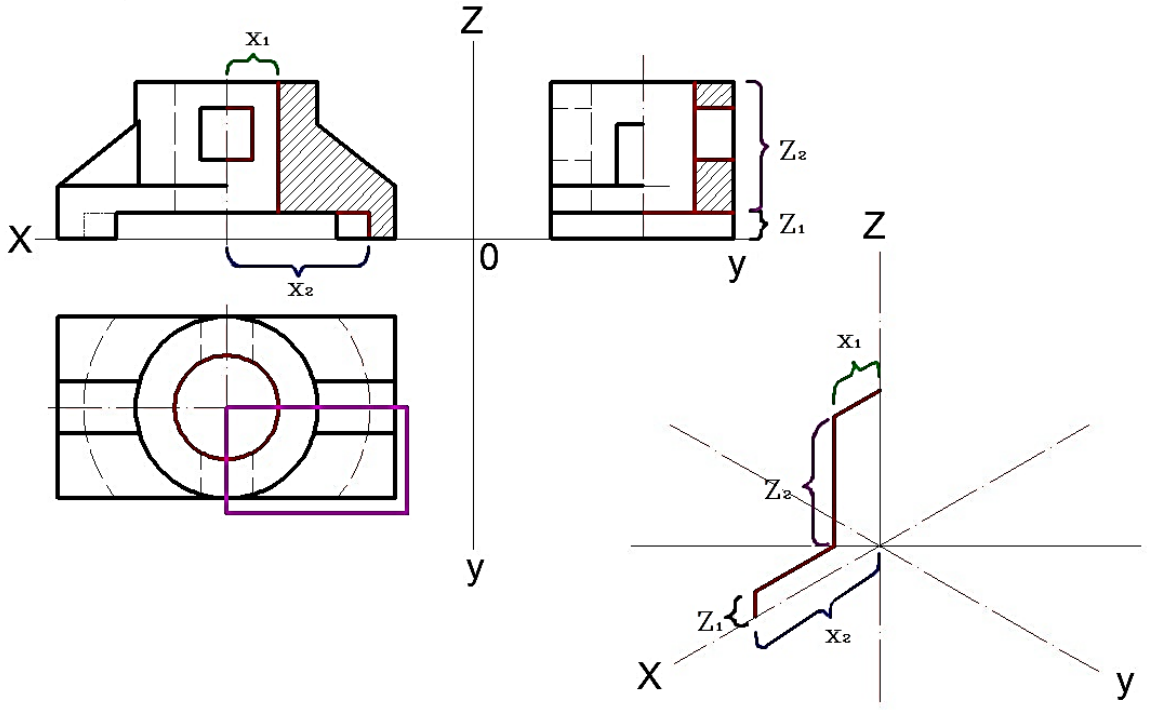
Ил. 10.69 – Оформление разрезов

8. Приступаем к построению изометрии с вырезом, для этого необходимо начертить осевые линии (Ил. 10.70).

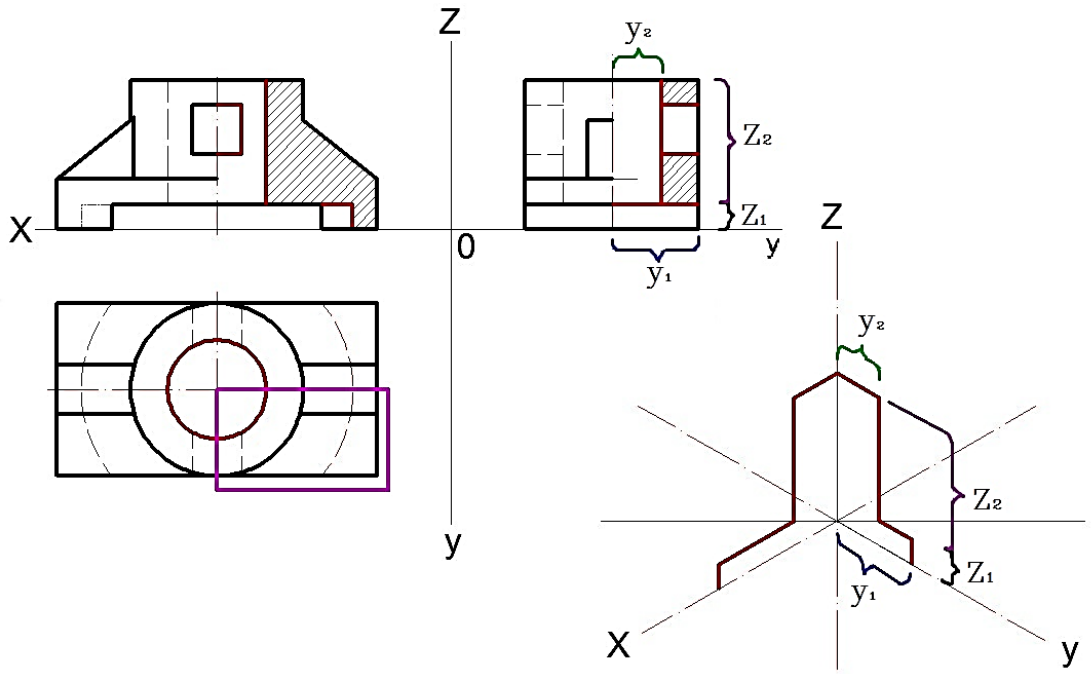


Ил. 10.70 – Формирование осей изометрии

9. Размеры, расположенные по осям на трех видах, переносим на вид изометрии. Для лучшего представления следует начать с узора выреза (Ил. 10.71, 10.72).

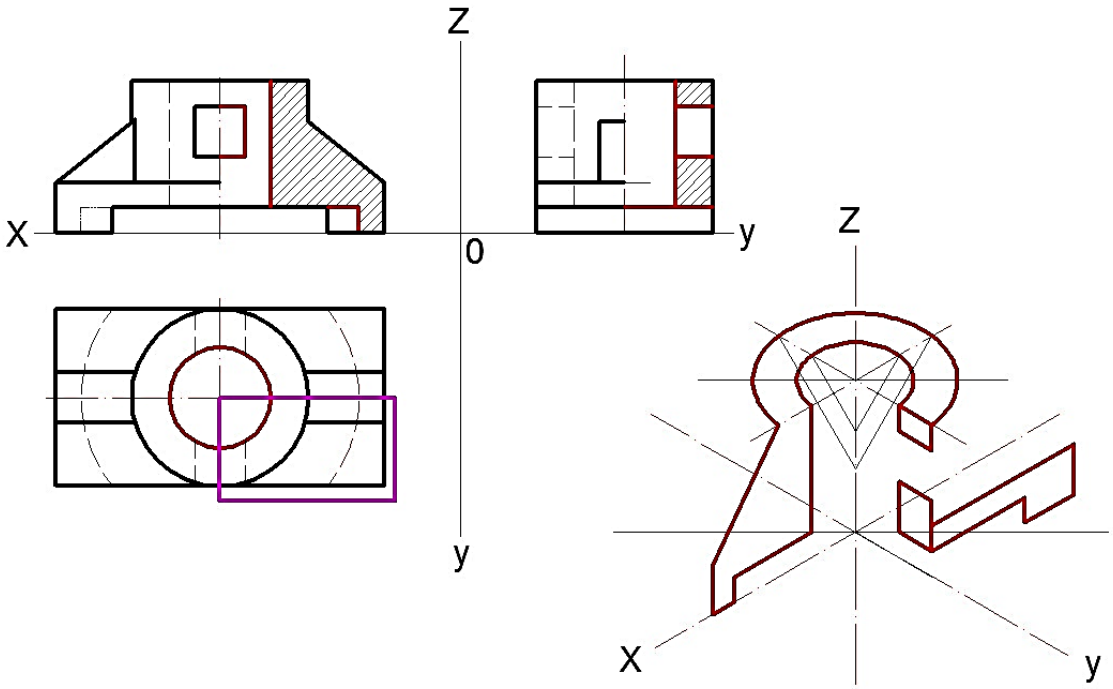


Ил. 10.71 – Начало формирования узора выреза в изометрии



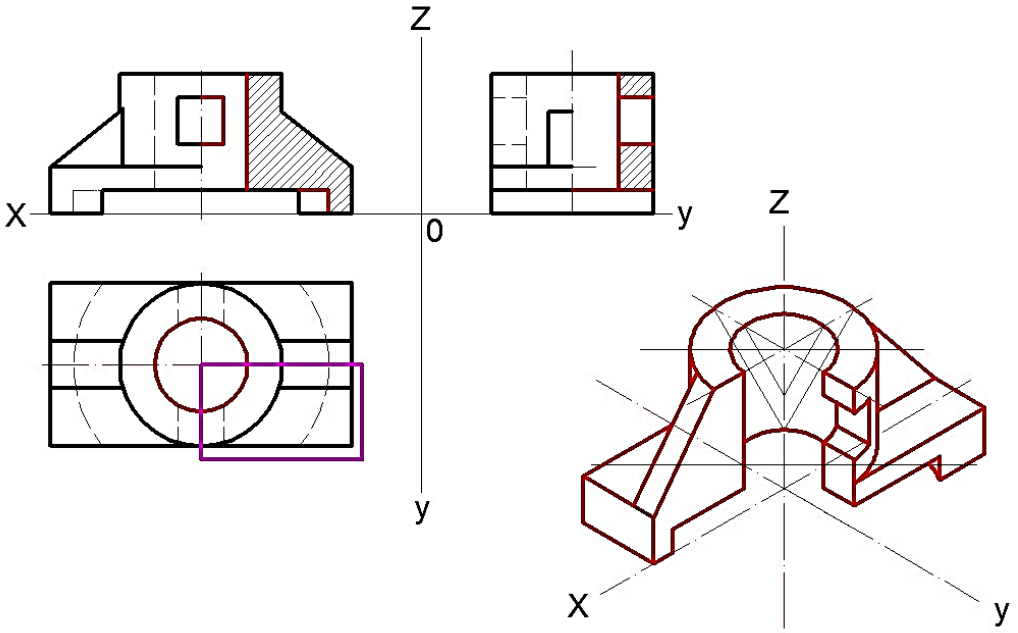
Ил. 10.72 – Продолжение формирования узора выреза в изометрии

10. Применяя методы построения овала и переноса линий на вид изометрии, строим остальную часть детали (Ил. 10.73).



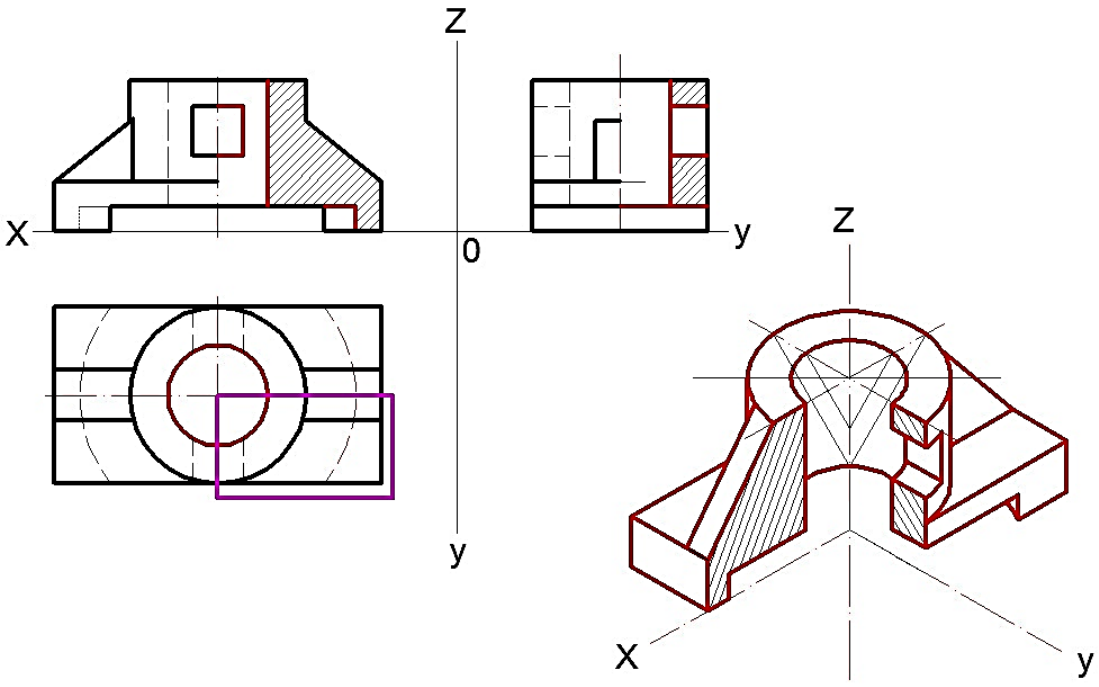
Ил. 10.73 – Формирование контура детали в изометрии

11. Затем обводим соответствующими линиями деталь (Ил.10.74).



Ил. 10.74 – Окончательное формирование детали в изометрии

12. Указываем штриховыми линиями ту часть, которую вырезали (Ил. 10.75).



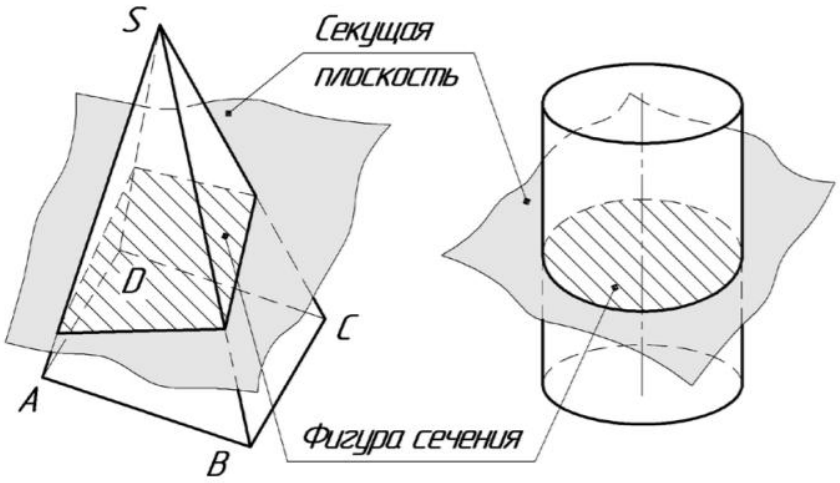
Ил. 10.75 – Оформление выреза в изометрии

Пример решения этого задания имеет общий принцип построения для всех заданий подобного вида.

11. ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ТЕЛ ПЛОСКОСТЯМИ

Формообразование многих технических деталей связано с выполнением плоских срезов. Построение чертежей таких деталей сопровождается необходимостью изображения геометрических форм, усеченных плоскостями.

На пересечении тел плоскостью основаны графические способы и приемы выявления и отображения на чертежах формы и внутреннего устройства деталей, а также построения разверток гранных и кривых поверхностей. При пересечении геометрического тела плоскостью получается плоская фигура, которую называют сечением; плоскость, с помощью которой выполняют пересечение, называют секущей плоскостью. Так, например, сечение многогранника – плоский многоугольник, число сторон которого равно числу граней, пересеченных плоскостью, а число вершин – количеству ребер, пересеченных плоскостью (Ил. 11.1). При пересечении тел вращения плоскостью получают разнообразные сечения, очертания которых представляют собой окружности, эллипсы, параболы, гиперболы, отрезки прямых линий и др.



Ил. 11.1 - Пересечение геометрических тел плоскостью

Форма сечения непосредственно зависит от вида поверхности, которой ограничено геометрическое тело; расположения тела и секущей плоскости относительно плоскостей проекций; взаимного расположения пересекающихся геометрических образов.

Любая из задач на пересечение поверхности тела с плоскостью в общем случае сводится к построению проекций плоской кривой или прямой линии, являющейся их общим элементом. Построение проекций линии производят по ее отдельным точкам. Начинают построение с определения проекций опорных точек, к которым относят:

- очерковые точки – точки, расположенные на очерковых образующих поверхности тела (они определяют границы видимости проекций линии сечения);

- экстремальные точки – точки, находящиеся на максимальных и минимальных расстояниях от плоскостей проекций.

Далее строят промежуточные точки линии сечения. Основным способом построения проекций точек линии пересечения поверхности с плоскостью является способ вспомогательных проецирующих плоскостей (плоскостей – посредников), который заключается в следующем: вводится ряд проецирующих плоскостей, пересекающих данную поверхность по некоторым линиям, а данную секущую плоскость – по прямым. Точки пересечения этих линий с соответствующими прямыми будут точками искомой линии пересечения.

Задачи на построение проекций линии пересечения поверхностей с плоскостью разделяют на три вида (табл. 11.1):

1-й вид задач – пересекающиеся геометрические образы являются проецирующими в заданной системе плоскостей проекций. На комплексном чертеже две проекции линии пересечения совпадают с вырожденными проекциями проецирующей поверхности и проецирующей секущей плоскости, обладающими собирательными свойствами.

2-й вид задач – один из пересекающихся геометрических образов является проецирующим, второй – не проецирующим в заданной системе плоскостей проекций. На комплексном чертеже одна проекция линии пересечения совпадает с вырожденной проекцией проецирующего образа, вторая проекция строится из условия ее принадлежности ко второму непроецирующему образу.

3-й вид задач – оба пересекающихся геометрических образа, непроецирующие в заданной системе плоскостей проекций. На комплексном чертеже для получения проекций линии пересечения необходимо выполнить вспомогательные построения с использованием плоскостей-посредников.

Если в задачах 2-го и 3-го видов секущая плоскость занимает общее положение, то с целью упрощения решений и уменьшения количества построений, необходимо преобразовать исходные данные (например, способом замены плоскостей проекций) – секущую плоскость перевести в частное положение.

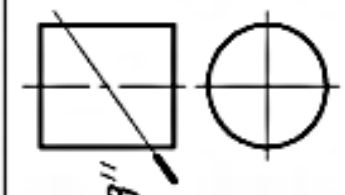
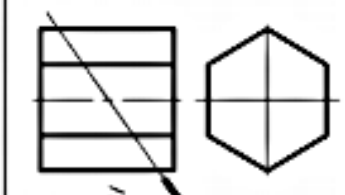
Решение задач на пересечение поверхностей с проецирующей плоскостью рекомендуется выполнять в такой последовательности:

1) произвести анализ исходных данных: выяснить вид геометрического тела и форму его поверхности; установить расположение тела и секущей плоскости относительно друг друга и плоскостей проекций; определить вид решаемой задачи;

2) построить проекции опорных точек (очерковых и экстремальных), затем проекции промежуточных точек линии сечения;

3) разграничить на всех изображениях видимые и невидимые участки проекций линии сечения;

4) проверить правильность построений; обвести изображения с учетом видимости линий, выполнить обозначения и надписи.

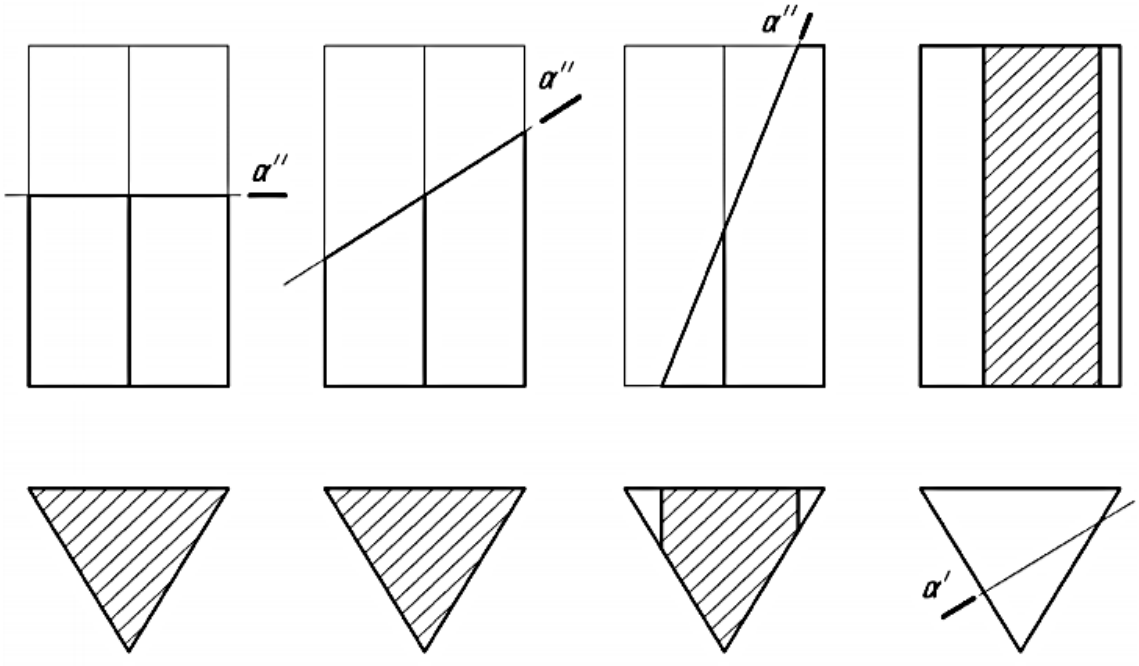
Вид задачи	Примеры задач			
1 – й вид поверхность и секущая плоскость проецирующие				
2 – й вид один геометрический образ проецирующий второй – непроецирующий				
3 – й вид поверхность и секущая плоскость непроецирующая				

11.1. Сечение многогранников плоскостью

Сечение многогранника представляет собой плоский многогранник с числом сторон, равным числу пересеченных плоскостью граней. Вершины многоугольника, располагаются на ребрах многогранника. Задачи на построение проекций сечений многогранников решают двумя способами:
- способом ребер – находят вершины многоугольника как точки пересечения ребер многогранника с секущей плоскостью;
- способом граней – находят стороны многоугольника как линии пересечения граней многогранника с секущей плоскостью.

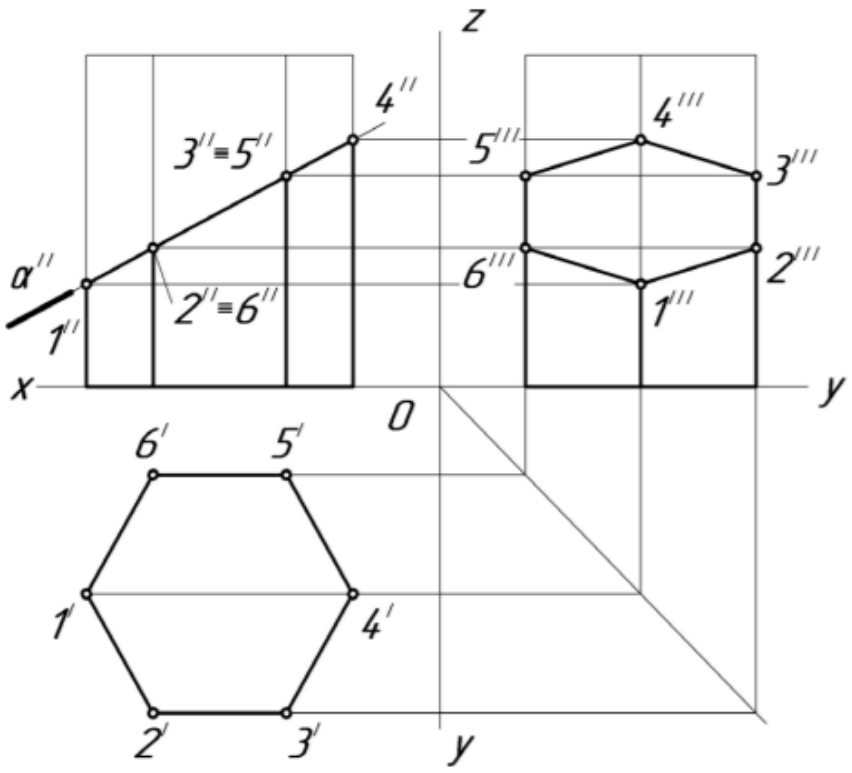
11.1.1. Сечение призмы плоскостью

При пересечении призмы плоскостью могут получаться различные фигуры:
- плоский многоугольник, параллельный и равный основанию, если секущая плоскость параллельная основанию (Ил. 11.2, а);
- плоский многоугольник, не равный основанию, если секущая плоскость наклонена к ребрам призмы (Ил. 11.2, б, в);
- плоский многоугольник для прямой призмы или плоский параллелограмм для наклонной, если секущая плоскость параллельна боковым ребрам призмы (Ил. 11.2, г).



