

**МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

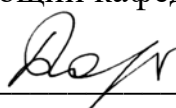
**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
“Тульский государственный университет”**

**Естественно-научный институт**

**Кафедра «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная  
графика»**

Утверждено на заседании кафедры  
«Начертательная геометрия, инженерная и  
компьютерная графика»

« 29 » 01 2021 г., протокол № 6  
Заведующий кафедрой

 Н.Н. Бородкин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
для самостоятельной работы студентов**

**по дисциплине**

**«Основы черчения и технический рисунок»  
«Начертательная геометрия и инженерная графика»  
Тема «Геометрические построения»**

**основной профессиональной образовательной программы  
высшего образования – программы бакалавриата, специалитета**

**по всем направлениям и специальностям подготовки**

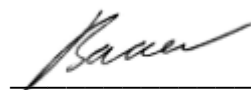
Форма(ы) обучения: *очная, очно-заочная, заочная*

Тула 2021 год

**Разработчик(и) методических указаний**

Васина Н.В., доцент, к.т.н.

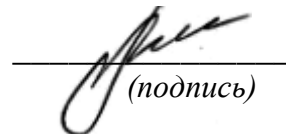
*(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)*



*(подпись)*

Лобанова С.В., доцент, к.т.н., доцент

*(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)*



*(подпись)*

## Содержание

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ	4
1 ОСНОВНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ЧЕРТЕЖА	5
1.1 ИНСТРУМЕНТ И МАТЕРИАЛ	5
1.2 ФОРМАТЫ	6
1.3 ОСНОВНЫЕ НАДПИСИ	7
1.4 МАСШТАБЫ	9
1.5 ЛИНИИ	10
1.6 ШРИФТЫ ЧЕРТЕЖНЫЕ	13
1.7 ОБОЗНАЧЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛОВ И ПРАВИЛА ИХ НАНЕСЕНИЯ НА ЧЕРТЕЖАХ	19
2 ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ	22
2.1 ПОСТРОЕНИЕ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРЯМЫХ	23
2.1.1 Построение перпендикулярных прямых	23
2.1.2 Построение параллельных прямых	24
2.2 ДЕЛЕНИЕ ОТРЕЗКА ПРЯМОЙ	26
2.2.1 Деление отрезка прямой на равные части	26
2.2.2 Деление отрезка прямой на пропорциональные части	27
2.3 ПОСТРОЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ, ДЕЛЕНИЕ УГЛОВ, ПОСТРОЕНИЕ УКЛОНОВ	28
2.3.1 Построение и измерение углов	28
2.3.2 Деление углов	31
2.4 ДЕЛЕНИЕ ОКРУЖНОСТИ НА РАВНЫЕ ЧАСТИ, ПОСТРОЕНИЕ ПРАВИЛЬНЫХ МНОГОУГОЛЬНИКОВ	32
2.4.1 Деление окружности на равные части и построение правильных вписанных многоугольников	32
2.4.2 Построение правильных многоугольников по данной стороне	36
2.4.3 Построение правильных многоугольников, описанных около окружности	39
3 СОПРЯЖЕНИЯ	41
3.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	42
3.2 ПОСТРОЕНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ И КАСАНИЕ ОКРУЖНОСТЕЙ	42
3.2.1 Построение касательной к окружности	
3.2.2 Касание окружностей	43
3.2.3 Построение касательных к двум окружностям	44
3.3 СОПРЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДУГИ ОКРУЖНОСТИ	46
3.3.1 Сопряжение двух прямых дугой окружности	46
3.3.3 Сопряжение двух дуг дугой окружности заданного радиуса	51
3.3.4 Вычерчивание контуров деталей	55
4. НАНЕСЕНИЕ РАЗМЕРОВ	57
5 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ЗАДАНИЯ	69
Список использованных источников	77

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ**

**Цели:** ознакомить с ГОСТами ЕСКД, нормирующими требования к чертежам.

**Задачи:** привить навыки и умения в выполнении геометрических построений на чертежах, научить грамотно выполнять чертежи.

Студент должен **иметь представление** :

- о системе ЕСКД;
- о значении геометрических построений для решения практических задач при вычерчивании деталей.

Студент **должен знать**-

- ГОСТы системы ЕСКД:
- 1. ГОСТ 2.301-68\* - Форматы;
- 2. ГОСТ 2.302-68\* - Масштабы;
- 3. ГОСТ 2.303-68\* - Линии;
- 4. ГОСТ 2.304-81 – Шрифты чертежные;
- 5. ГОСТ 2.306-68 – Обозначения графические материалов и правила их нанесения на чертежах
- 6. ГОСТ 2.307-2011\* - Нанесение размеров и предельных отклонений.

Студент должен **иметь навык** грамотного выполнения и оформления конструкторской документации.

## 1 ОСНОВНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ЧЕРТЕЖА

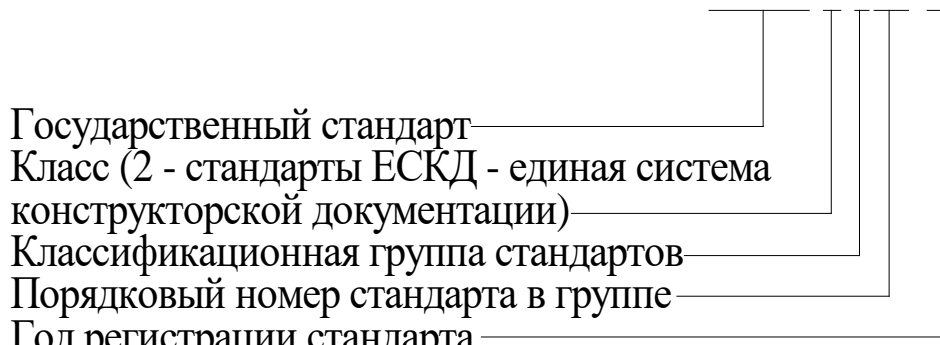
Чертежи, схемы и другие конструкторские документы выполняют по единым правилам и нормам, установленным государственными стандартами – ГОСТами. Государственные стандарты сведены в единую систему конструкторской документации (ЕСКД).

Единая система конструкторской документации (ЕСКД) – комплекс государственных стандартов, устанавливающий взаимосвязанные правила и положения по разработке, оформлению и обращению конструкторской документации, разрабатываемой и применяемой организациями, предприятиями и учебными заведениями. ЕСКД учитывает рекомендации Международной организации по стандартизации (ИСО), постоянной комиссии по стандартизации.

Соблюдение государственных стандартов обязательно для всех отраслей промышленности, проектных организаций, научных учреждений и т. д. Все чертежи должны выполняться в соответствии с требованиями стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), отличаться четким и аккуратным оформлением.

Стандарт имеет буквенное и цифровое обозначение. Далее представлена расшифровка обозначения стандарта:

ГОСТ 2.301-68\*



Государственный стандарт  
 Класс (2 - стандарты ЕСКД - единая система конструкторской документации)  
 Классификационная группа стандартов  
 Порядковый номер стандарта в группе  
 Год регистрации стандарта  
 Знак "\*" означает, что в стандарт внесены изменения

Путем геометрических построений решают практические задачи графическим способом: все действия производятся чертежными инструментами. Результатом построения является какой-либо графический элемент: геометрическая фигура, контур детали и т.д.

Приступая к выполнению чертежа, следует предварительно установить: размеры листа бумаги (формат чертежа); расположение изображений на листе; размещение надписей.

### 1.1 ИНСТРУМЕНТ И МАТЕРИАЛ

Для выполнения графических работ нужны следующие материалы и принадлежности: бумага, карандаши, ластик, рейсшина, угольники, линейки, лекала, циркуль.

**Карандаши чертежные.** Для чертежных работ применяются различной твердости чертежные карандаши. Наша промышленность

выпускает чертежные карандаши марок «конструктор», «топограф», «картограф» четырнадцати степеней твердости: от 7Т до 2Т – твердые; Т, ТМ, М – промежуточные; от 2М до 6М – мягкие. Твердость и мягкость зарубежных карандашей («ролло», «Кох и нор» и др.) обозначены латинскими буквами Н и В: твердые – от 9Н до 2Н; мягкие – от 2В до 6В и Н, НВ, В – промежуточные.

Для чертежных работ применяются карандаши 5Т, 4Т до М–2М или им соответствующие карандаши иностранных марок. Более мягкими делают предварительные построения. Линии наносят с очень легким нажимом, чтобы впоследствии их можно было легко стереть.

Очищать карандаш следует на правильный конус длиной около 3 см с конца, свободного от фабричного клейма и обозначения твердости. Правильно очинённый карандаш способствует точному построению чертежа. Иногда графит затачивают в виде лопаточки и острым ее углом прочерчивают линии по линейке. Для подтачивания графита во время работы применяют наждачную бумагу (среднезернистую или мелкозернистую), наклеенную на фанерную или картонную пластинку для удобства.

В *циркуль* обычно вставляют стержень, у которого твердость графита на номер меньше, чем принята для обводки без циркуля. Затачивать стержень можно также в виде одностороннего плоского среза или конуса. Из наконечника стержень должен выступать на 6 – 8 мм. При работе надо следить, чтобы игла и графитный стержень были на одном уровне.

*Чертежная бумага* должна обладать прочностью, белизной и специальной способностью выдерживать многократное нанесение и стирание линий, а также равно воспринимать тушь и акварельные краски. От чертежной бумаги требуется минимальная линейная деформация при ее смачивании и последующем высушивании.

## **1.2 ФОРМАТЫ**

**(ГОСТ 2.301-68\*)**

Каждый чертеж должен быть выполнен на листе определенных размеров, который называется форматом. Формат определяется размерами внешней рамки (выполненной тонкой линией) оригиналов, подлинников, дубликатов, копий.

Форматы чертежей, определяемые шириной и длиной листа, подразделяются на основные и дополнительные.