Ил. 11.2 – Примеры сечения призм плоскостью частного положения

На Ил. 11.3 показан пример построения трех проекций линии пересечения прямой шестиугольной правильной призмы фронтально проецирующей плоскостью, т. е. решена задача 1-го вида. Плоскость α пересекает все шесть боковых ребер и граней призмы. Фронтальная проекция сечения представляет собой отрезок 1" – 4". Он принадлежит фронтальному следу секущей плоскости (α"), который обладает собирательным свойством. Горизонтальная проекция сечения совпадает с вырожденной проекцией боковой поверхности призмы. Профильные проекции 1'"...6'" вершин сечения найдены по принадлежности точек сечения соответствующим ребрам призмы. Соединив точки 1'"…6'", получаем профильную проекцию сечения.



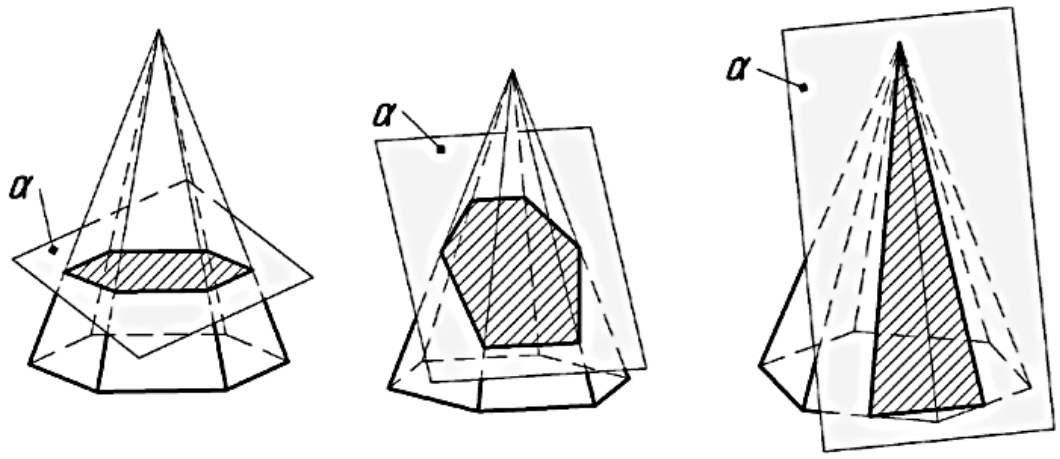
Ил. 11.3 – Сечение шестиугольной призмы

11.1.2. Сечение пирамиды плоскостью

В зависимости от положения секущей плоскости сечение пирамиды может иметь форму:

- плоского многоугольника, подобного основанию, если секущая плоскость параллельна основанию пирамиды (Ил. 11.4, а);
- плоского многоугольника, не подобного основанию, если секущая плоскость наклонена к основанию (Ил.11.4, б);

- треугольника, если секущая плоскость проходит через вершину пирамиды (Ил. 11.4, в).

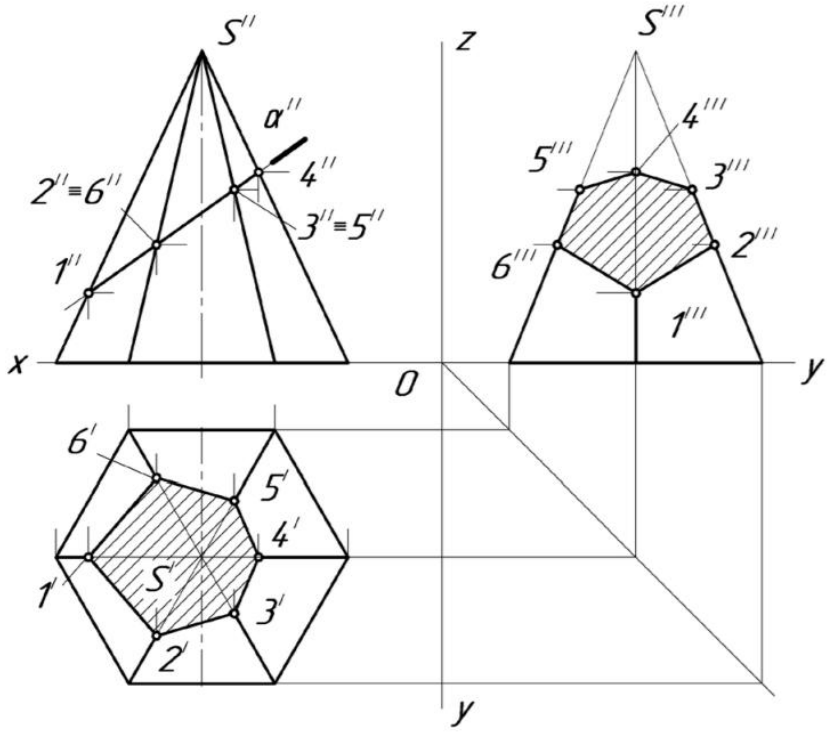


а б в

Ил. 11.4 – Примеры сечения пирамид

На Ил. 11.5 показано построение проекций сечения, получающегося при пересечении правильной шестиугольной пирамиды фронтально проецирующей плоскостью α. Решена задача 2 -го вида.

Фронтальная проекция сечения представляет собой отрезок 1"–4", совпадающий с фронтальным следом секущей плоскости. На этом отрезке находятся фронтальные проекции 1", 2"... 6" точек пересечения боковых ребер пирамиды. Горизонтальные проекции точек 1', 2'... 6 ' найдены с помощью линий связи, перпендикулярных к оси *Ox* . Профильные проекции точек 1'", 2'"... 6'" построены проведением линий связи, перпендикулярных к оси *Oz*. Соединив последовательно одноименные проекции точек, находим горизонтальную и фронтальную проекции сечения.



Ил. 11.5 – Построение сечения правильной шестиугольной пирамиды

11.2. Сечение тел вращения плоскостью

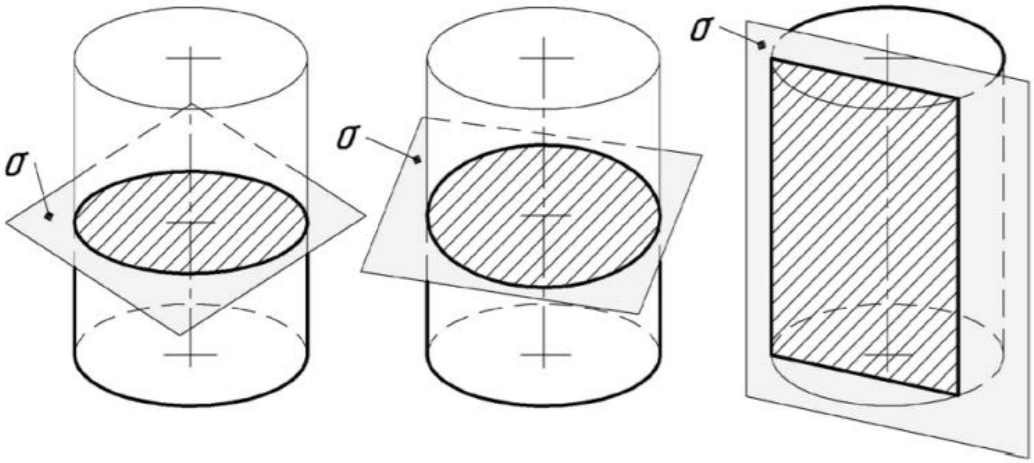
Линии пересечения плоскости с поверхностью тел вращения в общем случае представляет собой замкнутую кривую.

Когда секущая плоскость проходит через прямолинейные образующие или пересекает плоские основания тел вращения, то линия пересечения будет включать прямолинейные участки.

Положение кривой линии в пространстве определяется рядом ее точек. Чем больше точек кривой будет известно, тем точнее она будет построена. Чтобы построить линию пересечения, необходимо найти точки, общие для секущей плоскости и поверхности геометрического тела вращения. Эти точки можно определить, используя вспомогательные секущие плоскости.

11.2.1. Сечение цилиндра вращения плоскостью

Сечение цилиндра вращения плоскостью может иметь форму (Ил. 11.6):
- круга, если секущая плоскость перпендикулярна к оси цилиндра;
- эллипса, если секущая плоскость наклонена к оси цилиндра;
- прямоугольника, если секущая плоскость параллельна оси цилиндра.

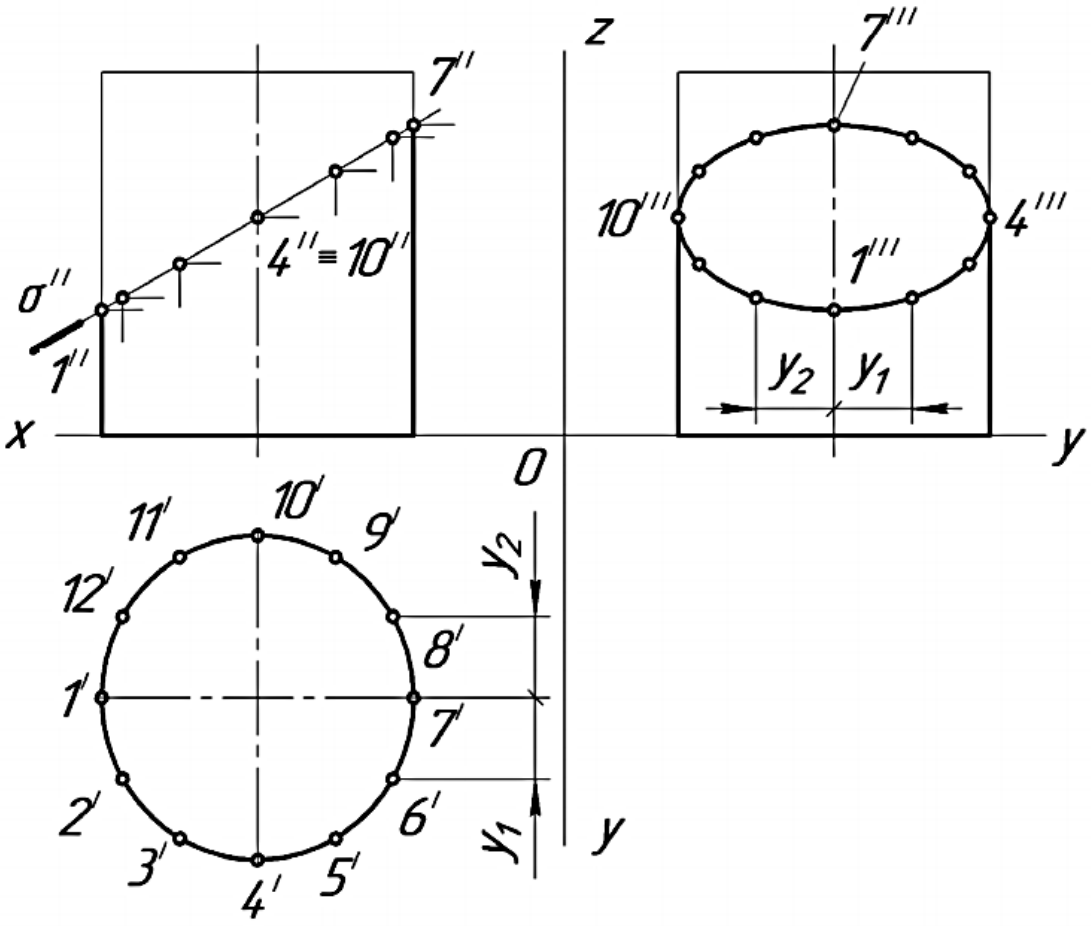


Ил. 11.6 – Примеры сечения цилиндра плоскостью

На Ил. 11.7 представлен пример построения трехпроекционного чертежа цилиндра вращения, пересеченного фронтально проецирующей плоскостью, наклоненной к оси цилиндра. Решим задачу 1-го вида. Фигура сечения – эллипс. Ее фронтальная проекция совпадает с фронтальным следом плоскости σ. Горизонтальная проекция сечения совпадает с горизонтальной проекцией цилиндра и представляет собой круг.

На всех трех плоскостях проекций первоначально отмечаем точки пересечения пл. σ с образующими, которые являются очерковыми относительно пл. π2. Это точки 1 и 7. Отрезок [1-7] – большая ось эллипса. Она спроецировалась в натуральную величину на пл. π2 (1"-7"). Далее отмечаем точки пересечения плоскости σ с образующими, которые являются очерковыми относительно плоскости π_3. Это точки 4 и 10. Отрезок [4-10] малая ось эллипса. Она спроецировалась в натуральную величину на плоскость π_1 (4'-10') и на плоскость π_3 (4'''-10''').

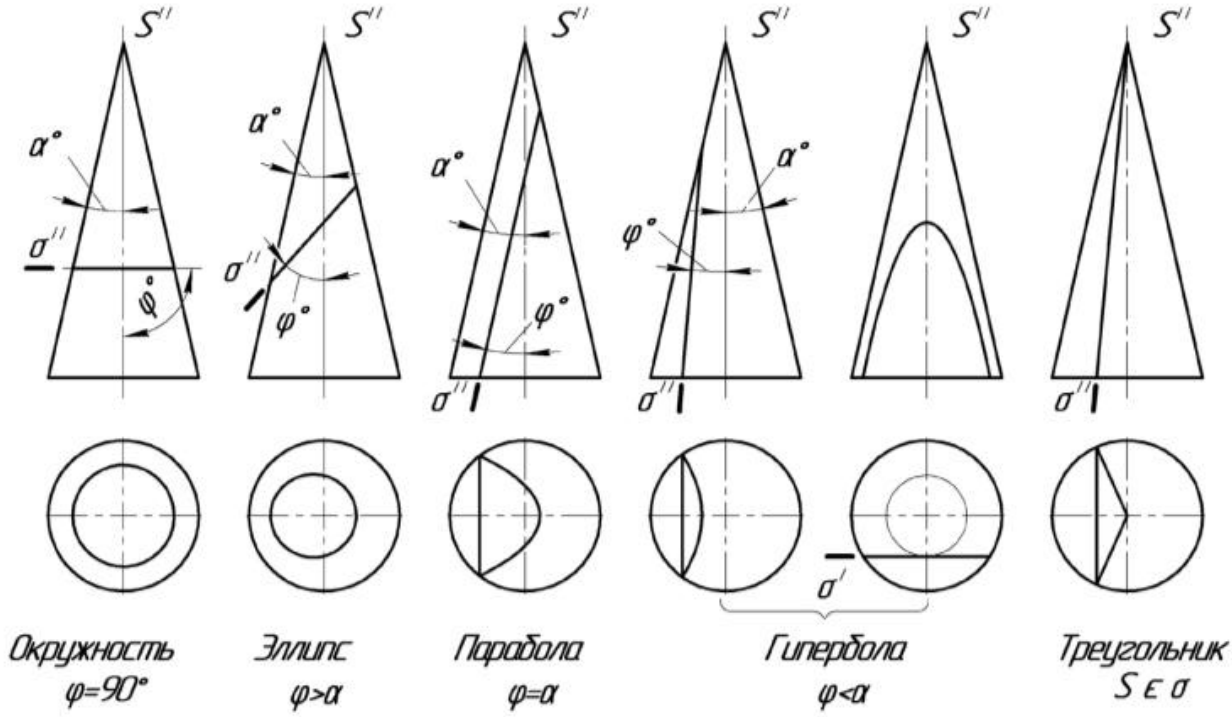
Делим горизонтальную проекцию основания на двенадцать равных частей. Из точек деления проводим еще восемь образующих цилиндра и отмечаем точки их пересечения с пл. σ. Это точки 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11 и 12. Соединив профильные проекции этих точек плавной кривой, получаем проекции эллипса.



Ил. 11.7 – Построение чертежа сечения цилиндра

11.2.2. Сечение конуса вращения плоскостью

Сечения конуса вращения плоскостями называют коническими сечениями. В зависимости от положения секущей плоскости такие сечения могут иметь форму окружности, эллипса, параболы, гиперболы, треугольника (Ил. 11.8).



Ил. 11.8 – Виды конических сечений

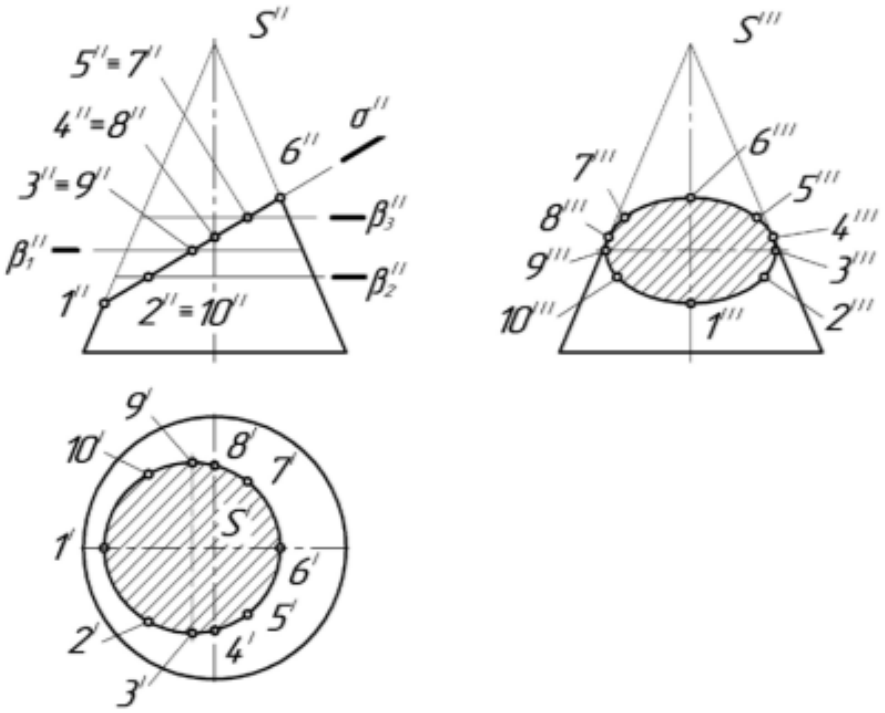
Пример построения проекций конического сечения показан на Ил. 11.9. Решена задача 2-го вида. Фронтально проецирующая плоскость σ пересекает все образующие конуса и не перпендикулярна к его оси, поэтому фигурой сечения является эллипс. На плоскости π_2 сечение проецируется в отрезок [1"-6"] фронтального следа плоскости σ. Он равен натуральной величине большой оси эллипса-сечения. Точки 1" и 6" являются очерковыми относительно плоскости π_2. Разделив этот отрезок пополам, находим фронтальную проекцию малой оси эллипса, которая спроецировалась в двойную точку (3"=9").

На плоскости π_1 и π_3 сечение проецируется в эллипсы разной величины и формы. Горизонтальную и фронтальную проекции отрезка [1-6] находим с помощью линий связи. Горизонтальную и профильную проекции отрезка [3-9] строим при помощи горизонтальной плоскости уровня β_1, пересекающей поверхность конуса по параллели.

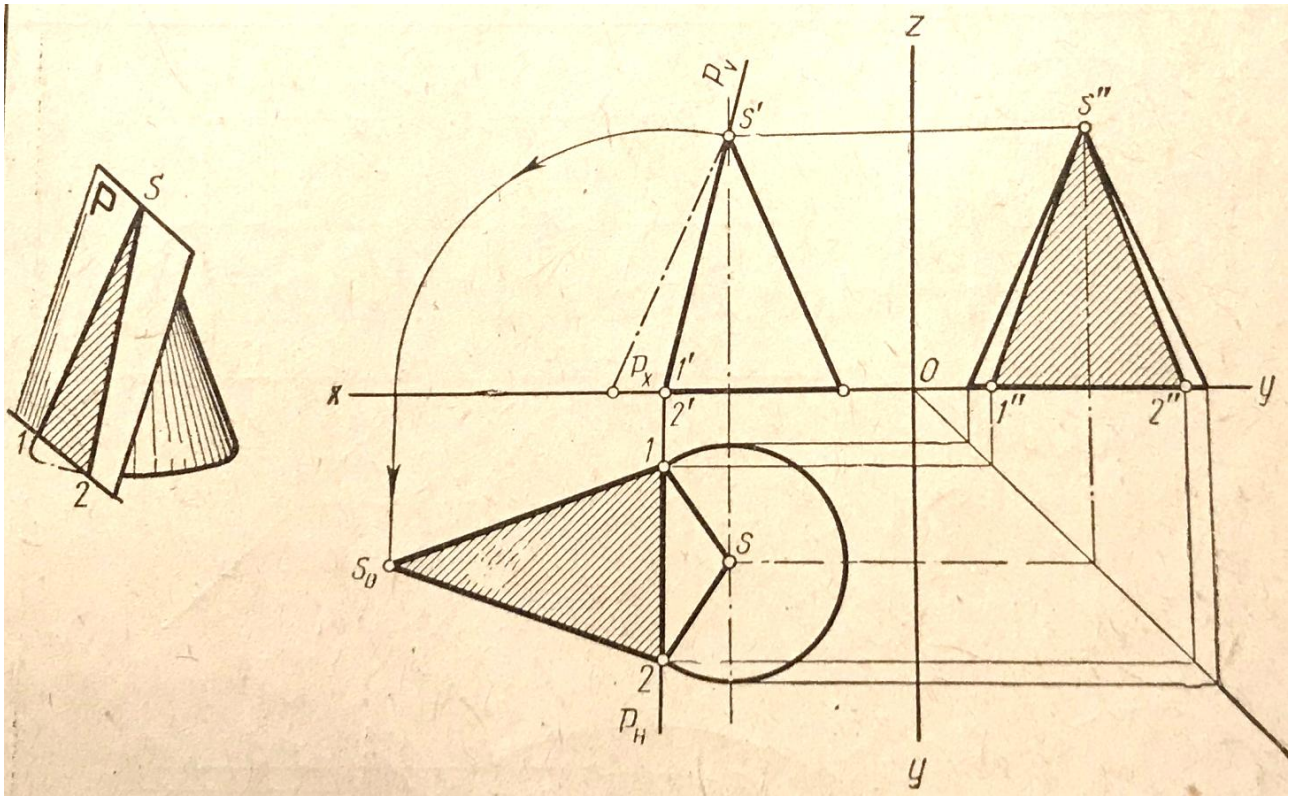
Точки 4 и 8 являются очерковыми относительно плоскости π_3. По фронтальным проекциям этих точек находим сначала их профильные проекции 4''' и 3''' , а затем – горизонтальные 4' и 8'.

Для нахождения проекций промежуточных точек 2, 5, 7, 10 используем горизонтальные плоскости уровня β_2 и β_3.