ГОСТ 2.301-68\* устанавливает пять основных форматов для чертежей и других конструкторских документов: А0, А1, А2, А3, А4. Площадь формата А0 равна  $\sim 1\text{м}^2$ . Другие основные форматы могут быть получены последовательным делением формата А0 на две равные части параллельно меньшей стороне соответствующего формата. Размеры сторон основных форматов приведены в таблице 1.1.

При необходимости допускается применять формат А5 с размерами сторон 148×210 мм.

В технике все линейные измерения производят в мм и единицы измерения не указывают, в том числе на чертежах. При наличии других единиц – их обозначения указывают.

Таблица 1.1

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

На чертежи наносится рамка (обрамляющая линия), которую проводят сплошной толстой основной линией. Обрамляющая линия проводится вдоль левой стороны формата на расстоянии **20 мм** от внешней рамки (поле для подшивки), а вдоль остальных сторон – на расстоянии **5 мм**. (рисунок 1.1)

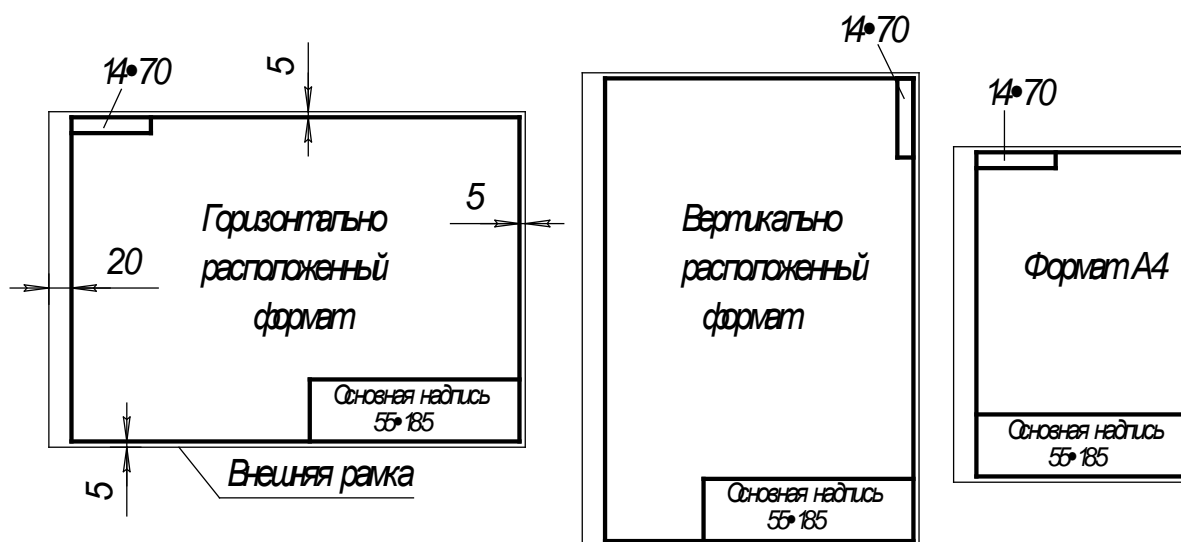


Рисунок 1.1

Формат А4 располагается только **вертикально**. Остальные основные форматы можно располагать и вертикально, и горизонтально.

Допускается применение дополнительных форматов, образуемых увеличением коротких сторон основных форматов на величину, кратную их размерам.

### 1.3 ОСНОВНЫЕ НАДПИСИ (ГОСТ 2.104-2006)

Каждый чертеж должен иметь основную надпись, которая располагается в правом нижнем углу чертежа: на формате А4 вдоль короткой стороны, а на больших форматах может располагаться как вдоль длинной стороны, так и вдоль короткой стороны формата (рисунок 1.1).





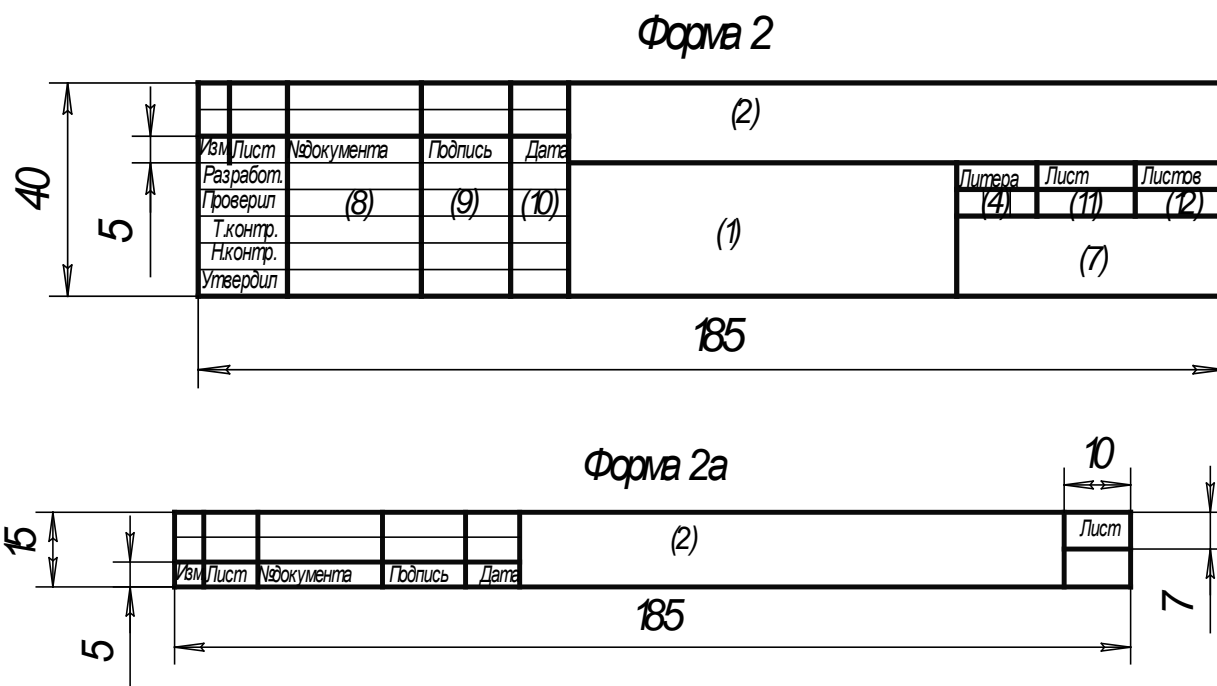


Рисунок 1.3

#### 1.4 МАСШТАБЫ (ГОСТ 2.302 – 68\*)

Масштабом называется отношение линейных размеров изображения предмета на чертеже к его действительным размерам.

Предпочтительно выполнять чертежи так, чтобы размеры изображения и самого предмета были равны, т.е. в масштабе **1:1**. Однако, в зависимости от величины и сложности предмета, а также от вида чертежа часто приходится размеры изображения увеличивать или уменьшать по сравнению с истинными. В этих случаях прибегают к построению изображения в масштабе.

Масштабы изображений на чертежах должны выбираться из следующего ряда (таблица 1.2):

Таблица 1.2

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
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 применение масштабов 1:2000; 1:5000; 1:10000; 1:20000; 1:25000; 1:50000.

При выборе масштаба следует руководствоваться, прежде всего, удобством пользования чертежом.

Масштаб, указываемый в графе, имеющей заголовок «Масштаб» (в основной надписи, в таблицах), обозначают по типу 1:1; 1:2; 2:1 и т. д.

Масштаб изображения, отличающийся от указанного в основной надписи, указывают в скобках (без буквы М) рядом с обозначением изображения.

Например: А (2:1); Б – Б (2:1).


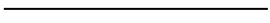
## 1.5 ЛИНИИ


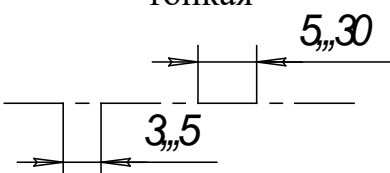
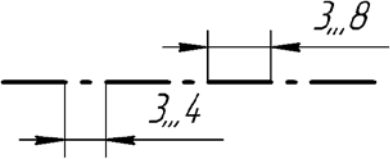
(ГОСТ 2.303 – 68\*)

Чтобы чертеж был выразительным и легко читался, он должен быть оформлен линиями различной толщины и формы. ГОСТ 2.303 - 68\* устанавливает начертания и основные назначения линий на чертежах всех отраслей промышленности и строительства (таблица 1.3)

Толщина сплошной толстой основной линии  $S$  должна быть **0,5...1,4 мм**, в зависимости от величины и сложности изображения, а также от формата чертежа. Толщина линий одного и того же типа должна быть одинакова для всех изображений на данном чертеже, вычерчиваемых в одинаковом масштабе.

Таблица 1.3

№ п/п	Наименование и начертание	Толщина линий по отношению к основной линии	Основное назначение
1.	Сплошная толстая основная (в дальнейшем основная) 	$S(0,5...1,4)$	Линии видимого контура; линии перехода видимые; линии контура сечения (вынесенного и входящего в состав разреза)
2.	Сплошная тонкая 	$S/3...S/2$ (0,4...0,7)	Линии контура наложенного сечения; линии размерные, выносные; линии штриховки; линии-выноски, полки линий выносок; линии перехода воображаемые; линии для изображения пограничных деталей (обстановка); линии ограничения выносных элементов

3.	Сплошная волнистая 	$S/3 \dots S/2$	Линии обрыва; линии разграничения вида и разреза.
4.	Штриховая 	$S/3 \dots S/2$	Линии невидимого контура; линии перехода невидимого контура
5.	Штрих-пунктирная тонкая 	$S/3 \dots S/2$	Линии осевые и центровые; линии сечений, являющиеся осями симметрии для наложенных или вынесенных сечений
6.	Разомкнутая 	$S \dots 1,5S$	Линии сечения
7.	Штрих-пунктирная тонкая с двумя точками 	$S/3 \dots S/2$	Линии сгиба на развертках; линии для изображения частей изделий в крайних или промежуточных положениях; линии для изображения развертки, совмещенной с видом
8.	Сплошная тонкая с изломами 	$S/3 \dots S/2$	Длинные линии обрыва
9.	Штрих-пунктирная утолщенная 	$S/2 \dots 2/3S$	Линии, обозначающие поверхности, подлежащие термообработке или покрытию; линии для изображения элементов, расположенных перед секущей плоскостью («наложенная проекция»)

Штрихи штрих–пунктирной линии должны быть одинаковой длины. Одинаковыми оставляют и промежутки между штрихами. Штрих–пунктирные линии заканчивают штрихами.