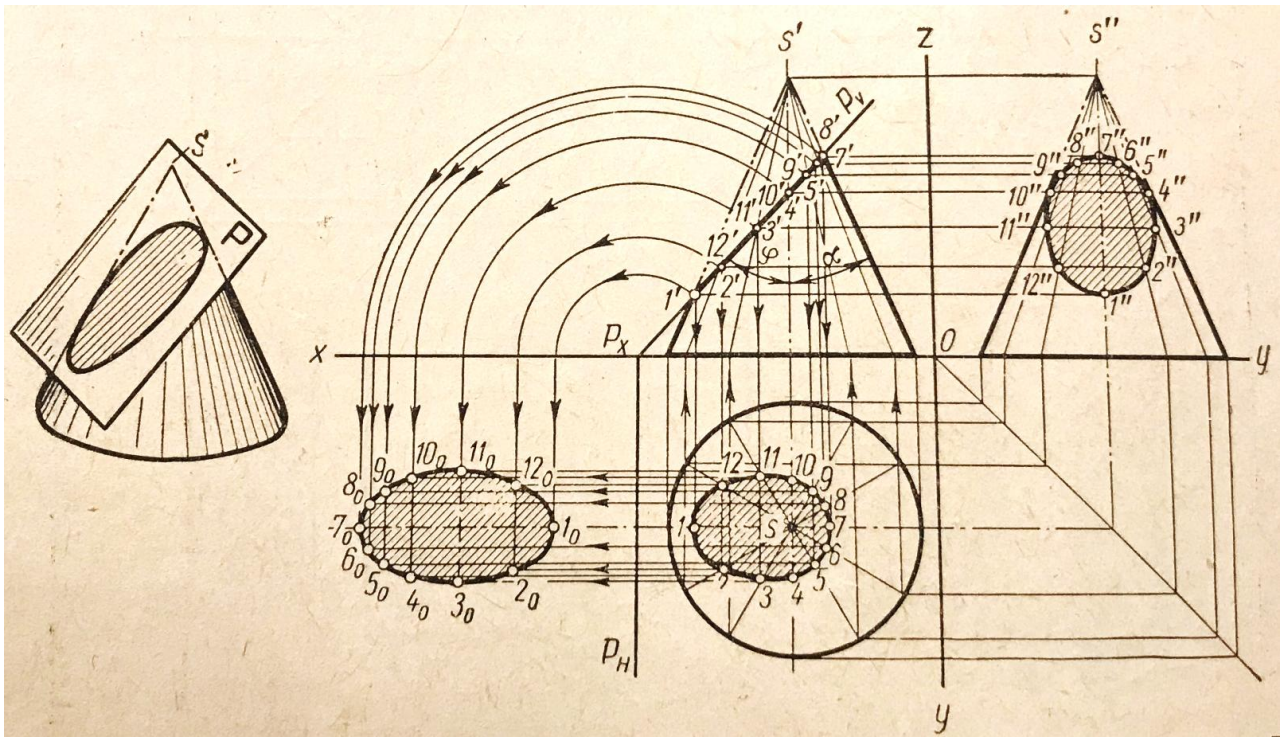
На Ил. 11.10 – 11.13 представлены примеры построения чертежей характерных сечений конуса, а также построения сечений в натуральную величину.



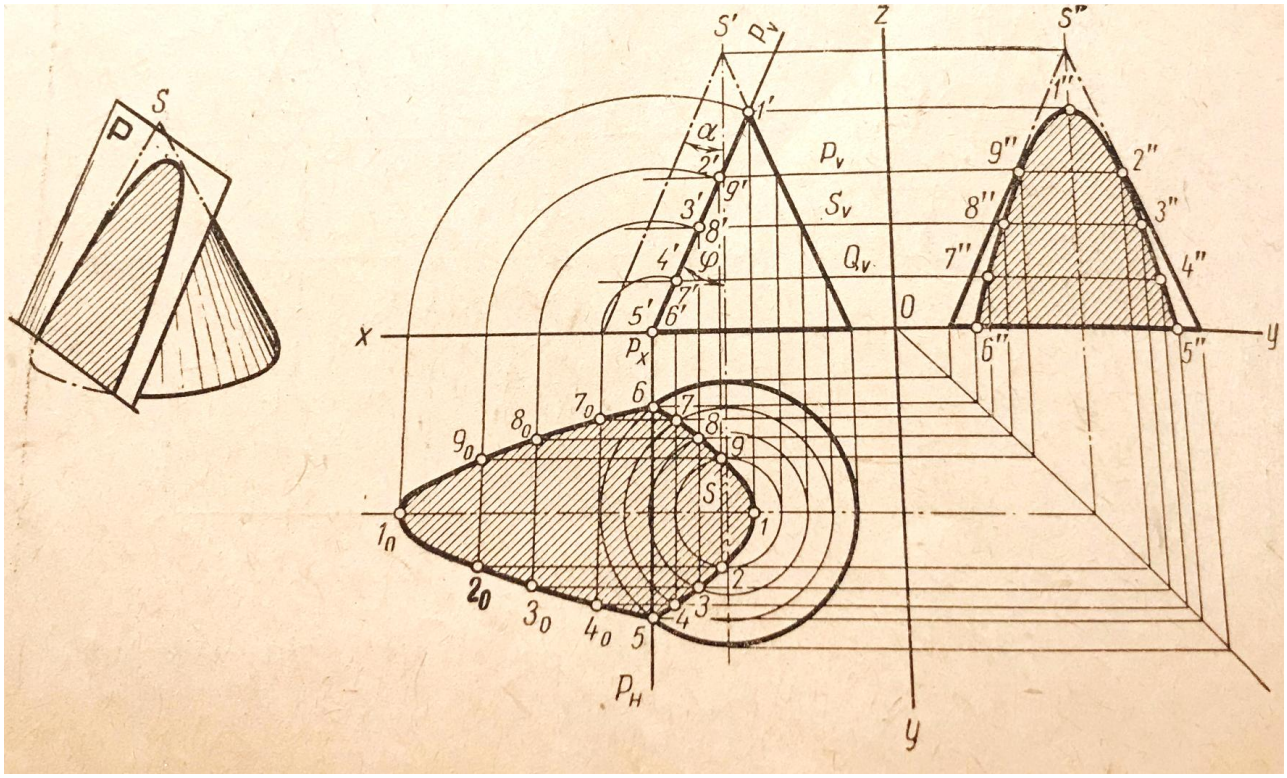
Ил. 11.9 – Построение чертежа конуса вращения, пересеченного фронтально проецирующей плоскостью



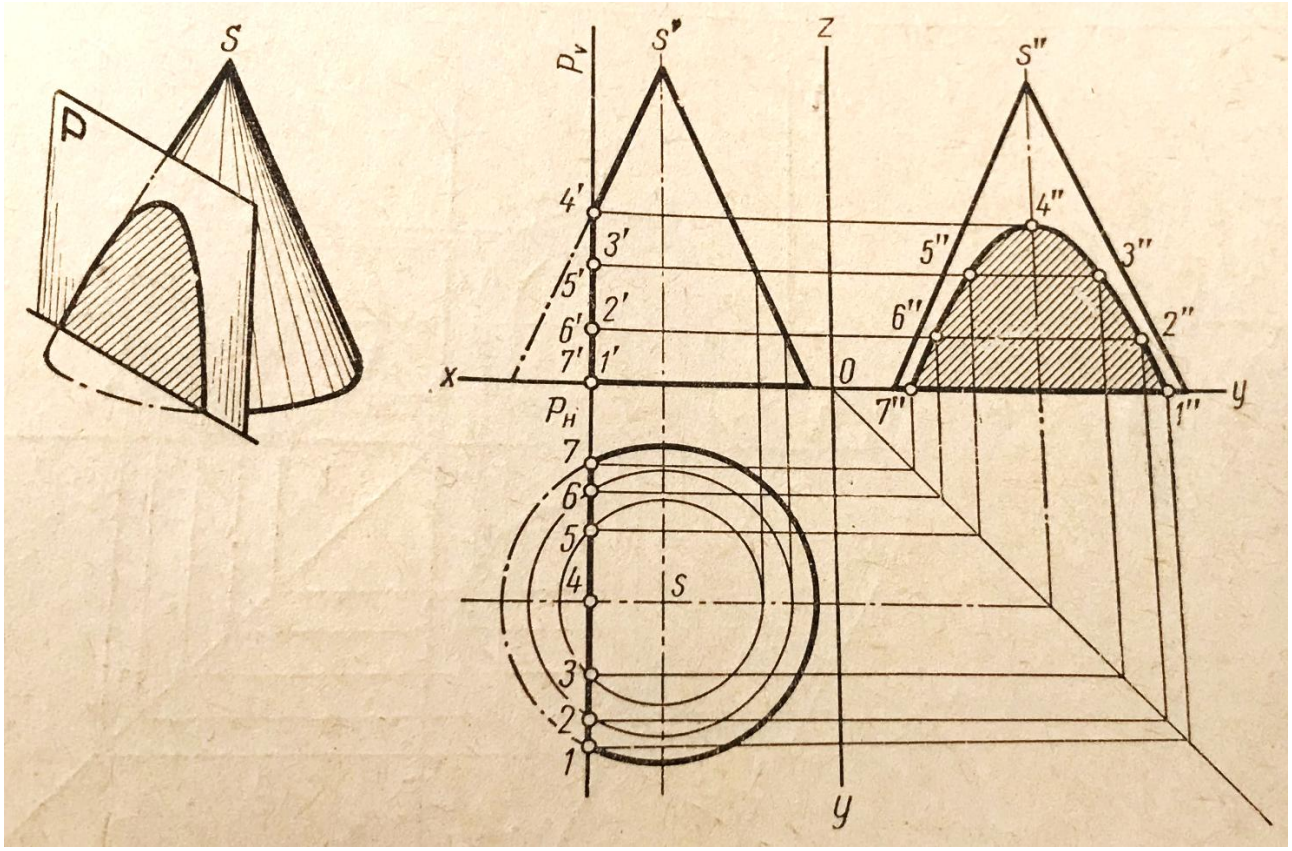
Ил. 11.10 – Построение чертежа сечения конуса плоскостью, проходящей через вершину



Ил. 11.11 – Построение чертежа сечения конуса плоскостью, наклоненной к оси конуса



Ил. 11.12 – Построение чертежа сечения конуса плоскостью, параллельной образующей конуса



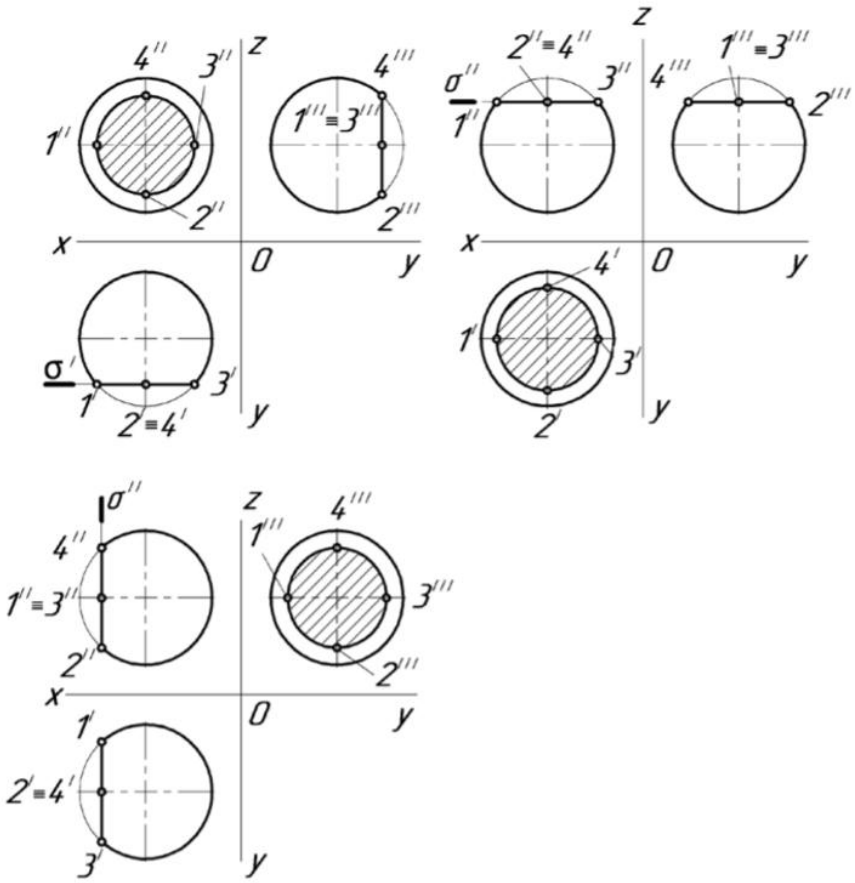
Ил. 11.13 – Построение чертежа сечения конуса плоскостью, параллельной оси конуса

11.2.3. Сечение шара плоскостью

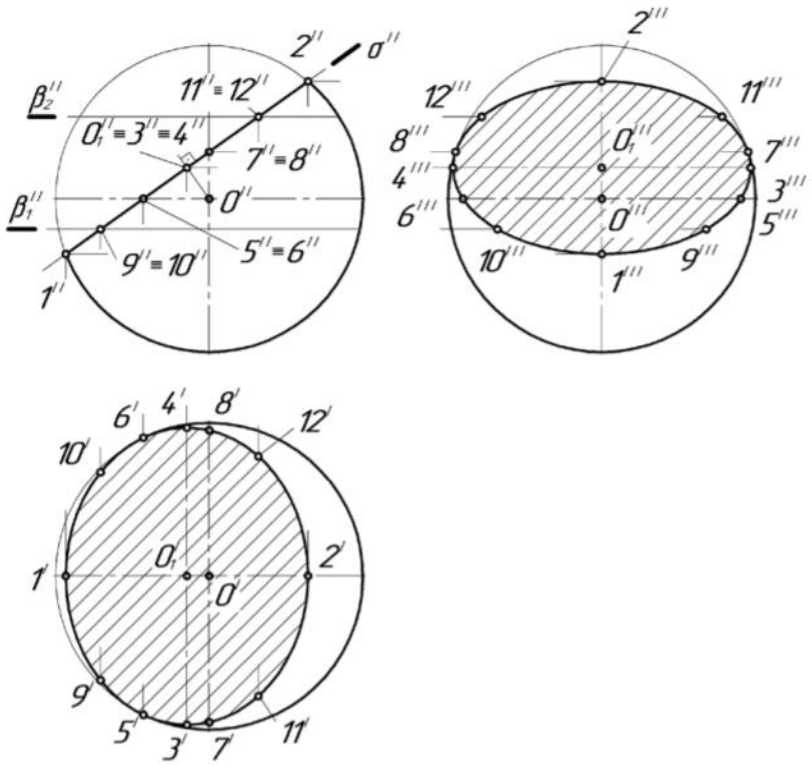
Сечение шара плоскостью всегда является кругом. Если секущая плоскость параллельна какой-либо плоскости проекций, то на эту плоскость сечение проецируется в натуральную величину (Ил. 11.14).

При пересечении шара проецирующей плоскостью сечение вырождается в отрезок прямой линии, совпадающий со следом секущей плоскости. На две другие плоскости проекций круг проецируется в фигуры, ограниченные эллипсами. Рассмотрим порядок построения трехпроекционного чертежа шара, пересеченного фронтально проецирующей плоскостью σ (Ил. 11.15). Решаем задачу 2-го вида.

Построение начинаем с определения проекций опорных точек 1, 2, 3 и 4, являющихся концами взаимно перпендикулярных диаметров сечения-круга. Фронтальные проекции точек 1" и 2" принадлежат фронтальной проекции главного фронтального меридиана. Отрезок [1"-2"] [1-2]. Горизонтальные 1', 2' и профильные 1"', 2"' проекции точек находим с помощью линий связи. Опустив перпендикуляр из фронтальной проекции центра сферы O"' на фронтальный след σ" секущей плоскости, получаем тройную точку *O*"1 3" 4", где *O*"1 – проекция центра сечения.



Ил. 11.14 – Примеры пересечения шара плоскостями



Ил. 11.15 – Построение сечения шара фронтально проецирующей плоскостью

Горизонтальную [3' – 4'] и профильную [3''' 4'''] проекции отрезка [3 – 4] строим с помощью линий связи. Цифрами 5" и 6" обозначим фронтальные проекции точек пересечения плоскости σ с экватором, а цифрами 7" и 8" – фронтальные проекции точек пересечения плоскостью σ с главным профильным меридианом. Строим горизонтальные и профильные проекции этих точек, используя координатный способ. Далее находим проекции промежуточных точек 9, 10, 11 и 12, используя плоскости-посредники β_1 и β_2, параллельные плоскости π_1 и пересекающие сферу по параллелям.

Соединив точки 1', 2'….12" плавной кривой линией, получаем эллипс. Фигура, ограниченная этим эллипсом, – горизонтальная проекция сечения. Отрезок [3'- 4'] – большая ось эллипса, отрезок [1' – 2'] – его малая ось. Соединив точки 1''', 2'''... 12''' плавной кривой линией, получаем другой эллипс. Фигура, ограниченная этим эллипсом, – профильная проекция сечения. Отрезок [3'''- 4'''] – большая ось эллипса, отрезок [1'''-2'''] – его малая ось.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дисциплина «Линейно-конструктивное построение» направлена на развитие у обучающихся профессионального пространственного представления и конструктивно-геометрического мышления, получение теоретических и практических знаний применения чертежных навыков при выполнении дизайн-проектов мебели, интерьера, объектов средового дизайна, промышленных объектов, средств транспорта и др.

В ходе освоения дисциплины решаются задачи, связанные с изучением способов линейно-конструктивного построения, выполнения и чтения чертежей, основанных на ортогональном и центральном проецировании; приобретаются навыки и умения решения практических задач, связанных с линейно-конструктивным построением, пространственными формами и отношениями, а также непосредственного выполнения построений и чертежей различных объектов.

Дисциплина осваивается обучающимися на лекционных и практических занятиях, а также в ходе самостоятельной работы. В ходе обучения необходимо проработать и освоить теоретический курс, выполнить запланированные практические работы, подготовиться к промежуточной аттестации.

Практические занятия по дисциплине позволяют обучающимся на конкретных примерах научиться использовать способы линейно-конструктивного построения изображений пространственных фигур на плоскости, находить способы решения и исследования пространственных задач при помощи изображений, развить пространственное представление; научиться решать задачи, связанные с формой и взаимным расположением пространственных фигур.

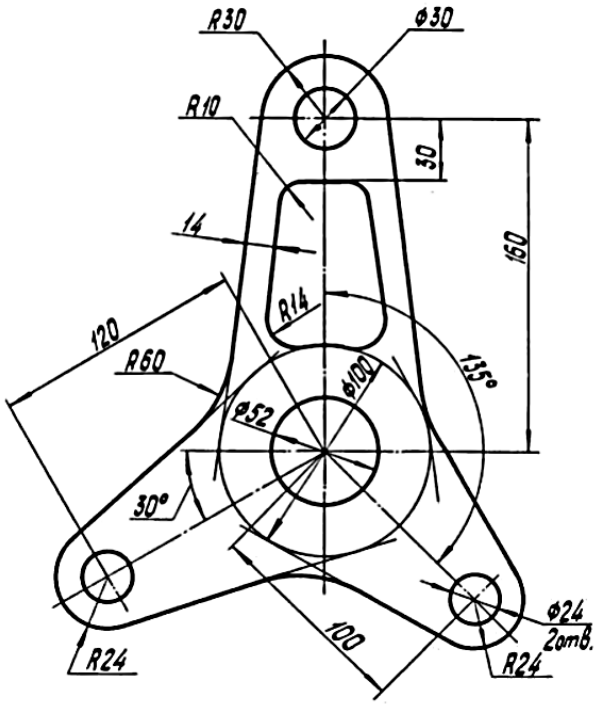
При реализации программы дисциплины «Линейно-конструктивное построение» используются различные образовательные технологии, целью которых является личностное развитие, саморазвитие, самореализация обучающихся. Заниматься данной дисциплиной необходимо регулярно и последовательно (в том числе самостоятельно), занимая активную позицию в изучении технического рисунка и чертежа, сознательно стремясь к развитию пространственного мышления. Не рекомендуется приступать к решению запланированных задач и геометрическим построениям, предварительно не составив план решения и построения в пространстве, не определив теоретические предпосылки графического изображения.

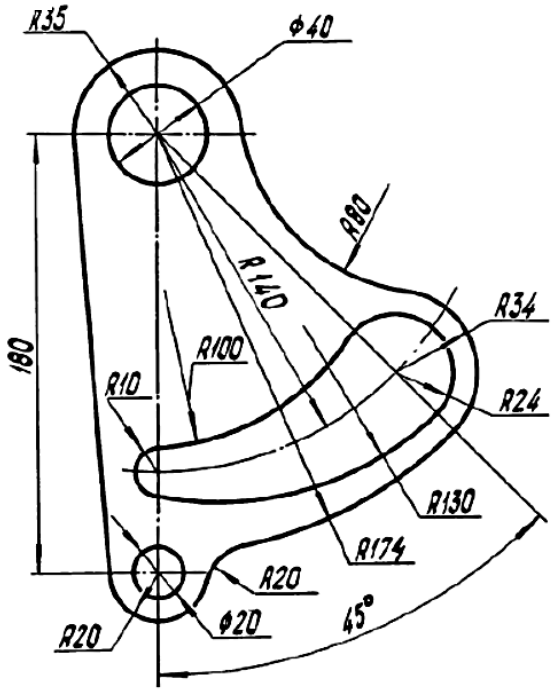
Список литературы

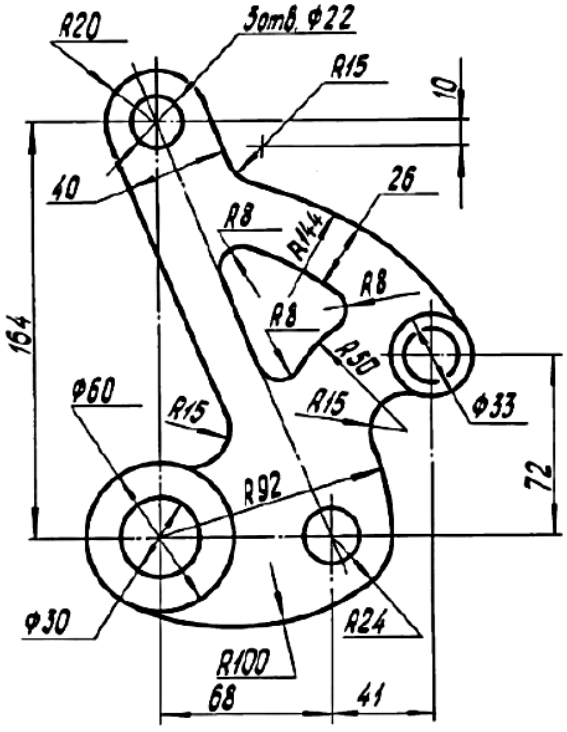
1. Жилкина Т.А. История черчения / Т.А. Жилкина. – М: МГСУ, 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://lib-04.gic.mgsu.ru/lib/Методички%202015/205.pdf
2. Антипина Н.А. Инженерная графика / Н.А. Антипина, С.П. Буркова, Р.Г. Долотова, Ю.Г. Нехорошева. – Томск: ТПУ, 2013. – 165 с.
3. Мясоедова Н.В. Инженерная графика (геометрическое и проекционное черчение) / Н.В. Мясоедова, Л.М. Леонова, Ф.Н. Притыкин, Л.И. Кошелева. – Омск: ОмГТУ, 2005. – 52 с.
4. Скобелева И.Ю. Инженерная графика / И.Ю. Скобелева, И.А. Ширшова, Л.В. Гареева, В.В. Князьков. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2008. – 183 с.
5. Кузьмина В.А. Основные правила оформления чертежей. Геометрические построения / В.А. Кузьмина. – Ульяновск: УСК, 2014. – 58 с.
6. Шибанова Е. И. Проекционное черчение: учеб. пособие / Е.И. Шибанова, В.Ф. Иванова. – СПб.: СПбГАСУ, 2011. – 68 с.
7. Волжанова О.А. Аксонометрические проекции / О.А. Волжанова. –Ижевск: Удмуртский университет, 2012. – 48 с.
8. Бударин А.М. Проецирование геометрических тел : учебное пособие / А. М. Бударин, Г. М. Горшков. – Ульяновск : УлГТУ, 2016. – 105 с.

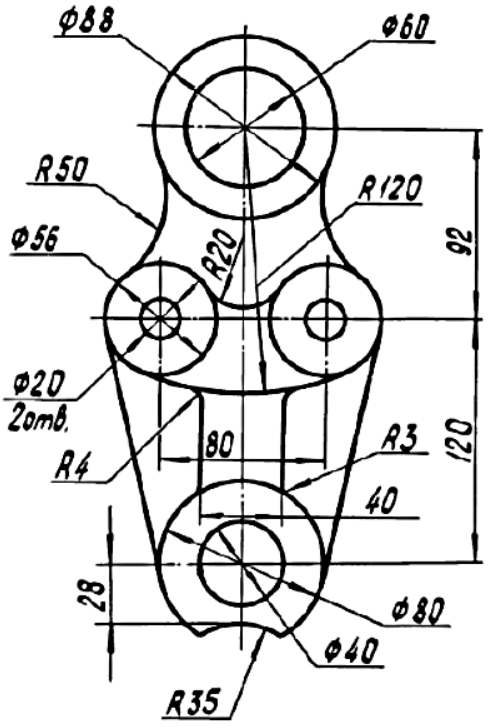
Приложение 1

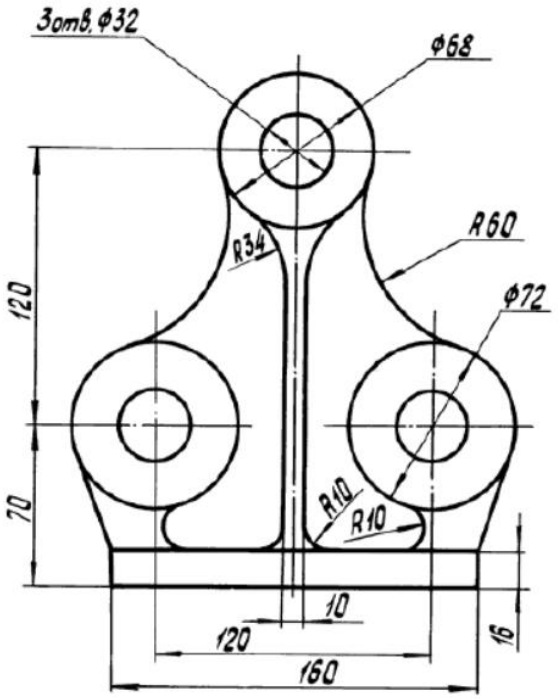
Варианты заданий на построение сопряжений