Центр окружности во всех случаях определяется пересечением штрихов. Если диаметр окружности или размеры других геометрических фигур в изображении менее 12 мм, штрихпунктирные линии, применяемые в

качестве центровых, следует заменять сплошными тонкими линиями (рисунок 1.4).

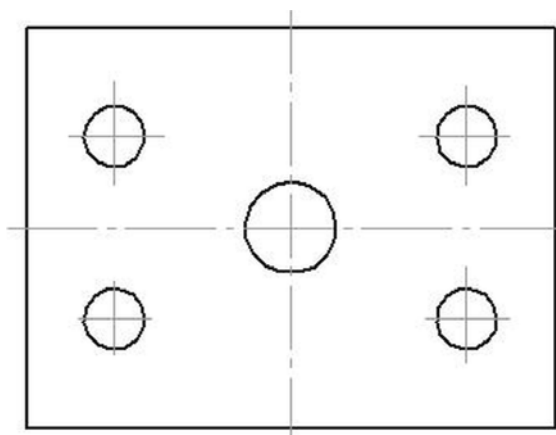


Рисунок 1.4

На рисунке 1.5 показан пример применения различных типов линий.

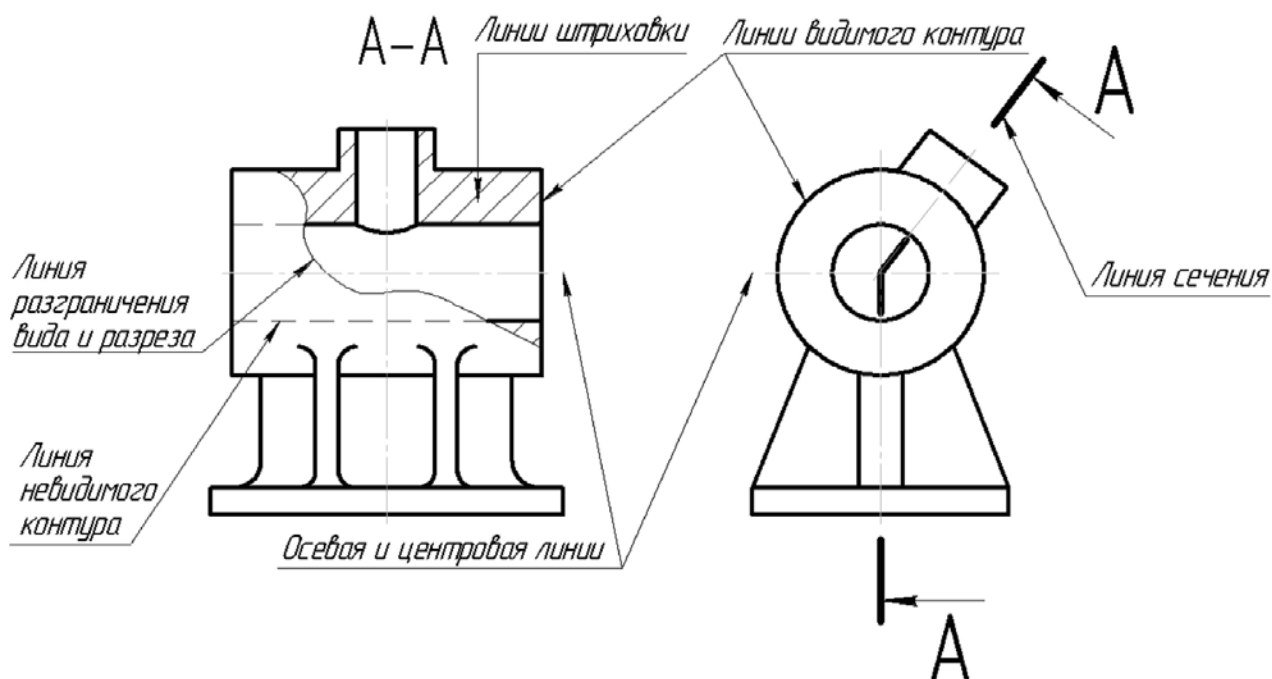


Рисунок 1.5

## 1.6 ШРИФТЫ ЧЕРТЕЖНЫЕ

(ГОСТ 2.304 – 81\*)

Все надписи на чертежах должны быть выполнены чертежным шрифтом.

ГОСТ 2.304-81 устанавливает два типа шрифта: тип *A* и тип *B*, с наклоном и без наклона. В настоящем пособии подробно рассмотрен шрифт тип *A* с наклоном  $75^\circ$  и параметрами, приведенными в таблице 1.4.

*Размер шрифта  $h$*  – величина, определенная высотой прописных букв в миллиметрах.