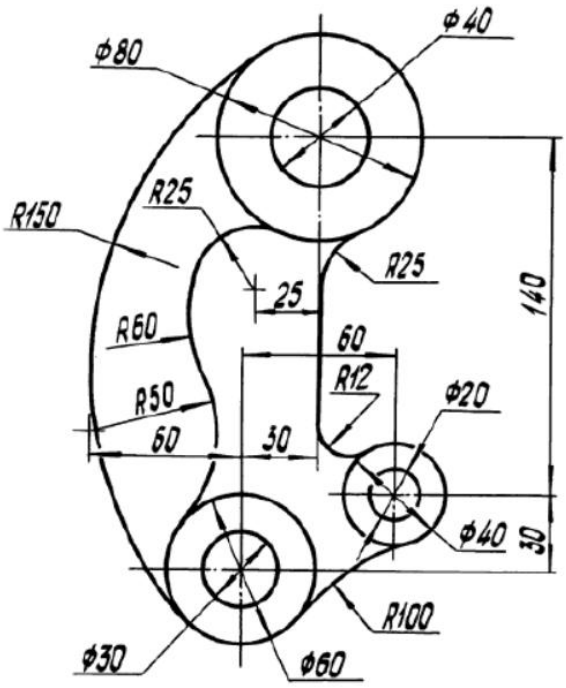


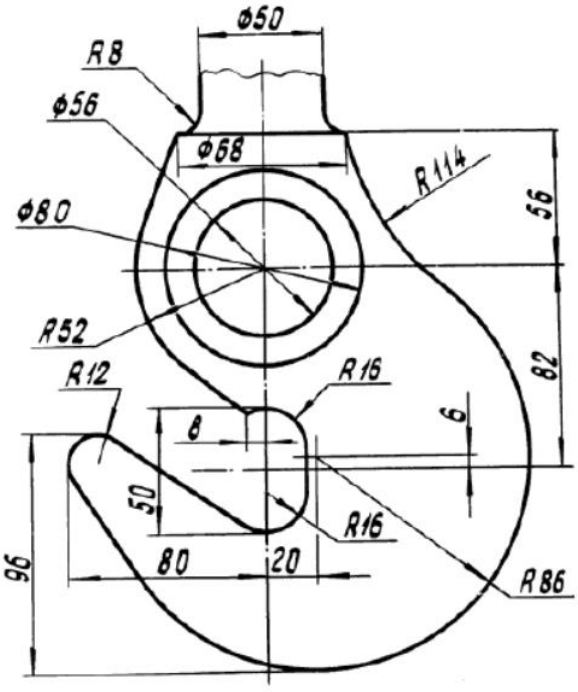


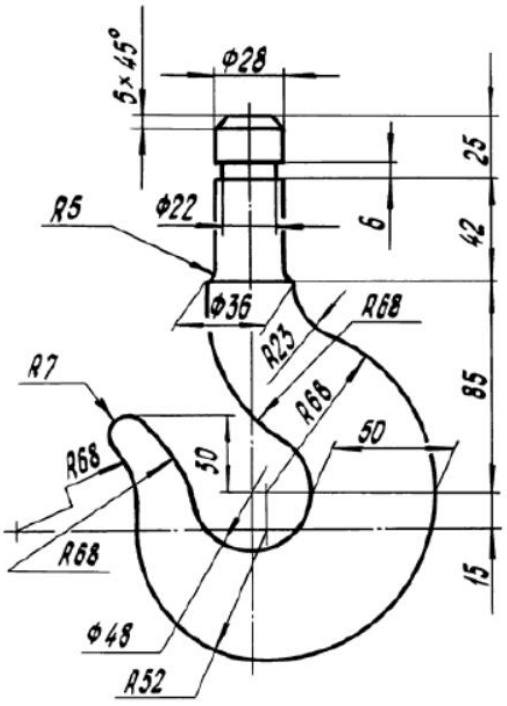


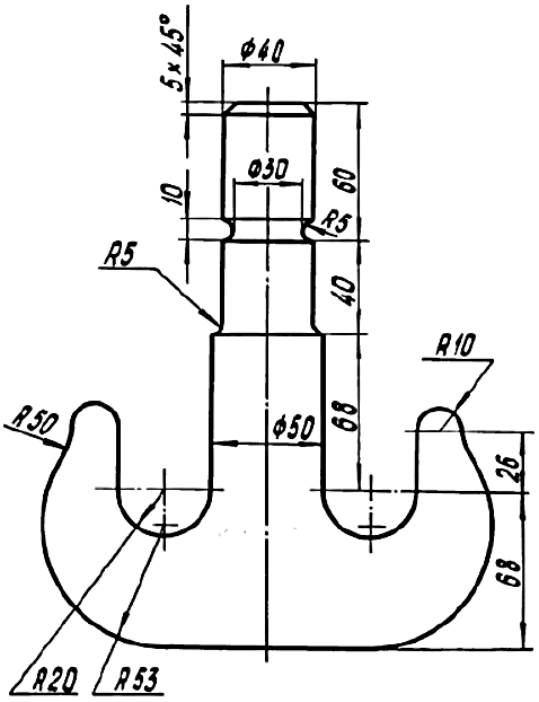


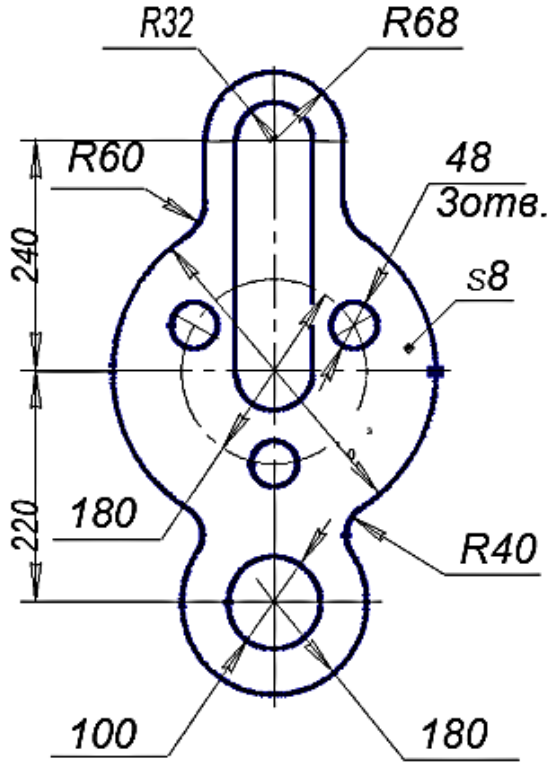

3отв. ф32
ф68
R60
R34
ф72
120
70
R10
R10
10
120
160
16

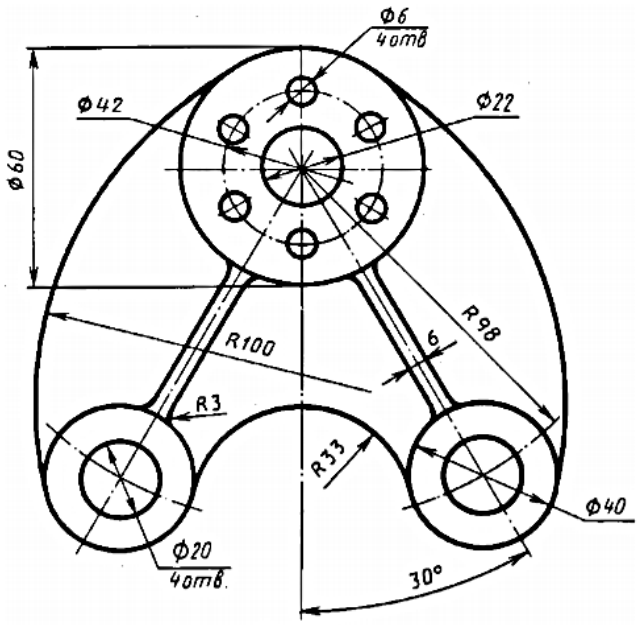

ф40
ф80
R25
R150
R25
25
140
R60
60
R12
R50
ф20
60
30
ф40
30
R100
ф30
ф60

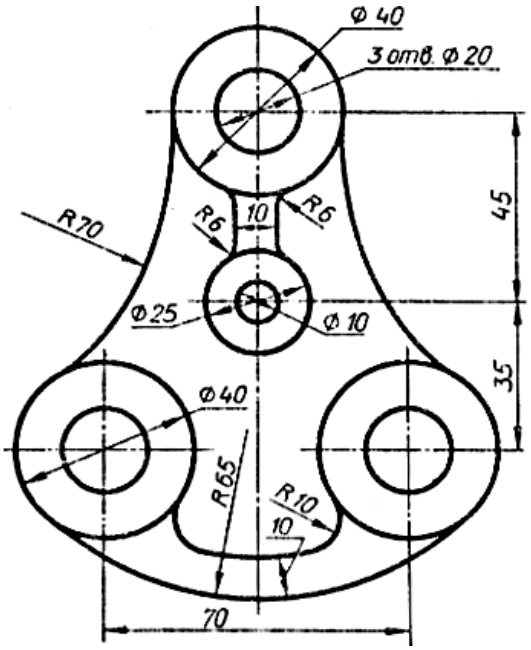

ф50
R8
ф56
ф68
R114
56
ф80
R52
82
R12
R16
6
6
50
R16
96
80
20
R86

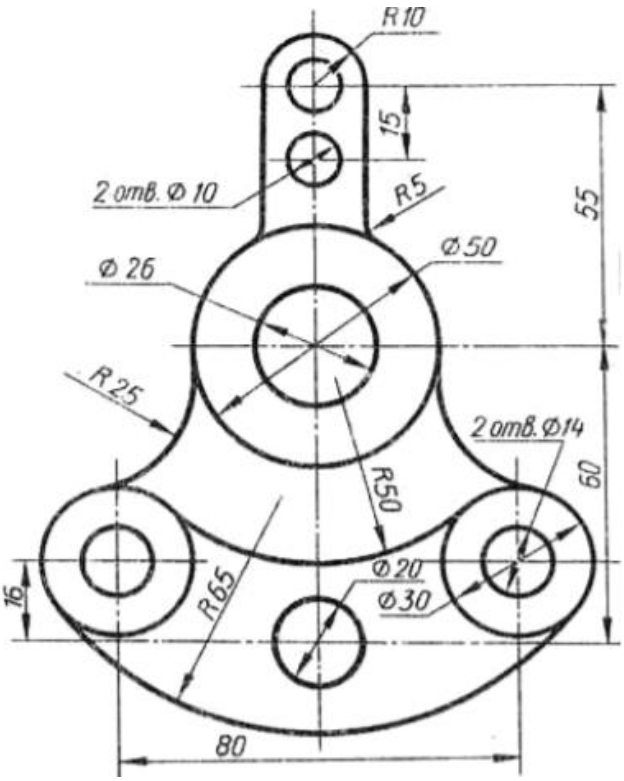

5×45°
ф28
25
R5
ф22
6
42
ф36
R68
R23
R7
R68
85
R68
50
50
R68
15
ф48
R52

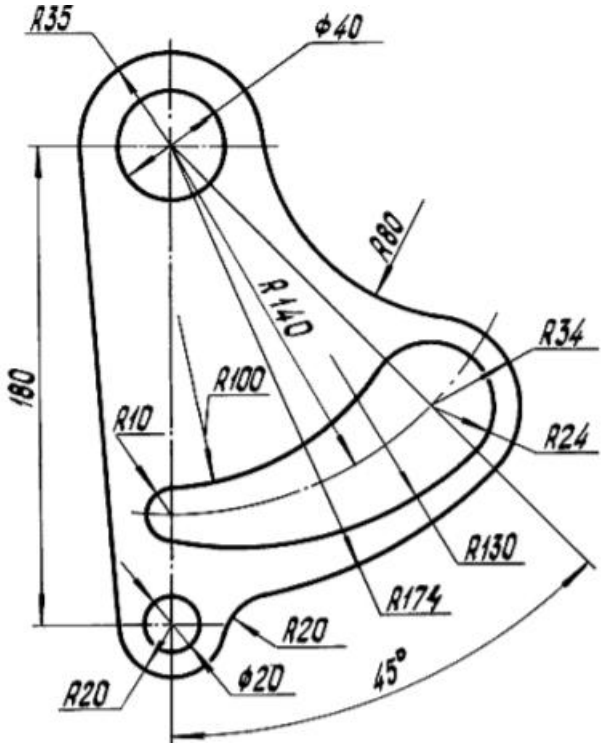

5x45°
ϕ40
ϕ30
10
60
R5
R5
40
R10
R50
ϕ50
68
26
68
R20
R53

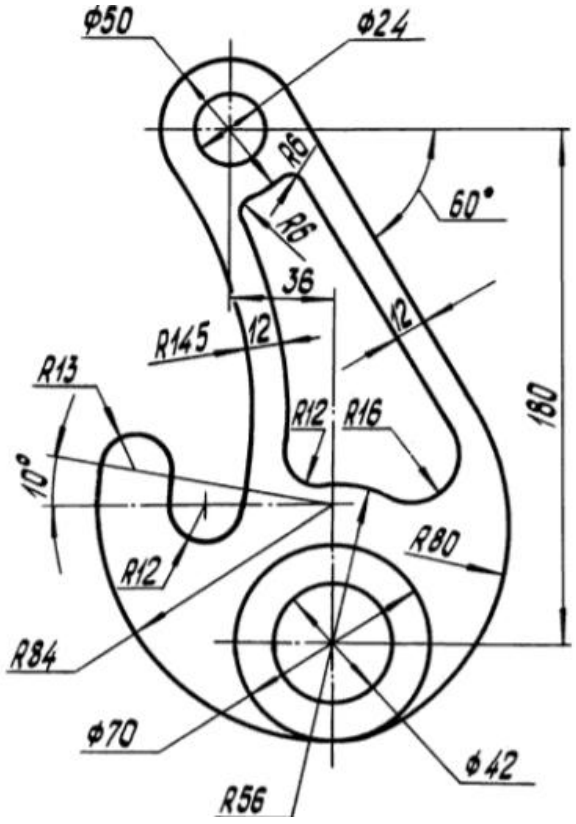

R32
R68
R60
48
3отв.
240
S8
180
220
R40
100
180

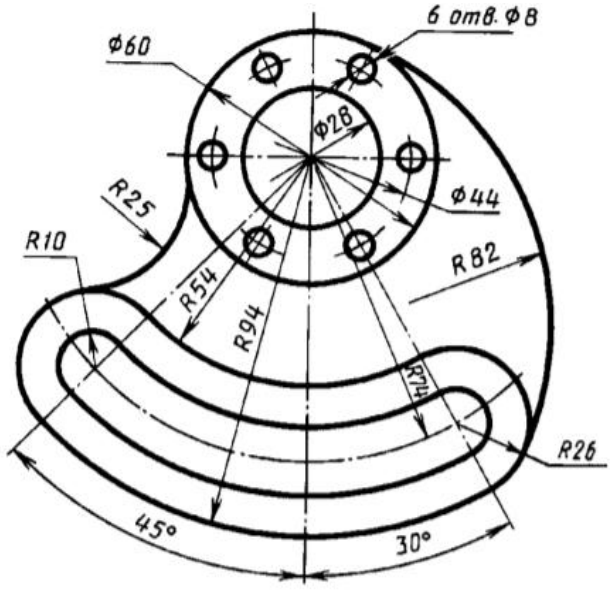

ϕ6
4отв
ϕ42
ϕ22
ϕ60
R100
R98
6
R3
R33
ϕ40
ϕ20
4отв.
30°

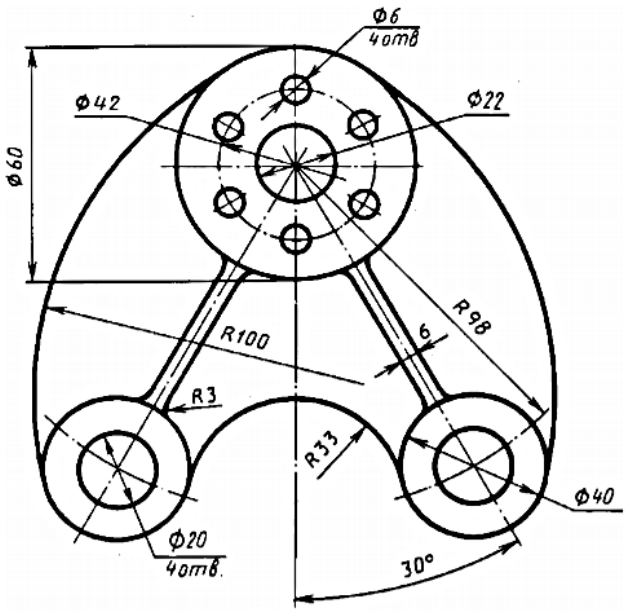

ϕ 40
3 отв. ϕ 20
R70
R6
10
R6
45
ϕ25
ϕ 10
35
ϕ40
R65
R10
10
70

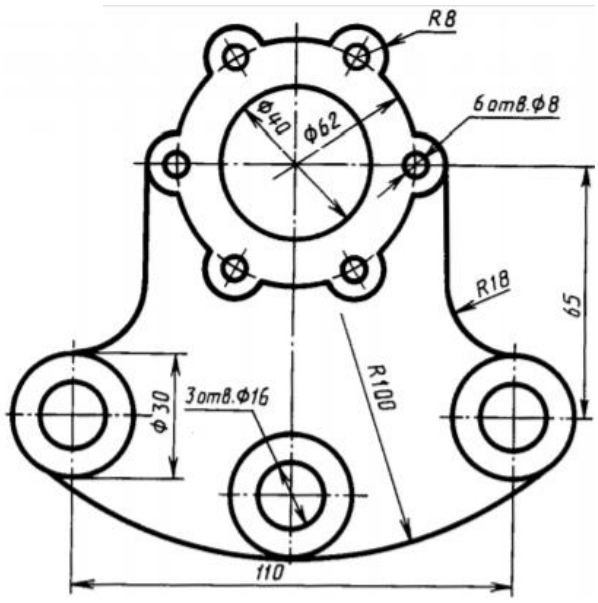

R10
15
55
2 отв. Ø 10
R5
Ø 50
Ø 26
R 25
2 отв. Ø14
60
R50
16
R65
Ø 20
Ø 30
80

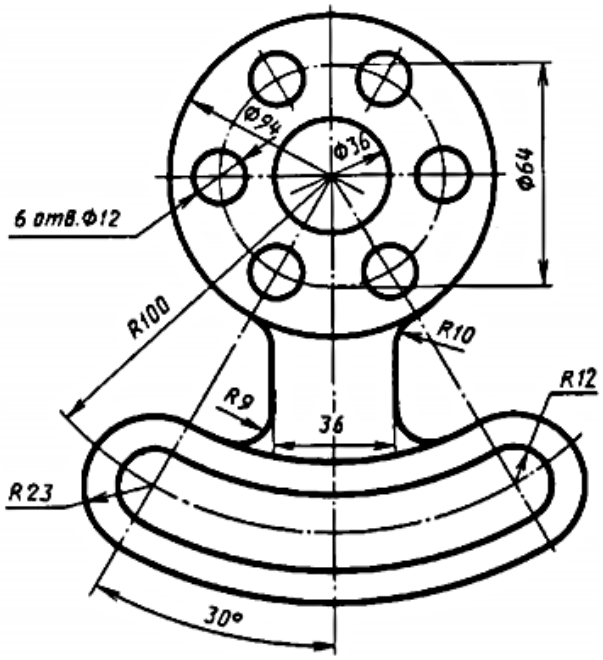

R35
ϕ40
R80
R 140
R34
180
R100
R10
R24
R130
R174
R20
R20
ϕ20
45°

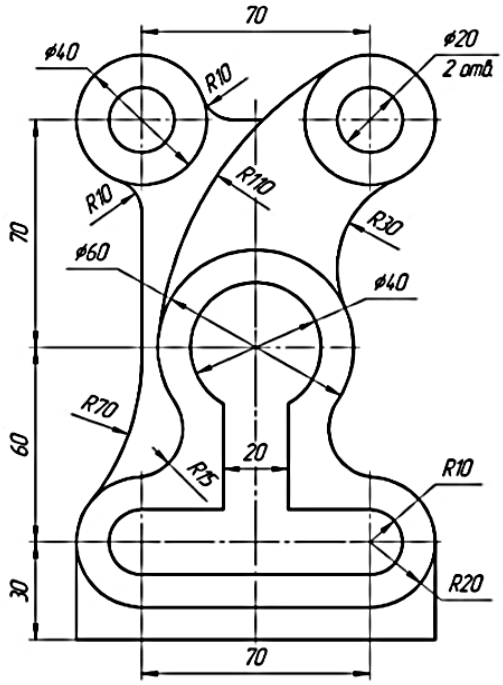

ϕ50
ϕ24
R6
R6
60°
36
12
12
R145
R13
R12
R16
180
10°
R12
R80
R84
ϕ70
ϕ42
R56

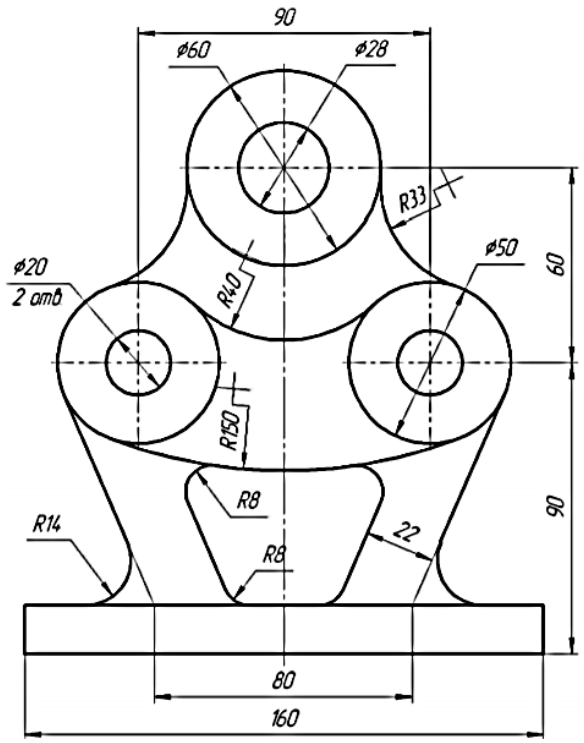

6 отв. ϕ 8
ϕ60
ϕ28
R25
ϕ44
R10
R82
R54
R94
R74
R26
45°
30°

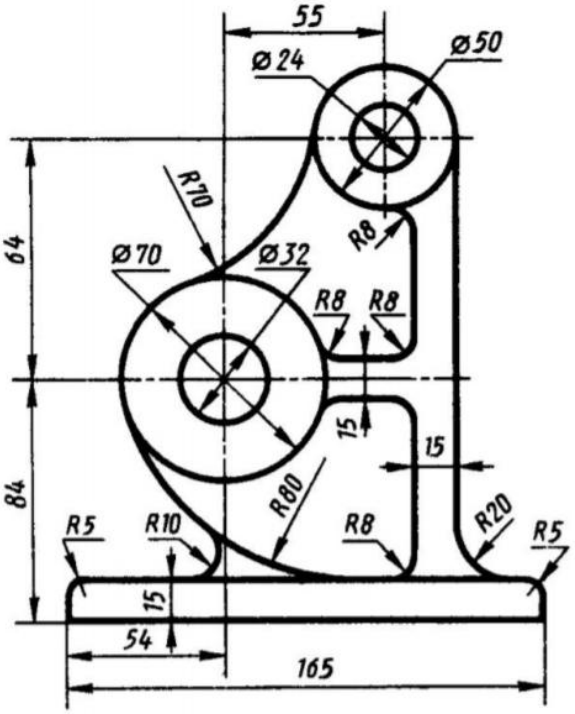

Ø6
4отв
Ø42
Ø22
Ø60
R100
R98
6
R3
R33
Ø40
Ø20
4отв.
30°

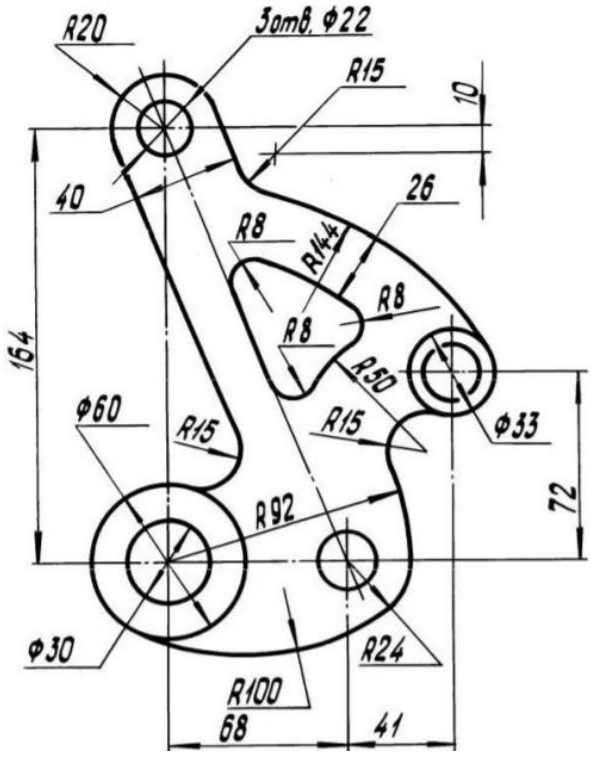

R8
Ø40
Ø62
6отв.Ø8
R18
65
Ø30
3отв.Ø16
R100
110

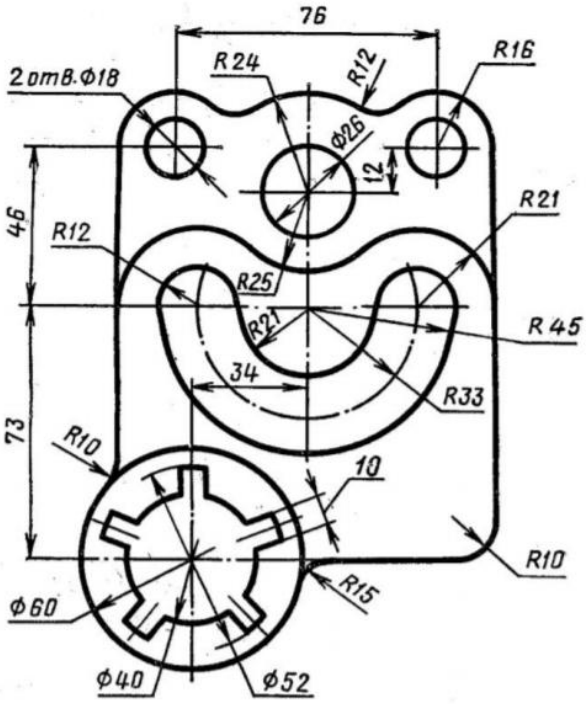

Ø94
Ø36
Ø64
6 отв.Ø12
R100
R10
R12
R9
36
R23
30°

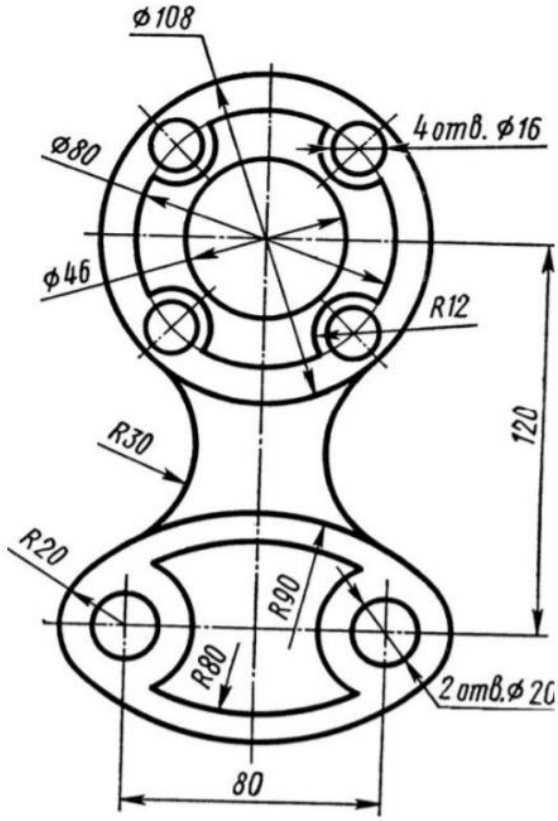

70
Ø40
R10
Ø20
2 отв.
R10
R110
R30
70
Ø60
Ø40
R70
60
R15
20
R10
30
R20
70

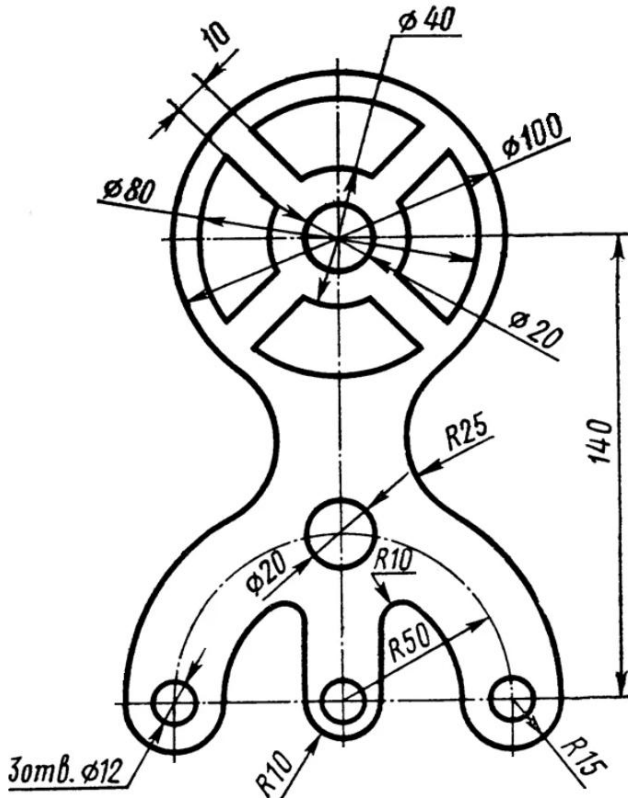

90
ϕ60
ϕ28
R33
ϕ20
2 отв
R40
ϕ50
60
R150
R8
90
R14
R8
22
80
160

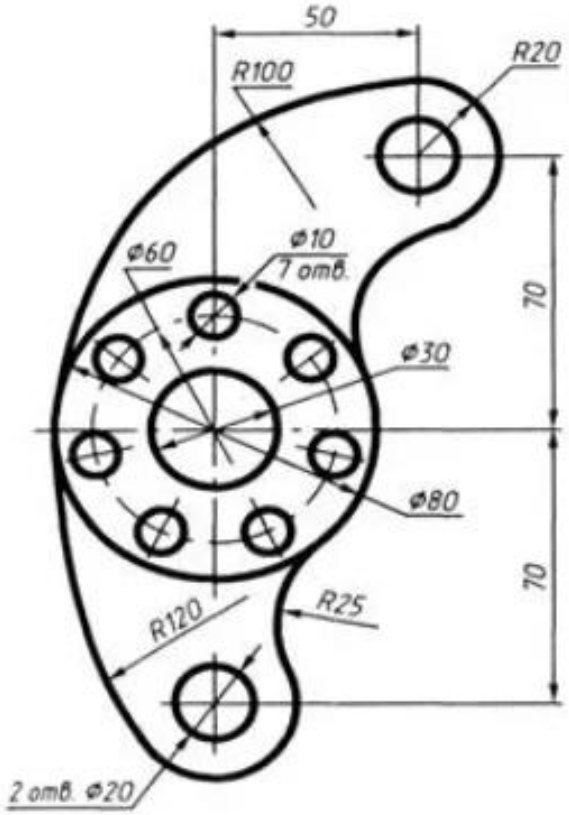

55
Ø24
Ø50
R70
64
Ø70
Ø32
R8
R8
R8
15
15
84
R80
R8
R20
R5
R5
R10
15
54
165

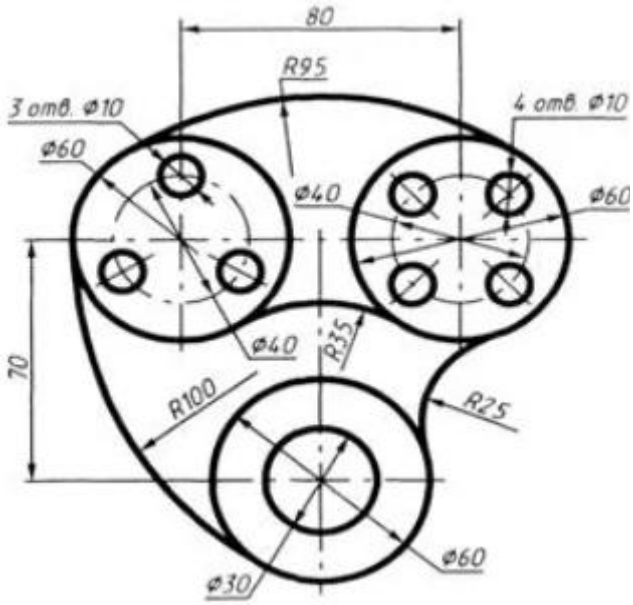

R20
3отв. ϕ22
R15
10
40
26
R8
R14
R8
R8
164
R50
ϕ60
R15
R15
ϕ33
72
R92
ϕ30
R24
R100
68
41

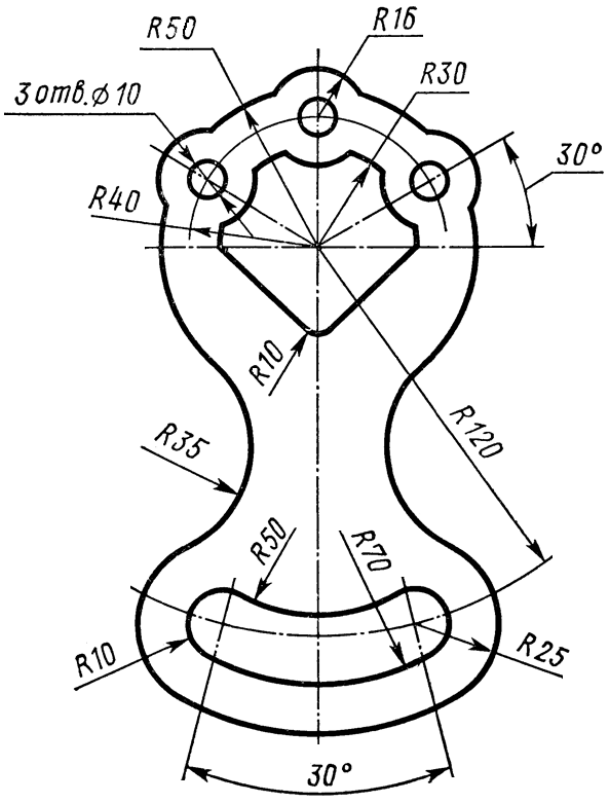

76
2отв.ϕ18
R24
R12
R16
ϕ26
12
46
R12
R21
R25
R21
R45
34
R33
73
R10
10
R10
R15
ϕ60
ϕ40
ϕ52

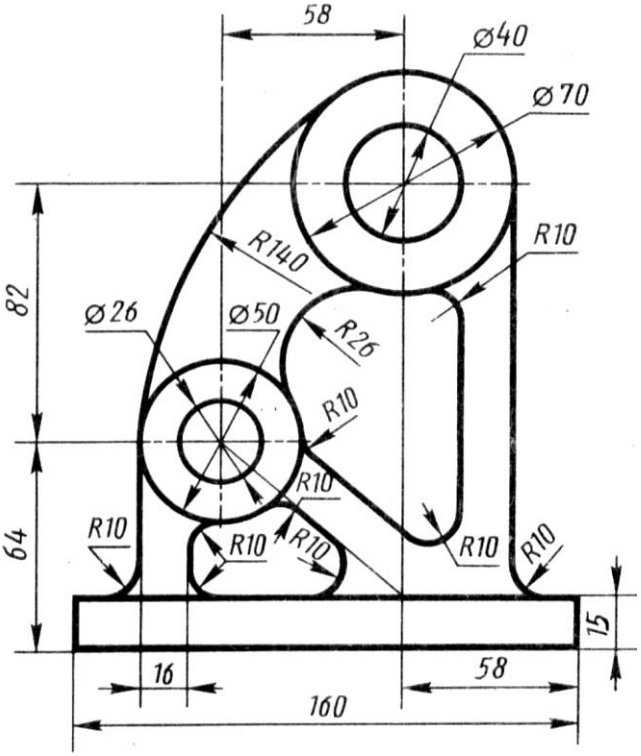

ø108
4 отв. ø16
ø80
ø46
R12
120
R30
R20
R90
R80
2 отв. ø20
80

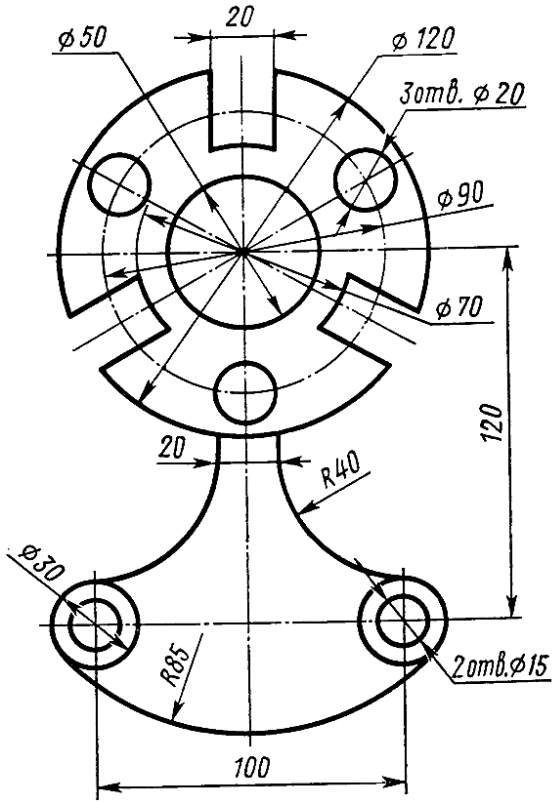

10
ø40
ø100
ø80
ø20
R25
140
ø20
R10
R50
3 отв. ø12
R10
R15

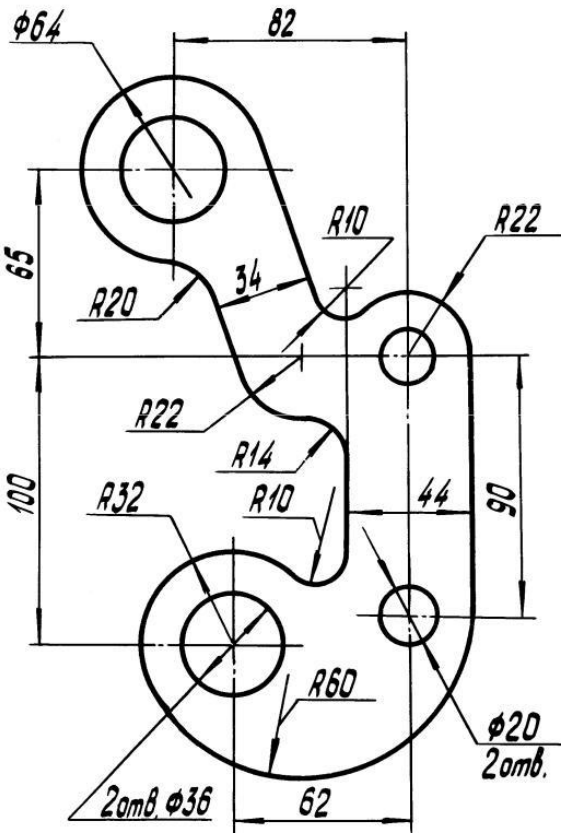

50
R100
R20
ø60
ø10
7 отв.
70
ø30
ø80
70
R120
R25
2 отв. ø20

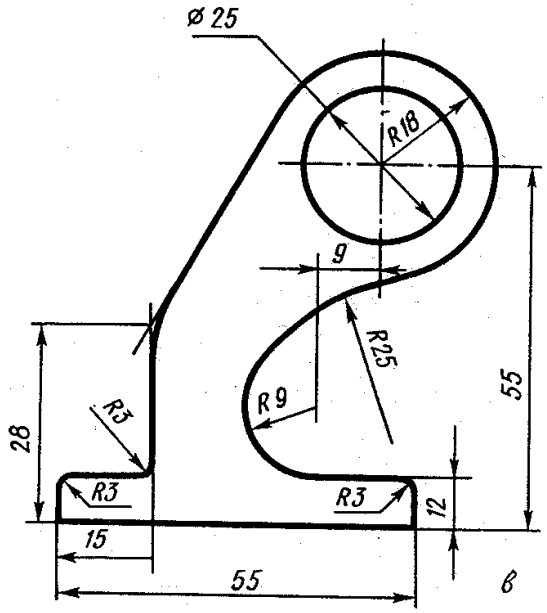

80
R95
3 отв. ø10
4 отв. ø10
ø60
ø40
ø60
ø40
R35
70
R100
R25
ø60
ø30

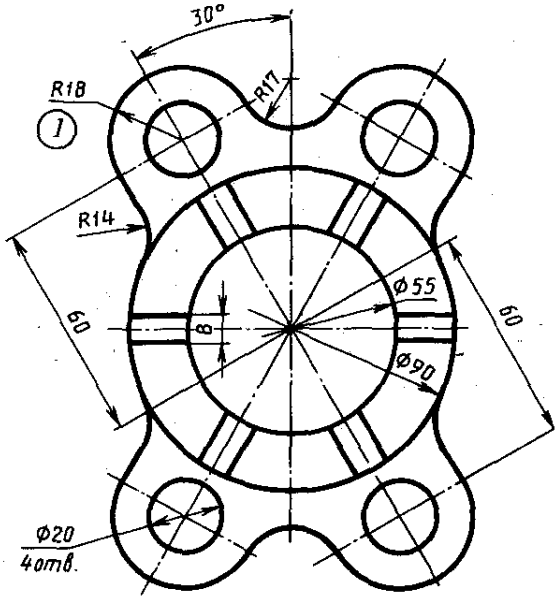

R50
R16
3 отв. ⌀ 10
R30
30°
R40
R10
R35
R120
R50
R70
R10
R25
30°

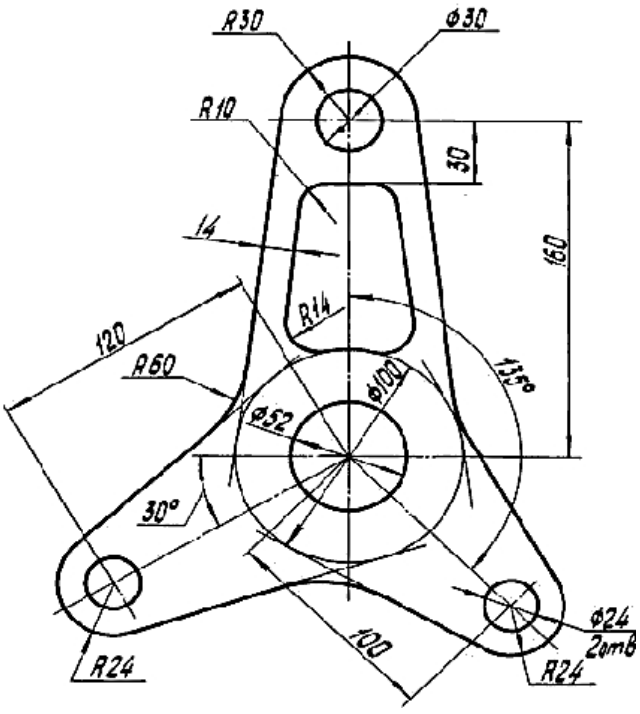

58
⌀40
⌀70
R140
R10
82
⌀26
⌀50
R26
R10
R10
64
R10
R10
R10
R10
R10
15
16
58
160

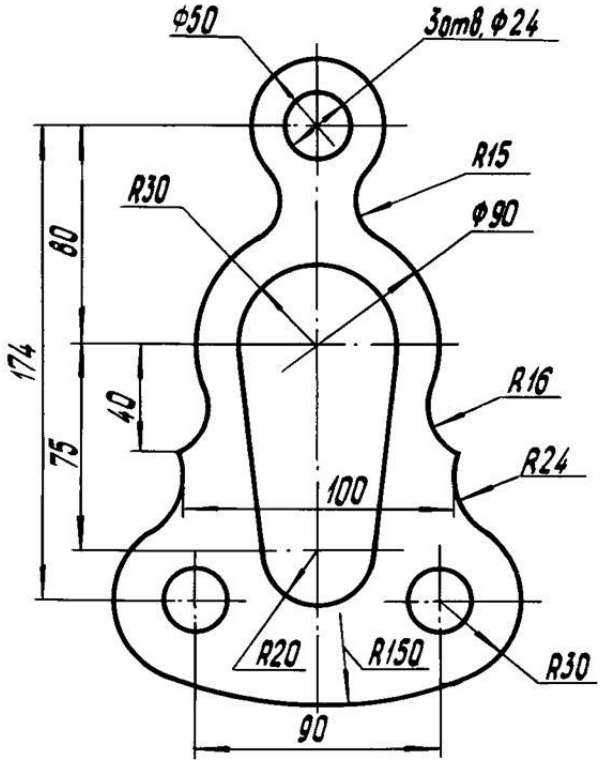

20
⌀ 50
⌀ 120
3 отв. ⌀ 20
⌀ 90
⌀ 70
120
20
R40
⌀30
R85
2 отв. ⌀15
100


ϕ64
82
R10
R22
65
R20
34
R22
R14
100
R32
R10
44
90
R60
⌀20
2 отв.
2 отв. ⌀36
62


ø 25
R18
g
R25
R9
55
28
R3
R3
R3
12
15
55
в


30°
R18
R17
1
R14
60
в
ø55
ø90
60
ø20
4отв.