*Высота прописных букв  $h$*  измеряется перпендикулярно к основанию строки. *Высота строчных букв  $c$*  определяется из отношения их высоты (без отростков  $k$ ) к размеру шрифта  $h$ , например,  $c = 7/10h$  (рисунок 1.6, а).

*Ширина буквы  $g$*  – наибольшая ширина буквы, измеренная в соответствии с рисунком 1.6, а, определяется по отношению к размеру шрифта  $h$ , например,  $g = 6/10h$ , или по отношению к толщине линии шрифта  $d$ , например,  $g = 6d$ .

*Толщина линии шрифта  $d$*  – толщина, определяемая в зависимости от типа и высоты шрифта.

*Вспомогательная сетка* – сетка образованная вспомогательными линиями, в которые вписываются буквы. Шаг вспомогательных линий сетки определяется в зависимости от толщины линии шрифта  $d$  (рисунок 1.6, б).

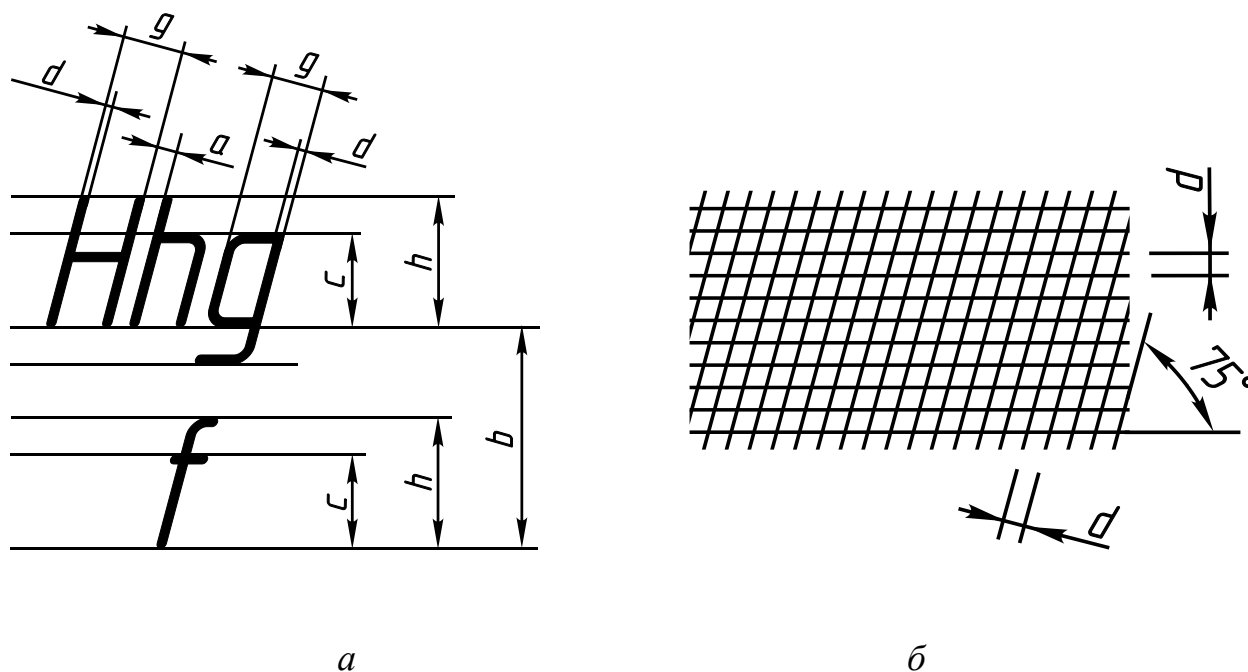


Рисунок 1.6

Таблица 1.4

Параметры шрифта	Обозначение	Относительный размер	Размеры мм							
Размер шрифта <i>высота прописных букв</i>	<i>h</i>	$(14/14)$ <i>h</i>	$14 d$	<b>2,5</b>	<b>3,5</b>	<b>5,0</b>	<b>7,0</b>	<b>10,0</b>	<b>14,0</b>	<b>20,0</b>
Высота строчных букв	<i>c</i>	$(10/14)$ <i>h</i>	$10 d$	1,8	2,5	3,5	5,0	7,0	10,0	14,0
Расстояние между буквами	<i>a</i>	$(2/14)$ <i>h</i>	$2 d$	0,35	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8
Минимальный шаг строк (высота вспомогательной сетки)	<i>b</i>	$(22/14)$ <i>h</i>	$22 d$	4,0	5,5	8,0	11,0	16,0	22,0	31,0
Минимальное расстояние между словами	<i>e</i>	$(6/14)$ <i>h</i>	$6 d$	1,1	1,5	2,1	3,0	4,2	6,0	8,4
Толщина линии шрифта	<i>d</i>	$(1/14)$ <i>h</i>	<i>d</i>	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1,0	1,4

*Примечания:*

1 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.

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

3 Устанавливаются следующие размеры шрифта: **2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40**.

4 Предельные отклонения размеров букв и цифр +0,5 мм.

Начертание букв и символов приведены на рисунках 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, 1.11.

## РУССКИЙ АЛФАВИТ (КИРИЛЛИЦА)

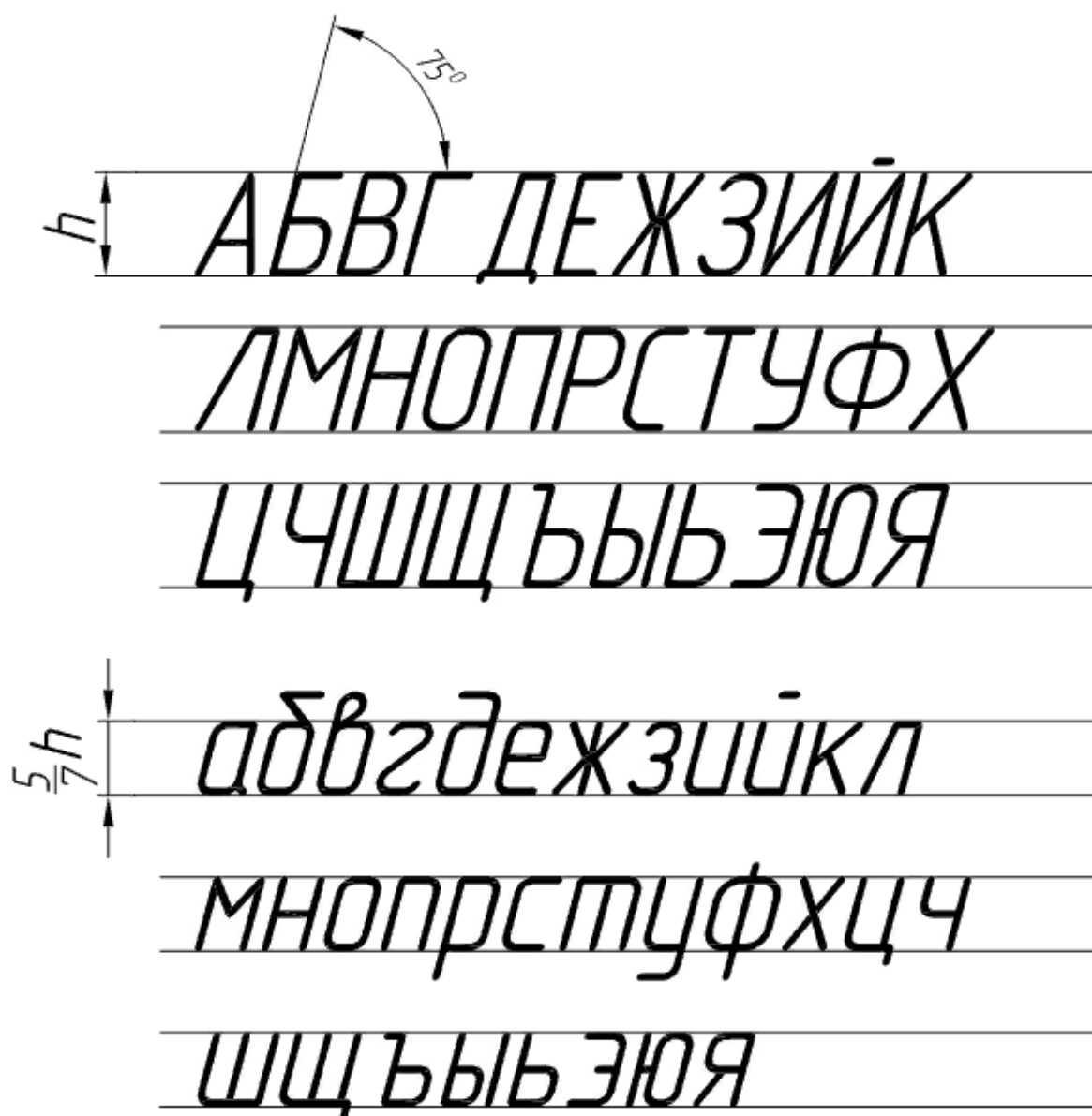


Рисунок 1.7

## ЛАТИНСКИЙ АЛФАВИТ

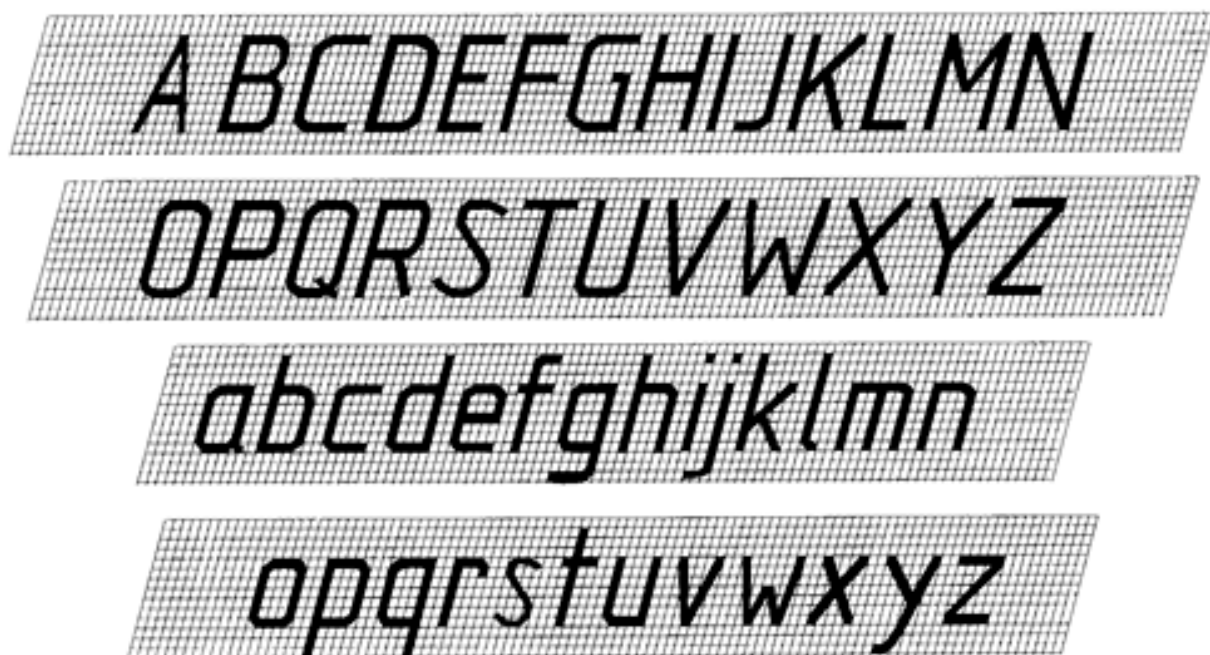