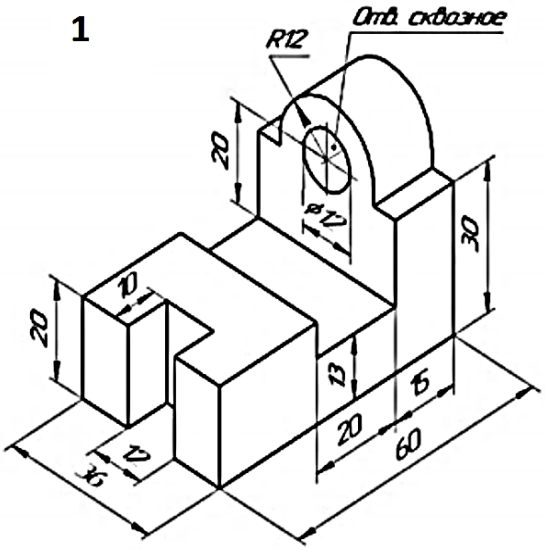

R30
ø30
R10
30
160
14
R14
120
R60
ø100
135°
ø52
30°
100
ø24
2отв
R24
R24


ø50
3отв. ø24
R15
R30
ø90
174
80
40
75
R16
R24
100
R20
R150
R30
90

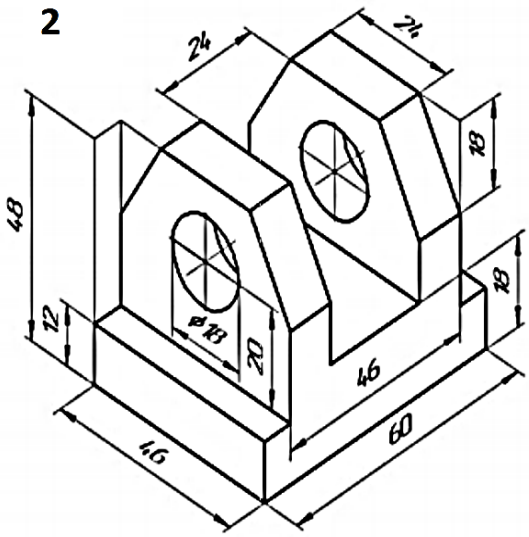
Приложение 2

Варианты заданий на построение трех видов детали

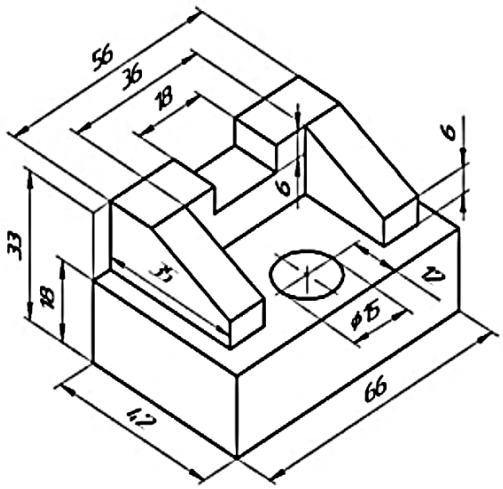
1



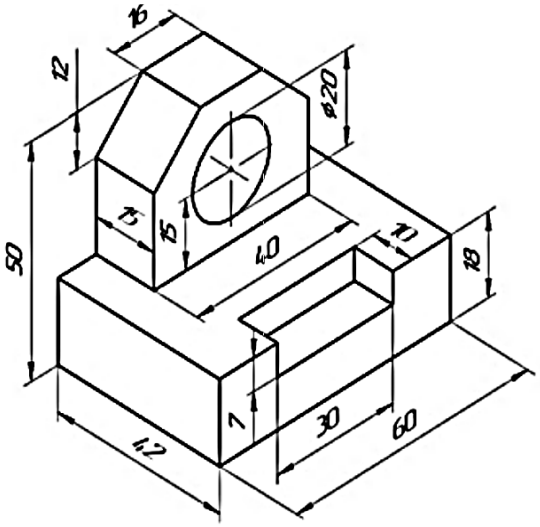
2



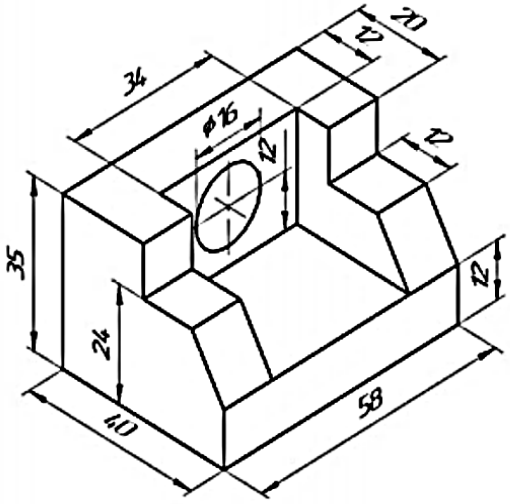
3



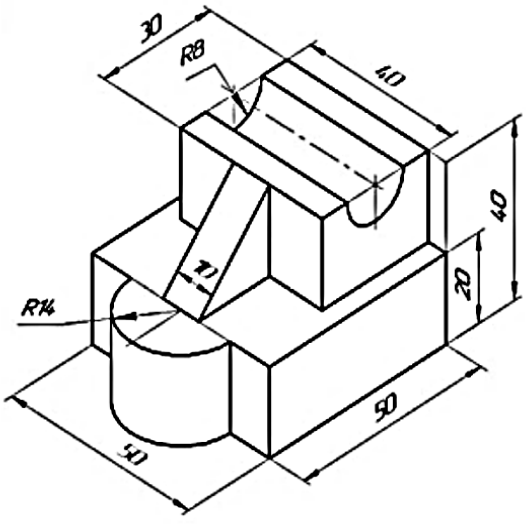
4



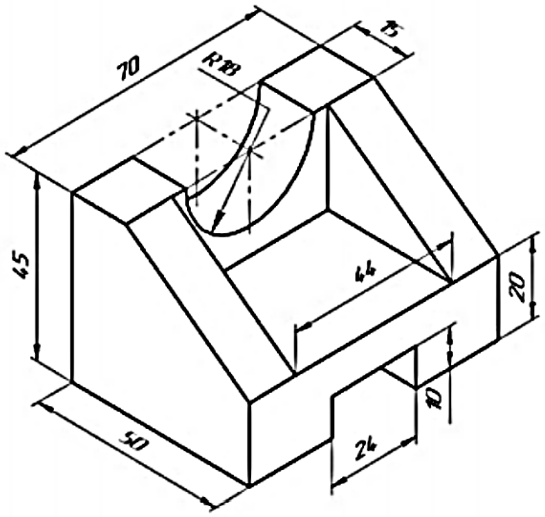
5



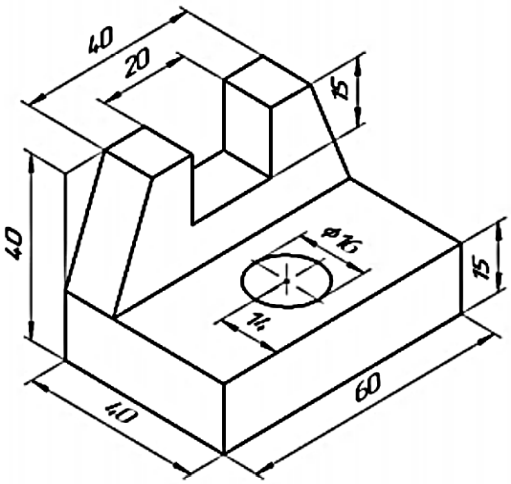
6



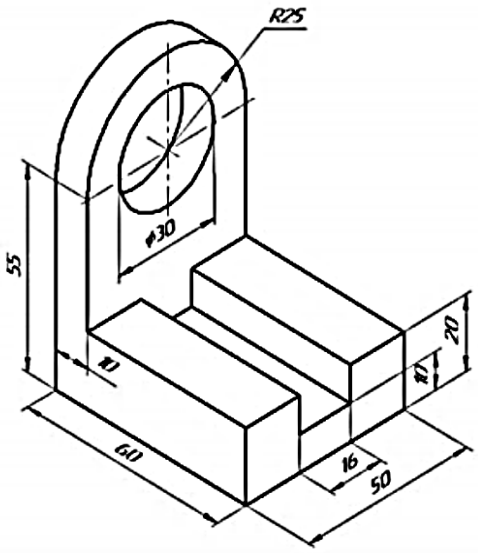
7


70
R18
15
45
44
20
10
24
50

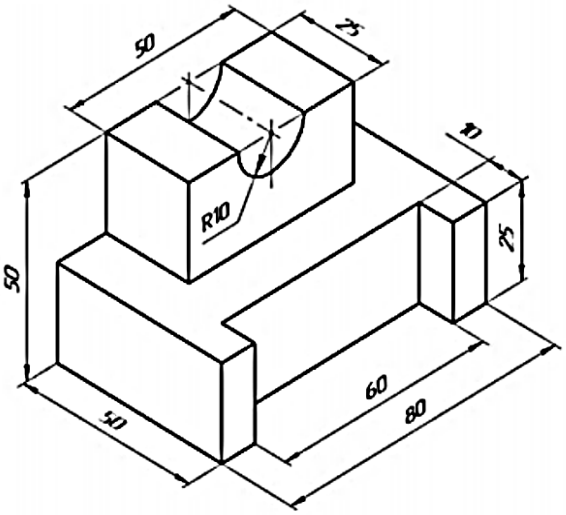
8


40
20
15
40
ø16
14
15
40
60

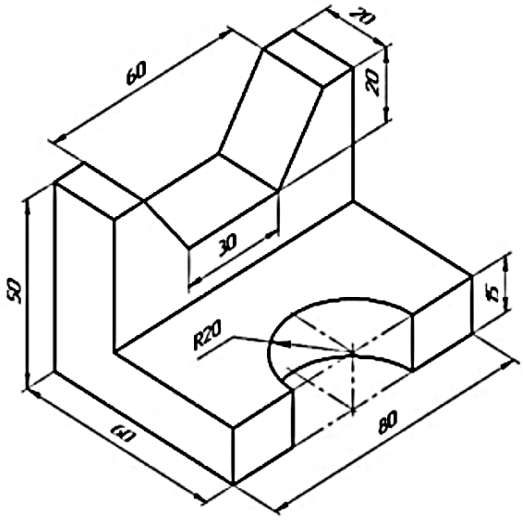
9


R25
55
ø30
10
20
10
60
16
50

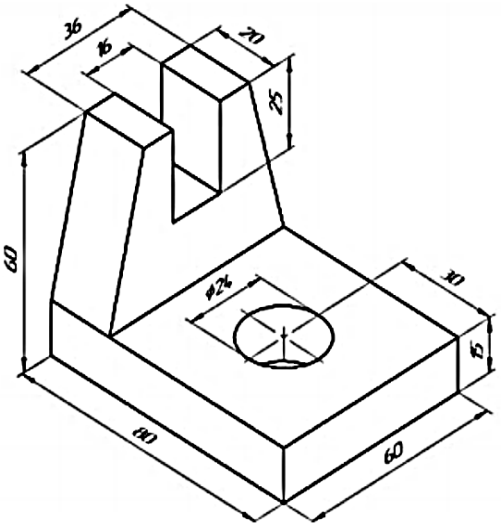
10


50
25
10
R10
50
25
60
50
80

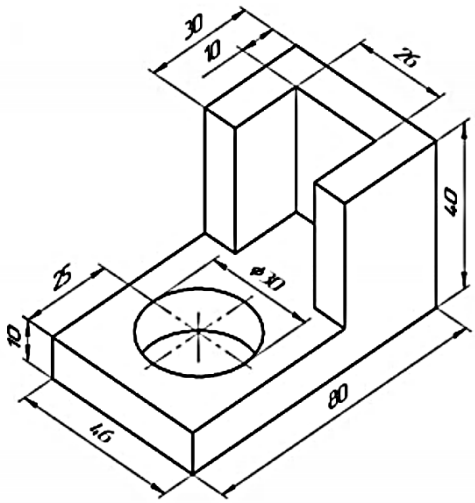
11


20
60
20
30
50
R20
15
60
80

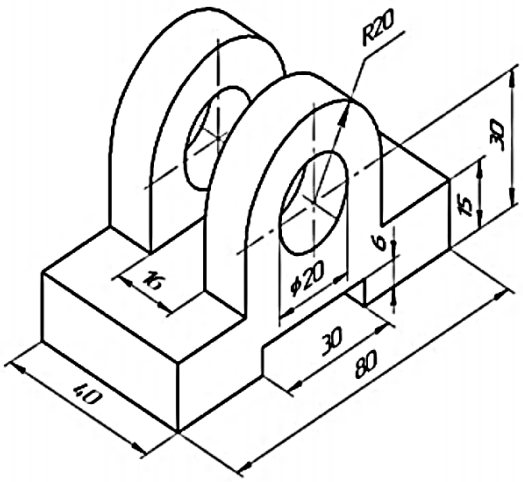
12


36
16
20
25
60
ø24
30
15
60

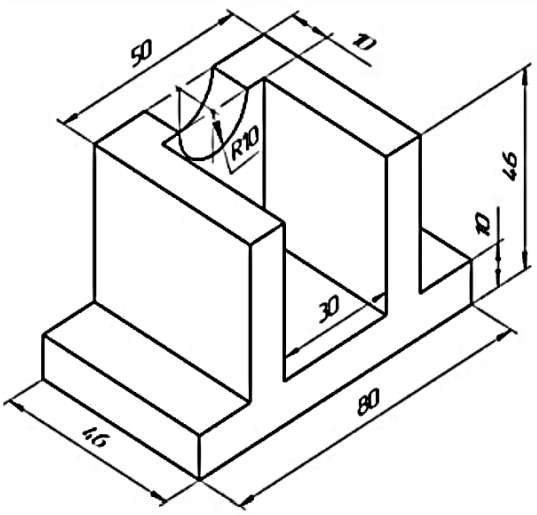
13


30
10
25
40
25
10
ϕ30
46
80

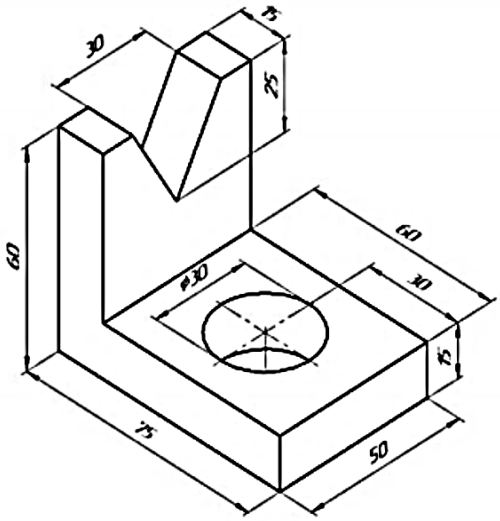
14

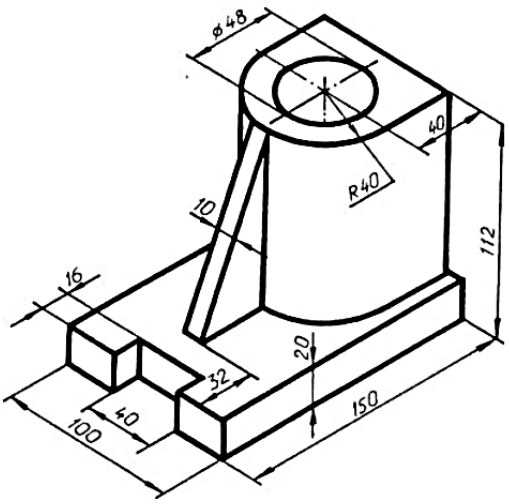

R20
30
15
6
15
ϕ20
30
80
40

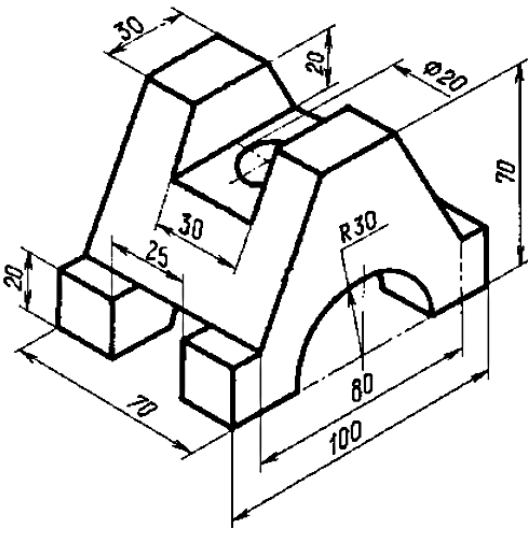
15

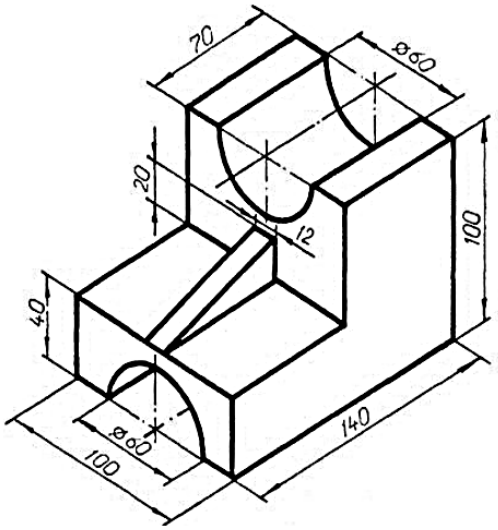

50
10
R10
46
10
30
80
46

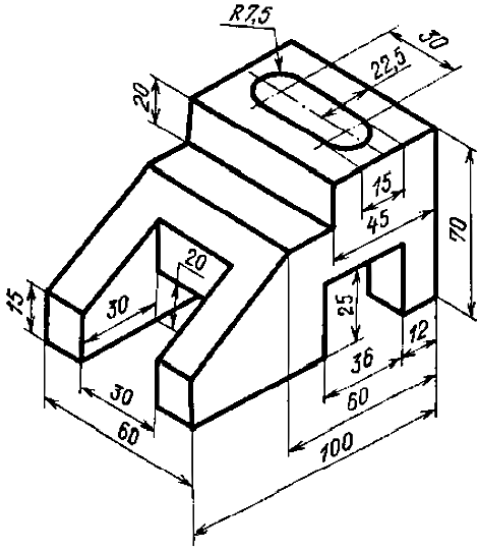
16

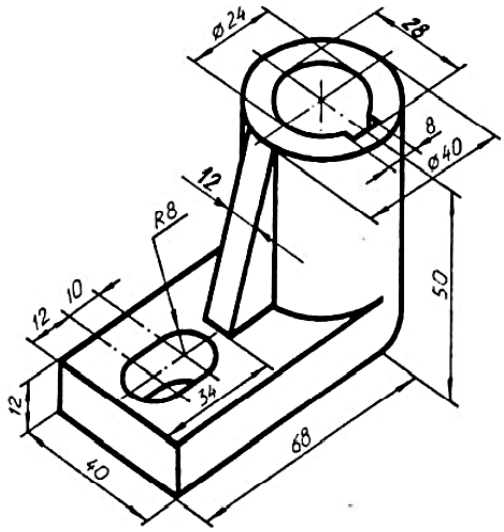

30
15
25
60
60
ϕ30
30
15
75
50

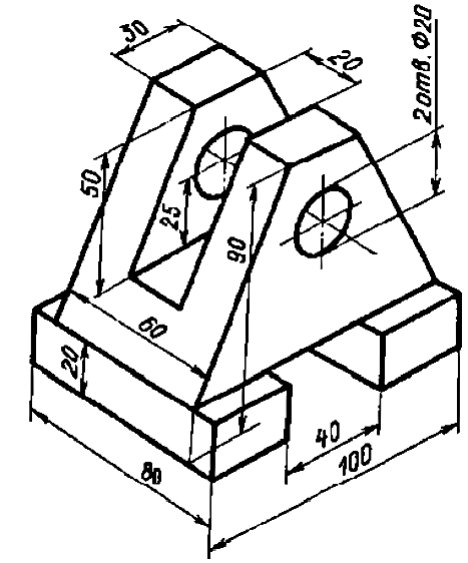

ϕ48
40
R40
10
112
16
20
32
40
100
150

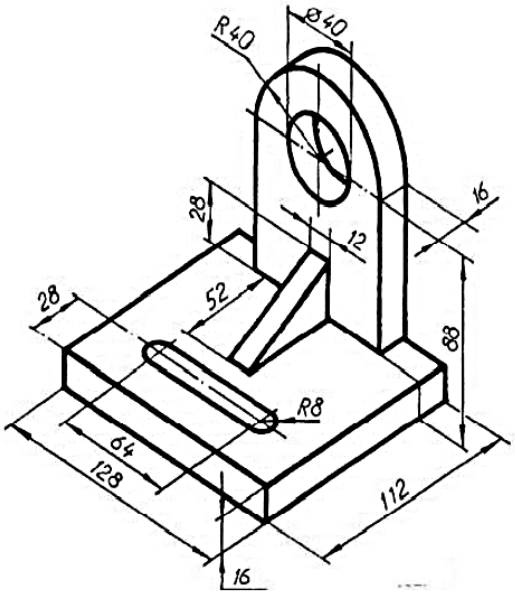

30
20
Φ20
70
30
25
R30
20
80
70
100

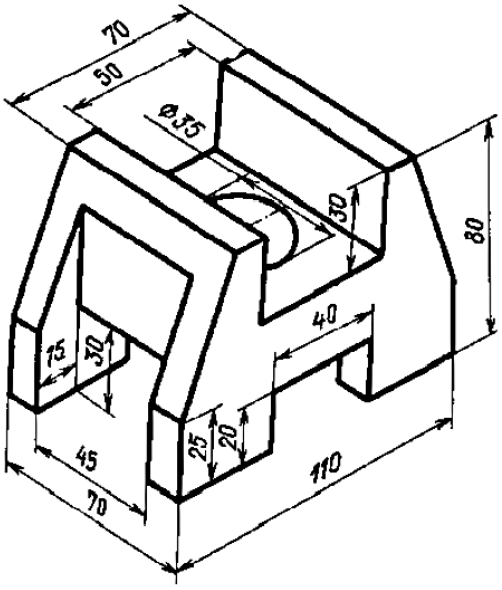

70
⌀60
20
12
100
40
⌀60
100
140

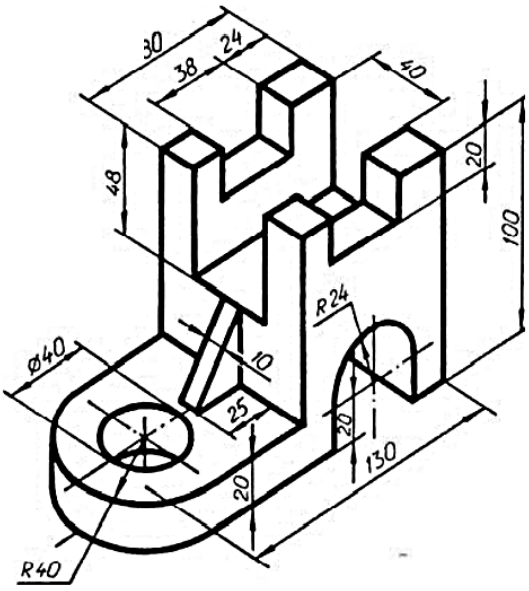

R7,5
30
22,5
20
15
45
70
20
15
30
25
12
36
30
60
60
100

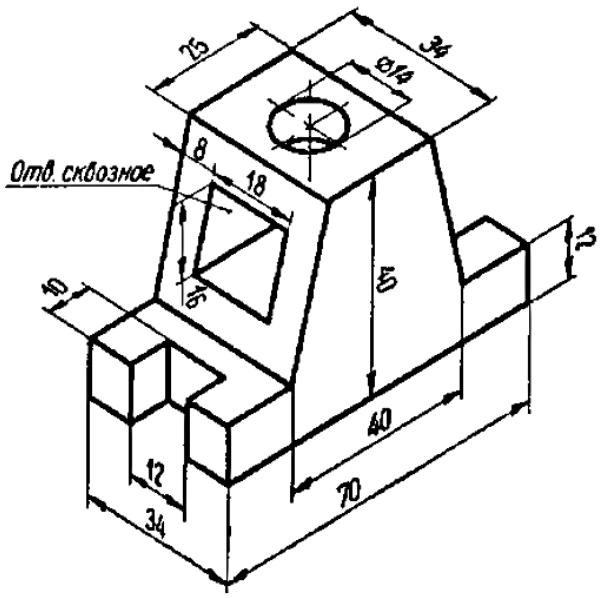

⌀24
28
8
⌀40
12
R8
12
10
50
12
34
12
40
68

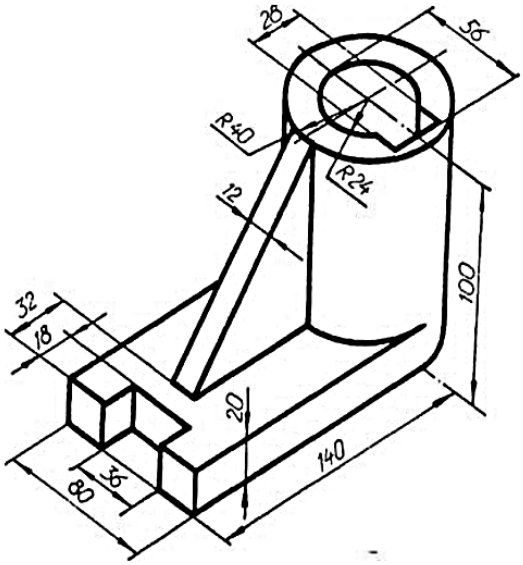

30
20
2отв.⌀20
50
25
90
60
20
40
80
100

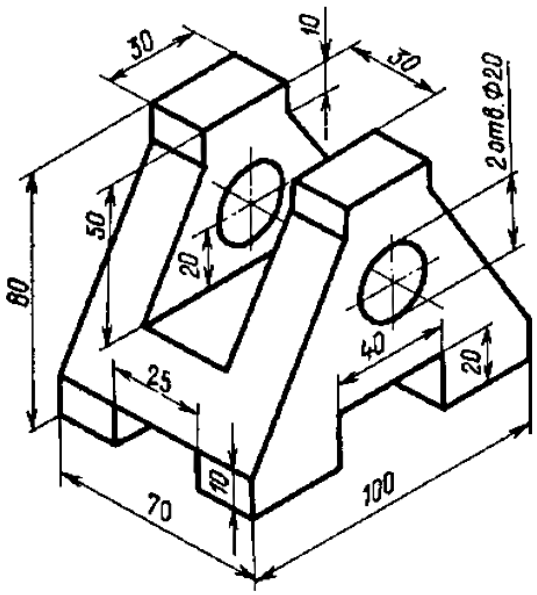

R40
⌀40
28
16
12
28
52
88
R8
64
128
112
16

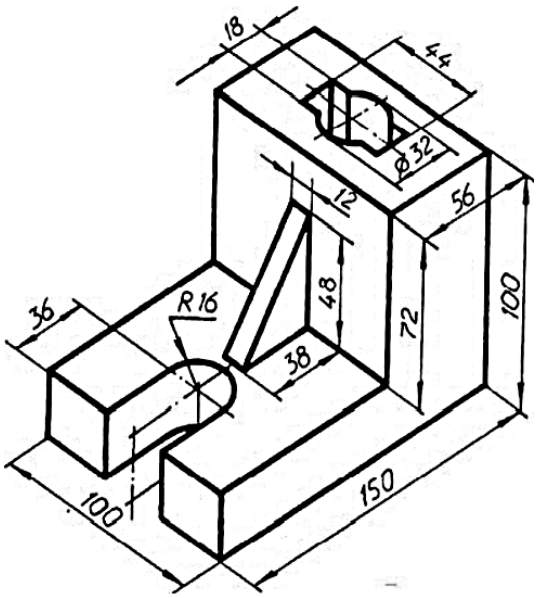

70
50
⌀35
30
80
40
15
30
25
20
45
70
110

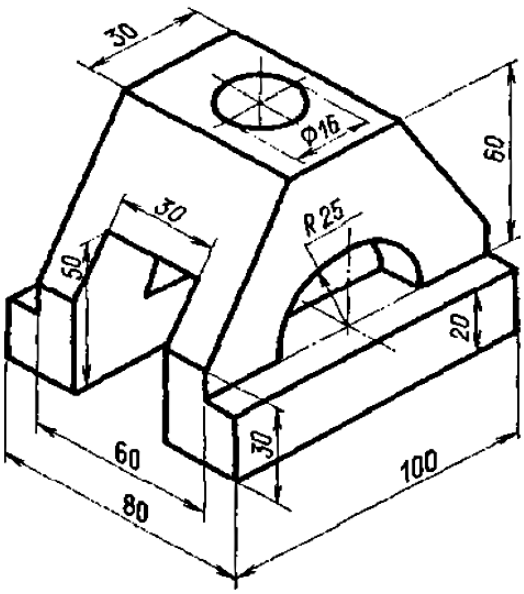

30
24
38
40
48
20
100
R24
ø40
10
25
20
130
20
R40

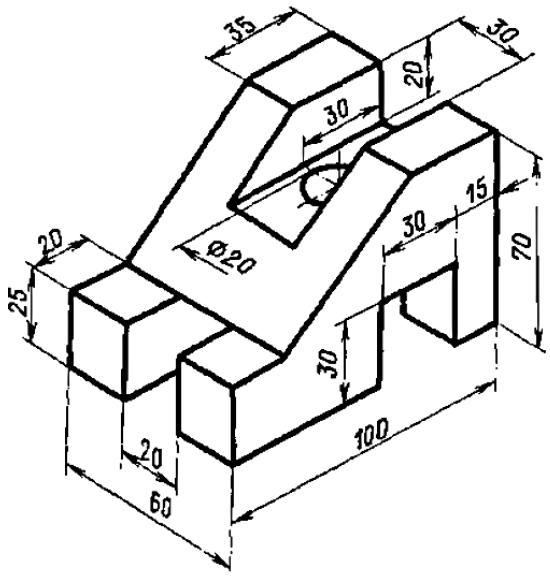

25
34
ø14
Отв. сквозное
8
18
35
40
65
12
40
12
34
70

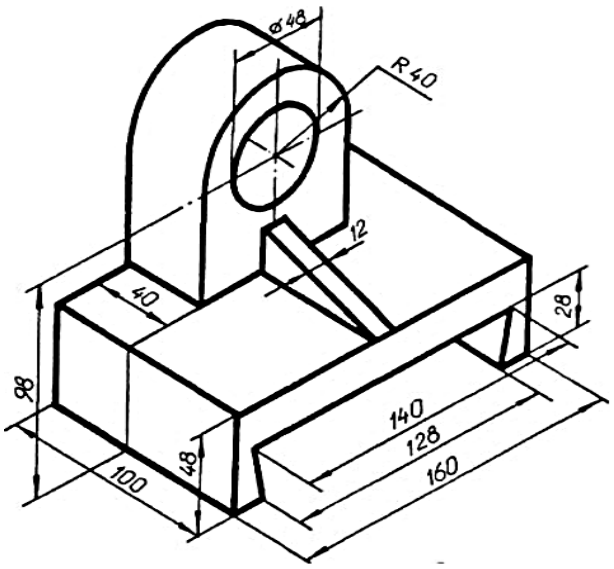

28
56
R40
R24
12
32
18
100
20
140
80
36

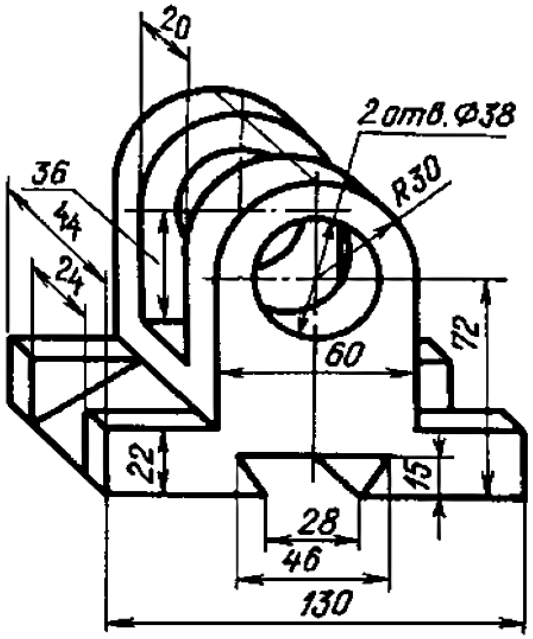

30
10
30
2отв.ø20
50
80
20
40
20
25
10
70
100

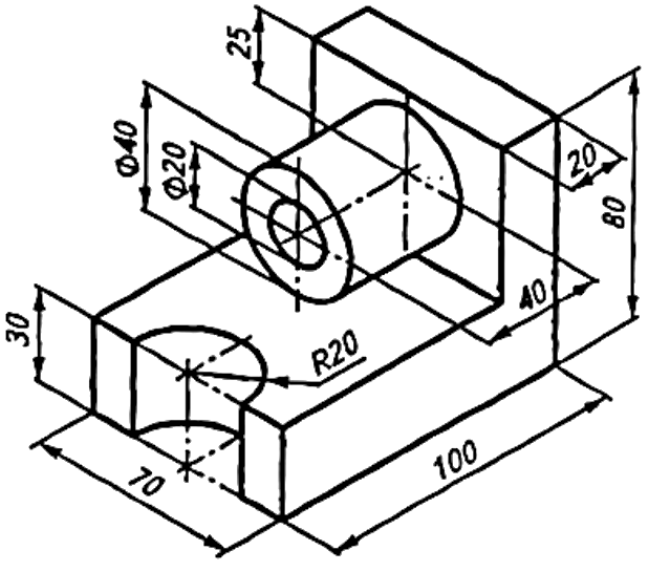

18
44
ø32
12
56
R16
48
72
100
36
38
100
150

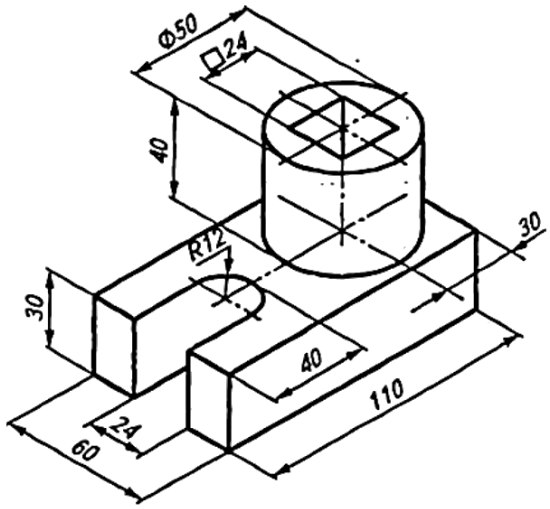

30
ø16
60
30
R25
50
20
30
60
80
100

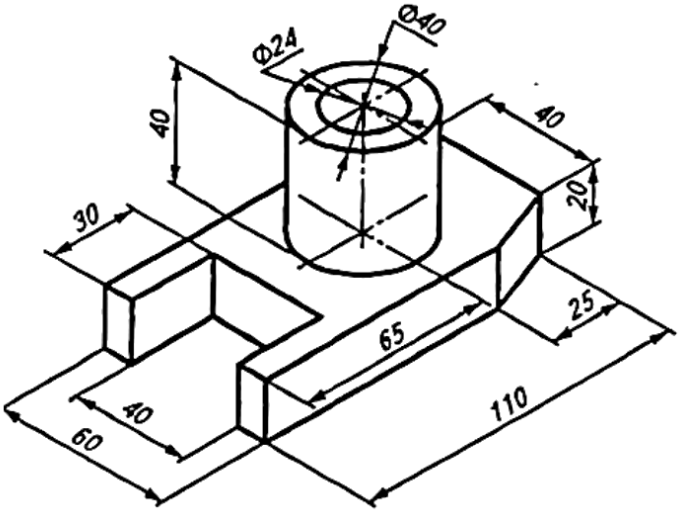

35
30
20
30
15
Φ20
20
25
70
30
100
20
60


Φ48
R40
12
40
28
98
140
128
160
48
100


20
2 отв. Φ38
R30
36
44
24
60
12
22
15
28
46
130

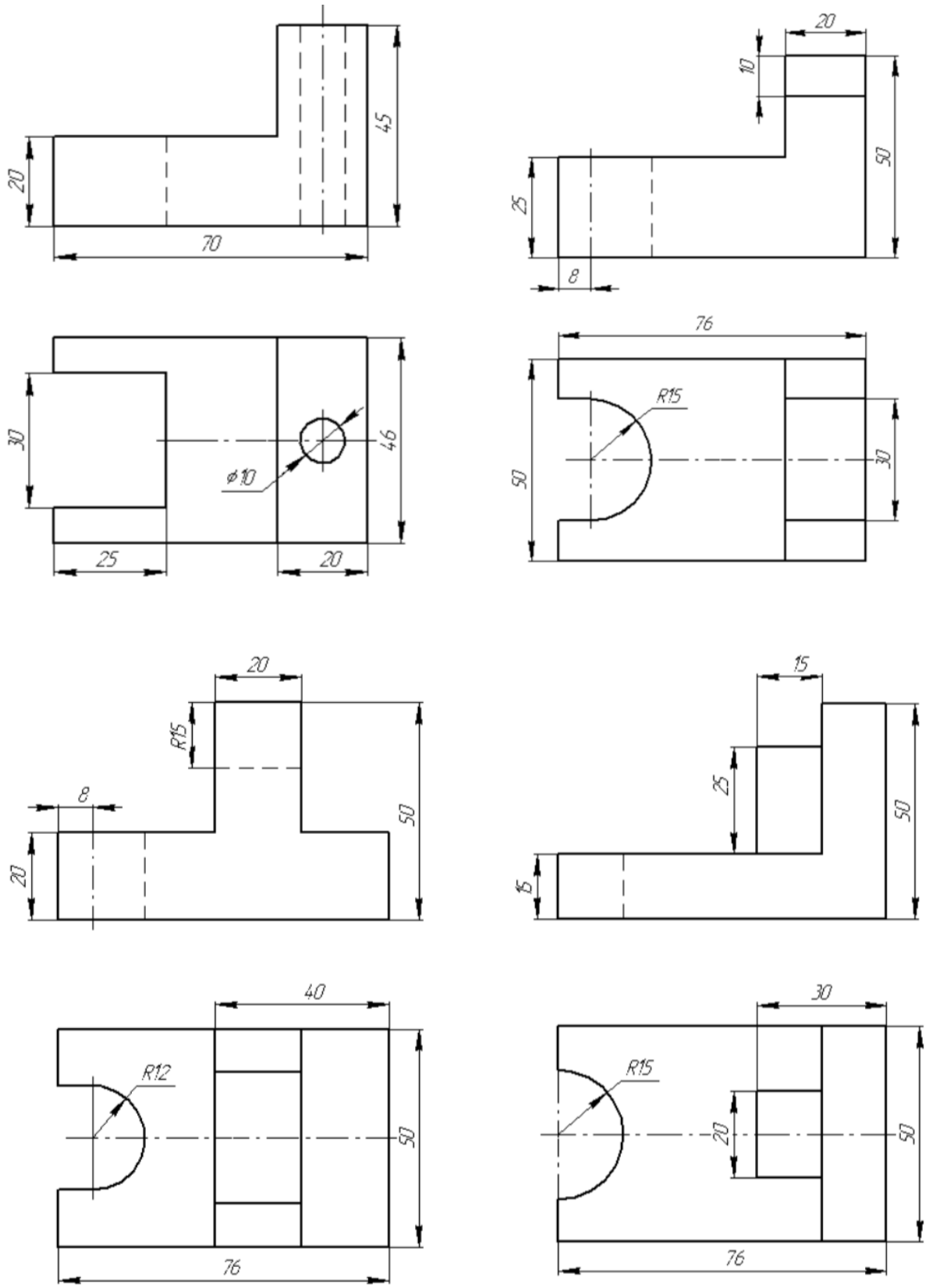

25
Φ40
Φ20
20
80
40
30
R20
70
100

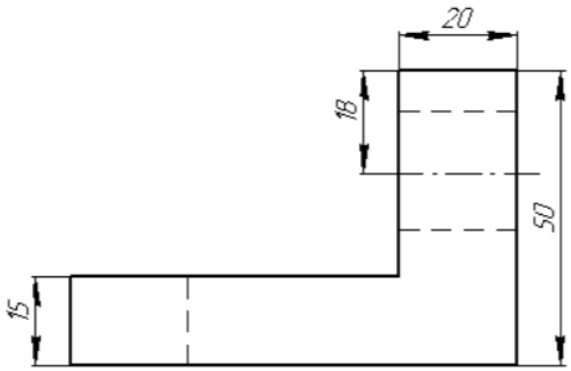

Φ50
□24
40
R12
30
30
40
110
24
60

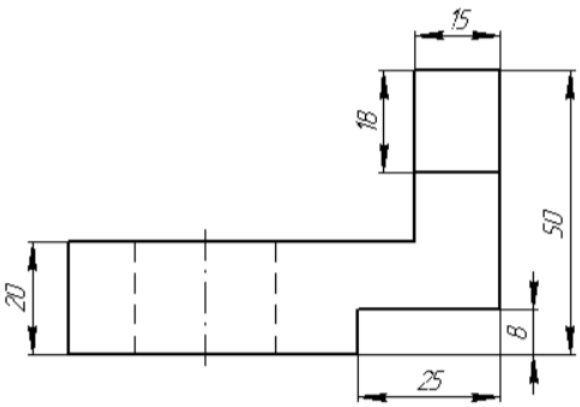

Φ40
Φ24
40
40
30
20
65
25
40
110
60

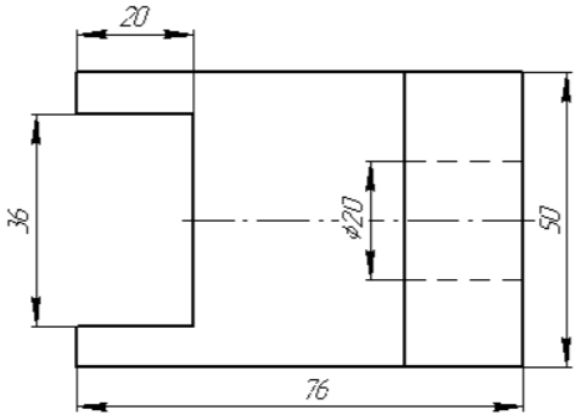
Приложение 3

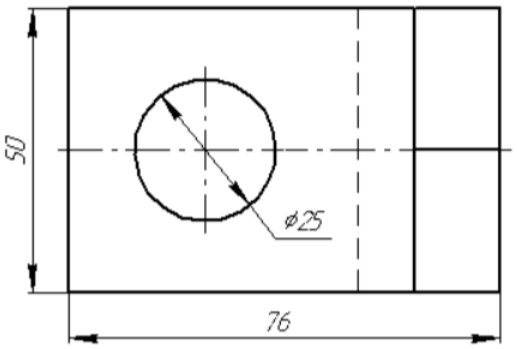
Варианты заданий на построение третьего вида по двум заданным

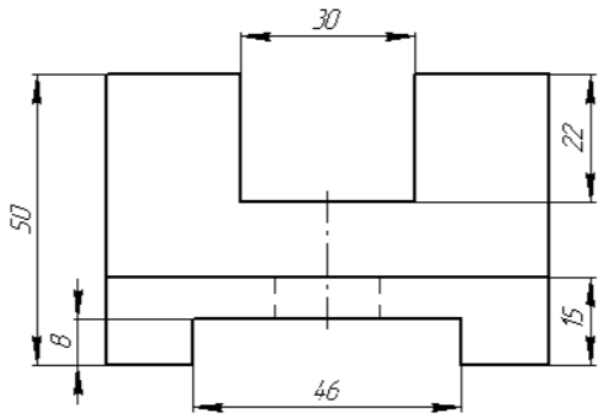


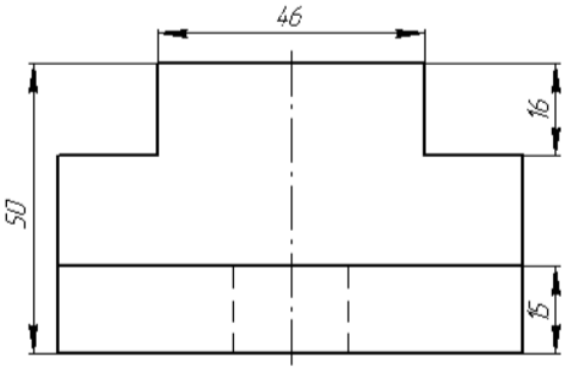

20
18
50
15

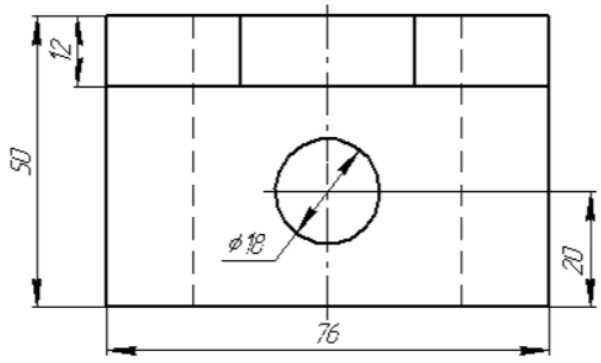

15
18
50
20
8
25

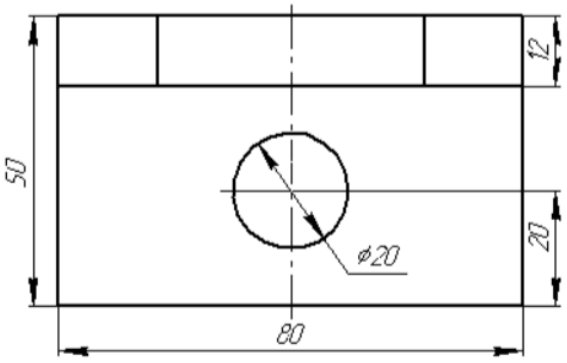

20
36
ϕ20
50
76

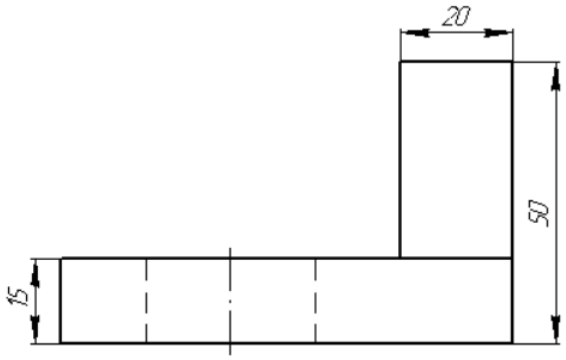

50
ϕ25
76

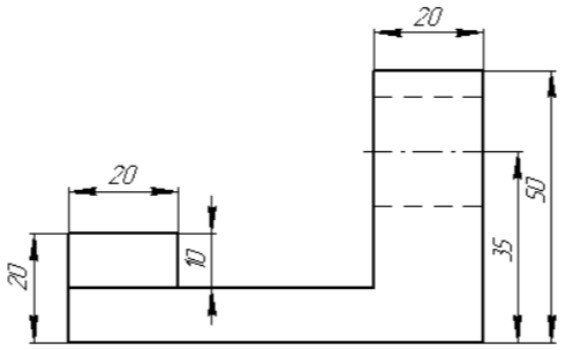

30
22
50
8
15
46

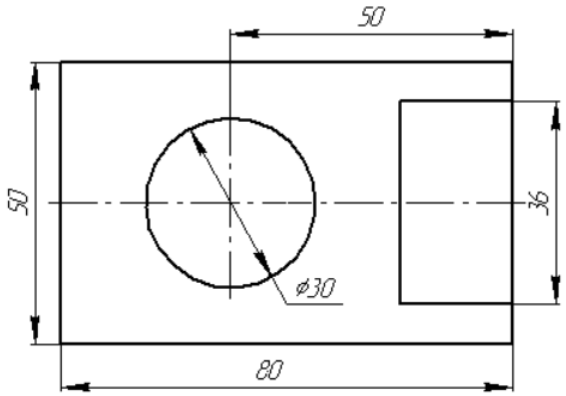

46
16
50
15

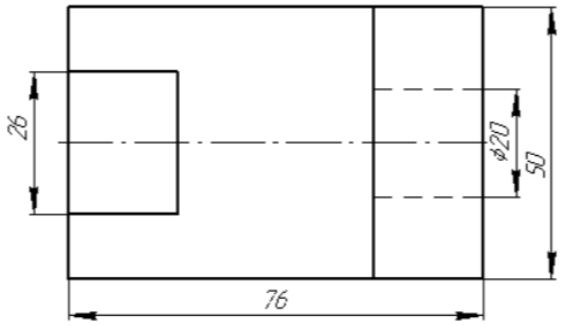

12
50
ϕ18
20
76

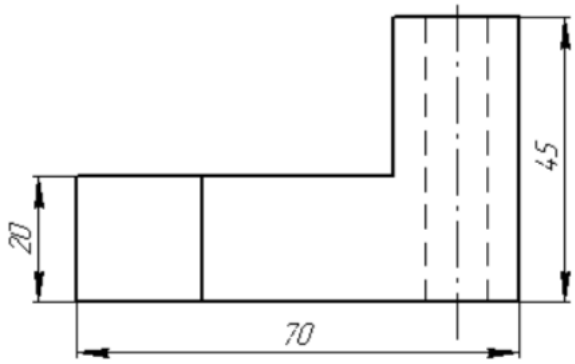

12
50
ϕ20
20
80

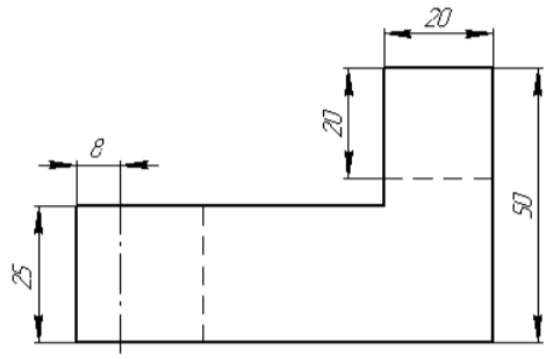

20
50
15

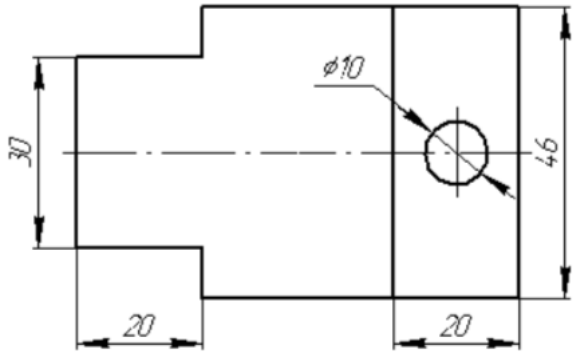

20
20
10
20
35
50

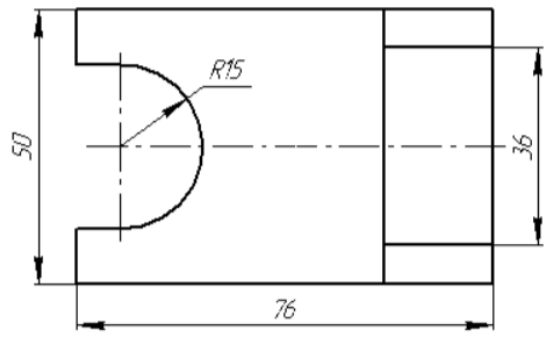

50
50
ϕ30
36
80

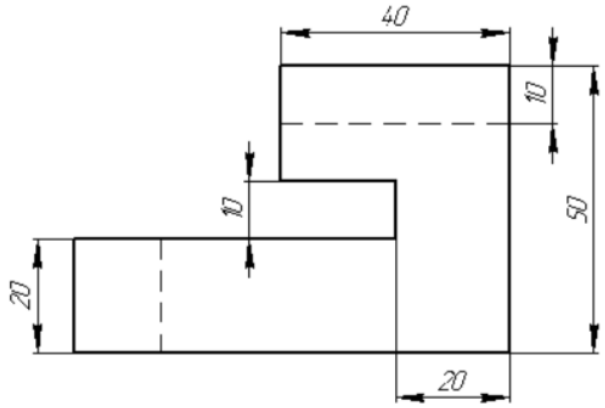

26
ϕ20
50
76

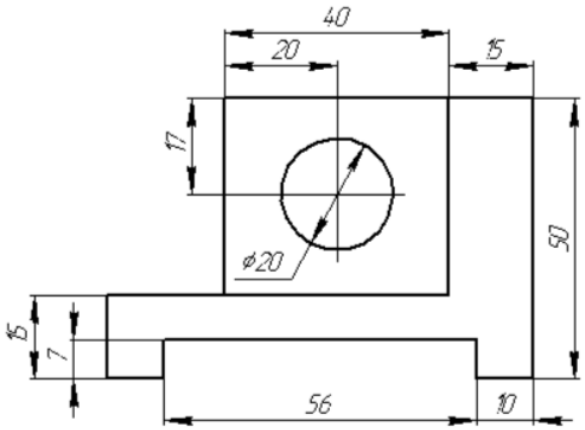

45
20
70

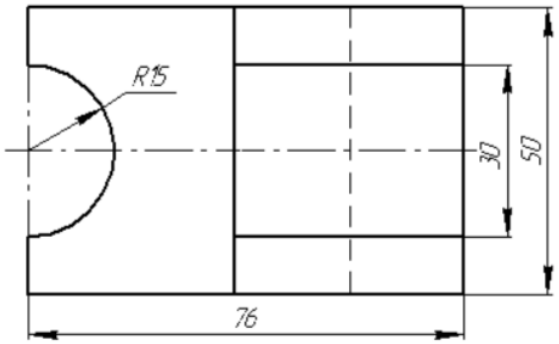

20
20
8
50
25

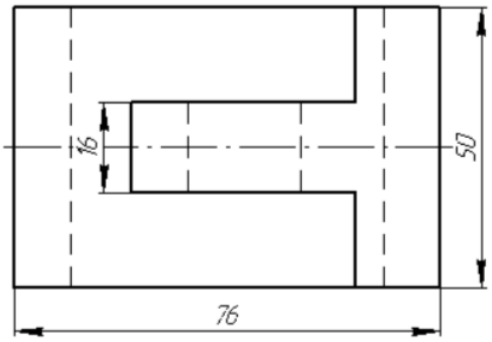

ϕ10
30
46
20
20

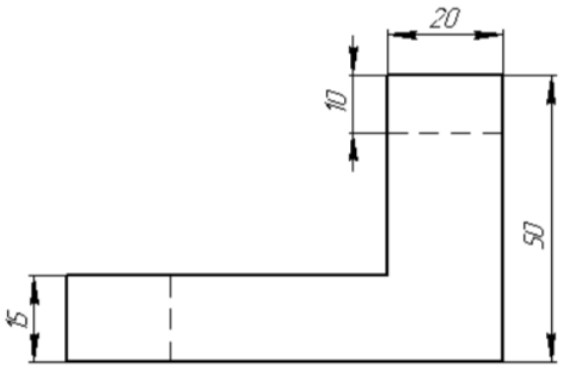

R15
50
36
76

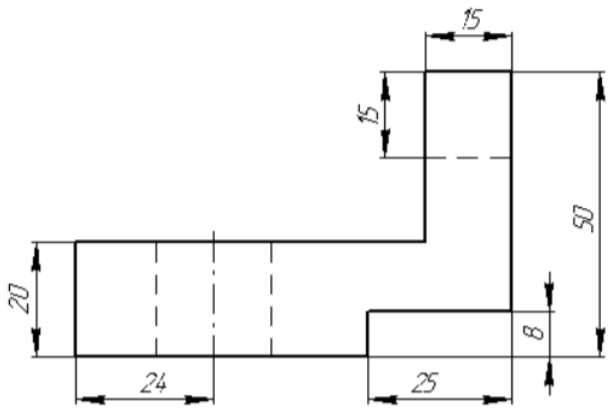

40
10
10
50
20
20

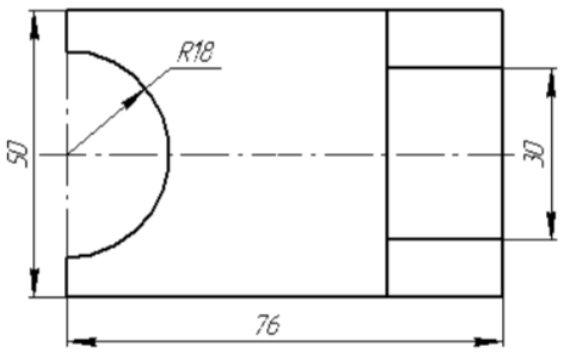

40
20
15
17
ϕ20
50
15
7
56
10

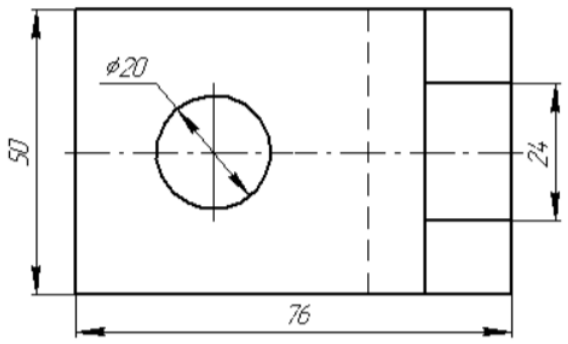

R15
30
50
76

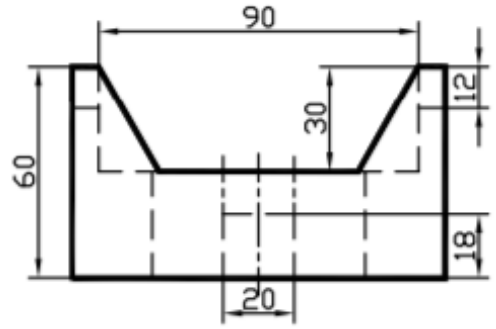

16
50
76

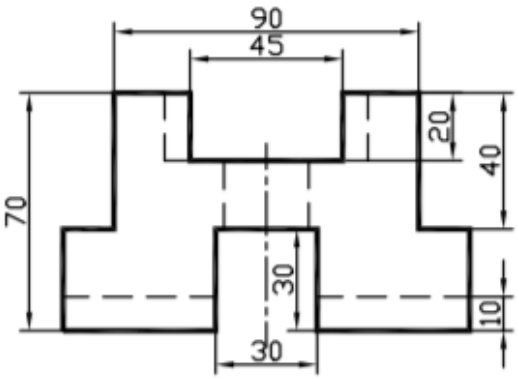

20
10
50
15

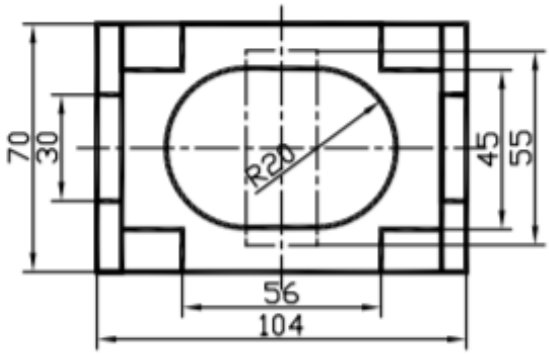

15
15
50
20
8
24
25

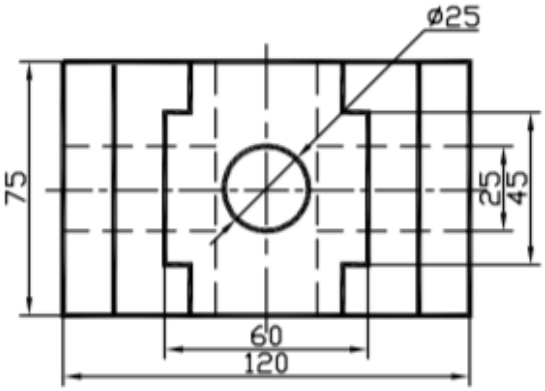

R18
50
30
76

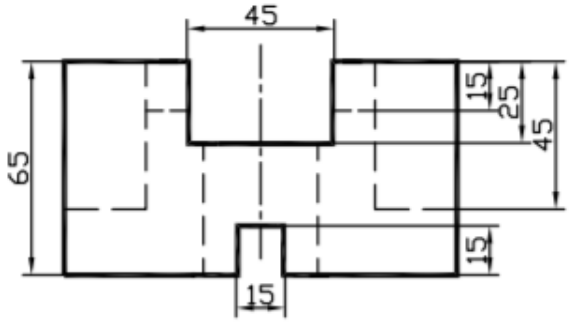

ϕ20
50
24
76

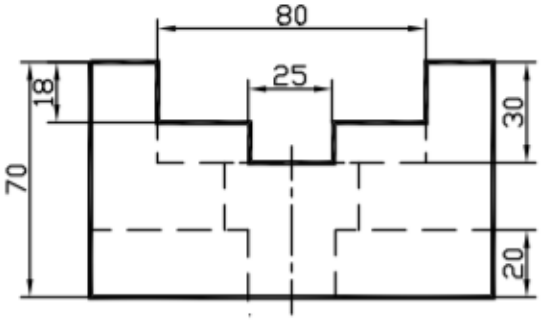

90
60
30
12
18
20

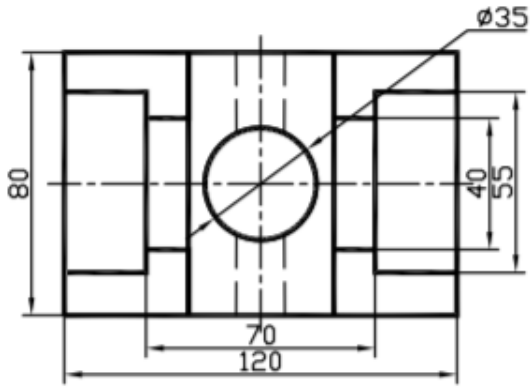

90
45
70
20
40
30
10
30

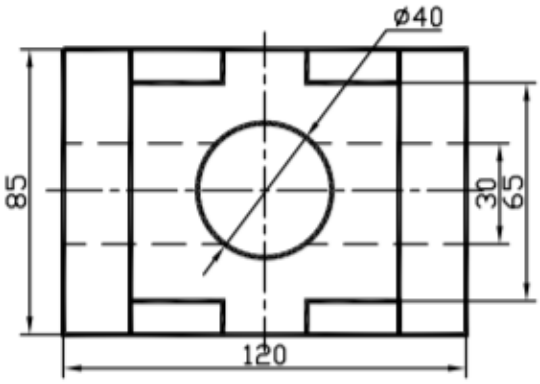

70
30
R20
45
55
56
104

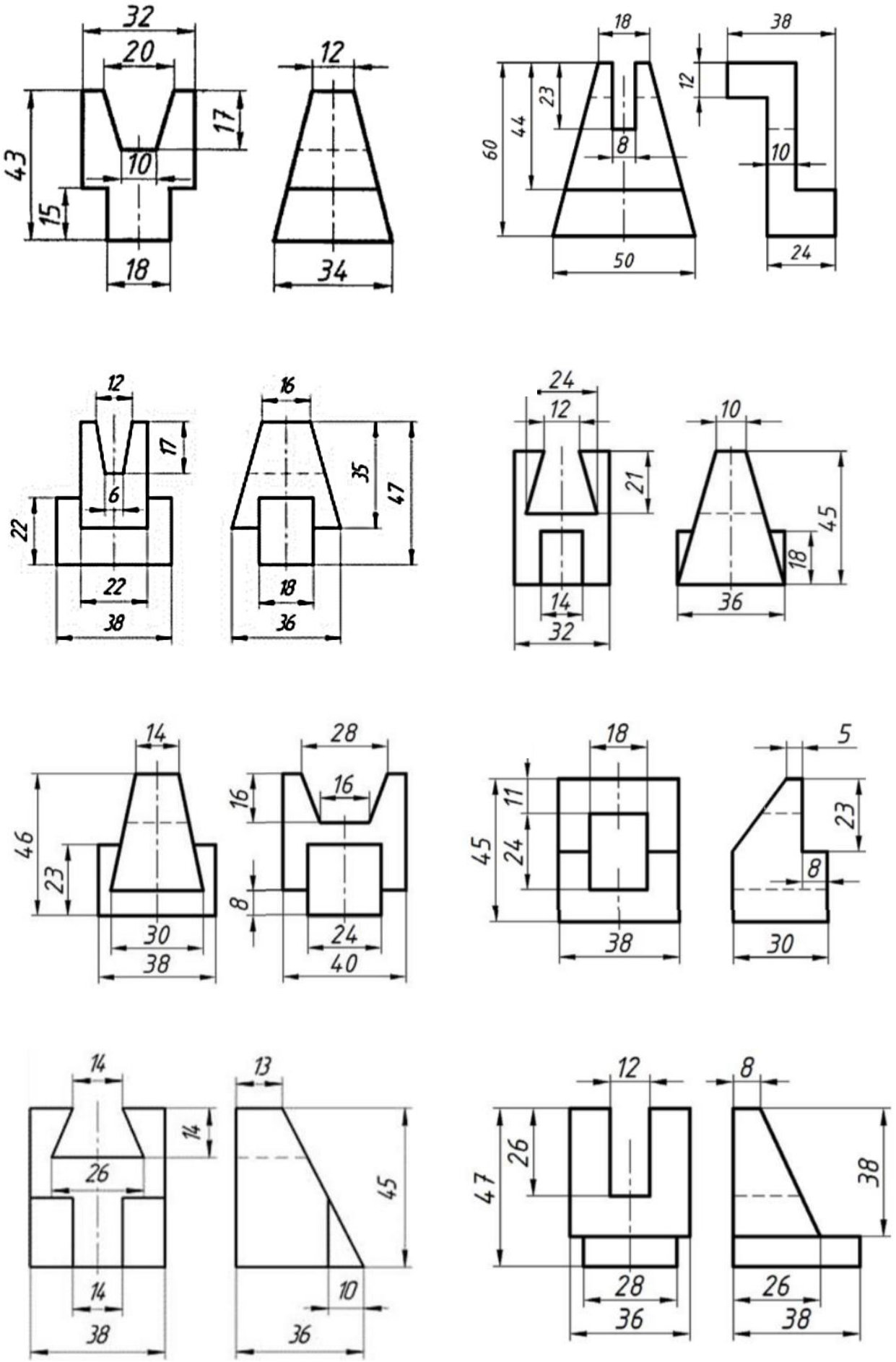

ø25
75
25
45
60
120

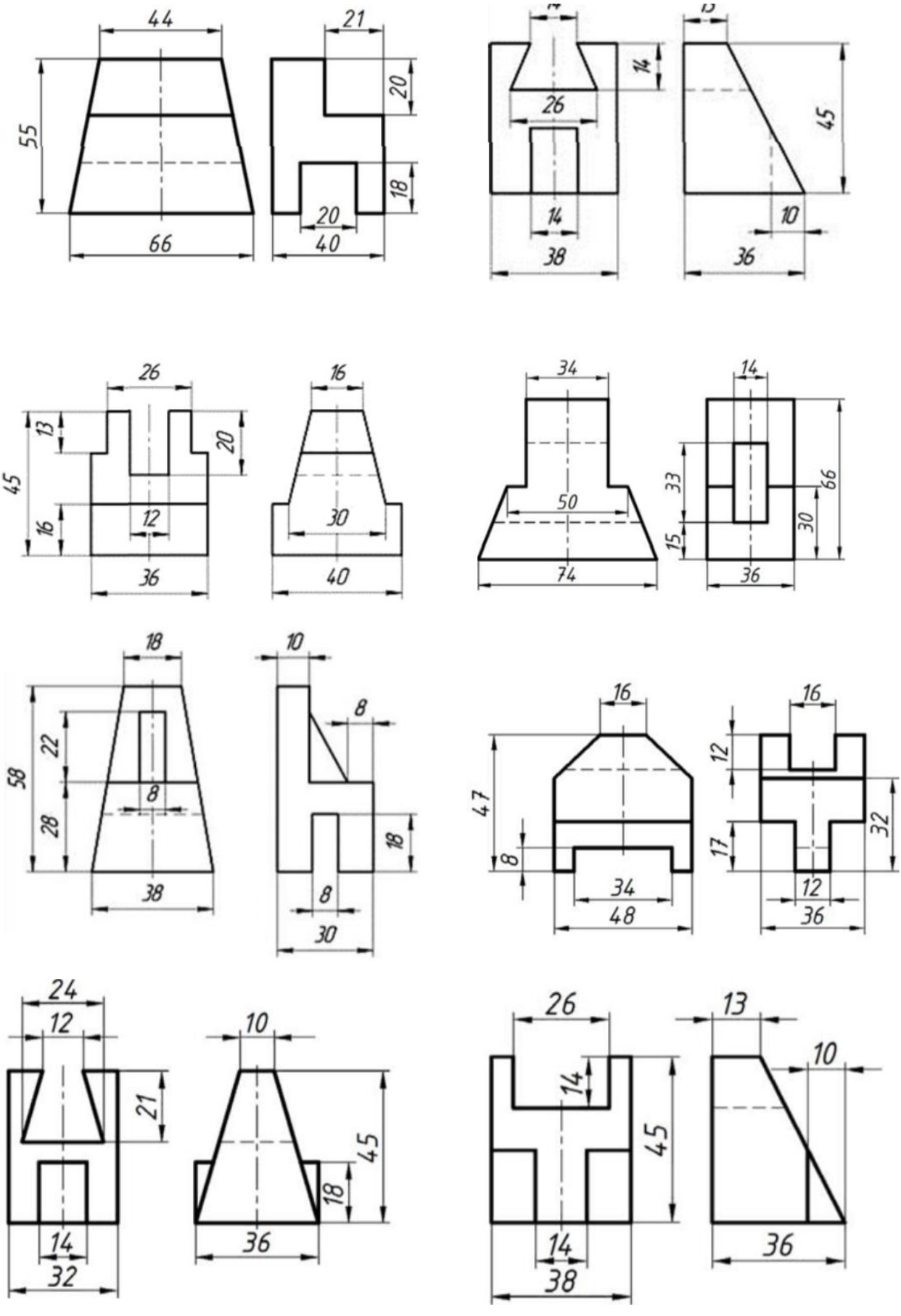

45
65
15
25
45
15
15


80
25
18
70
30
20


ø35
80
40
55
70
120


ø40
85
30
65
120


32
20
12
17
43
10
15
18
34
18
38
60
44
23
12
8
10
50
24
12
16
17
35
47
6
22
22
18
38
36
24
12
10
21
45
18
14
36
32
14
28
46
16
16
23
8
30
24
38
40
18
5
45
11
24
23
8
38
30
14
13
14
26
45
14
10
38
36
12
8
47
26
38
28
26
36
38


44
21
55
20
18
20
66
40
14
26
14
38
45
10
36
26
16
13
20
45
16
12
30
36
40
34
14
50
33
66
15
30
74
36
18
10
22
8
58
8
28
18
38
8
30
16
16
47
12
8
32
34
17
48
12
36
24
12
10
21
45
18
14
36
32
26
13
14
10
45
14
36
38

Сергей Алексеевич Угрюмов

ЛИНЕЙНО-КОНСТРУКТИВНОЕ ПОСТРОЕНИЕ

Учебное пособие

Авторская редакция

Электронное издание

Санкт-Петербург

2022

204