Рисунок 1.8

## АРАБСКИЕ И РИМСКИЕ ЦИФРЫ



Рисунок 1.9



## ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТ

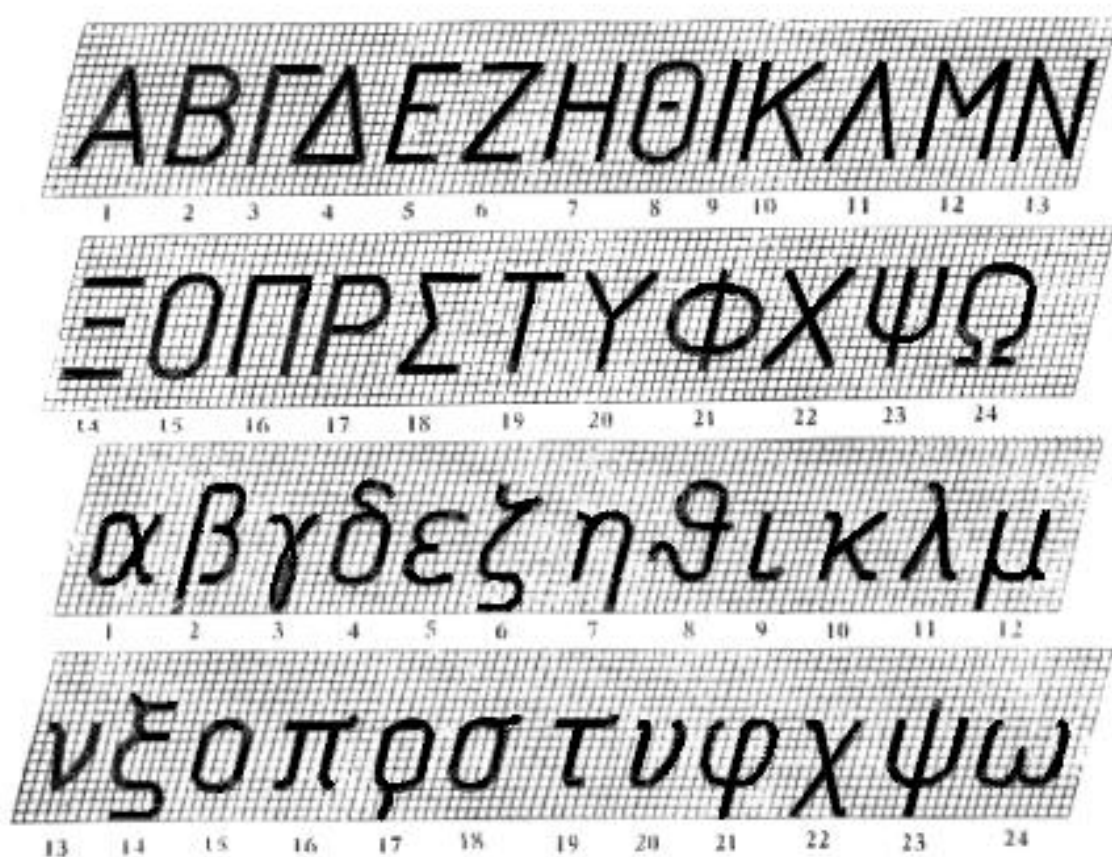


Рисунок 1.10

Наименование букв греческого алфавита, приведенных на рисунке 1.10:

1 – альфа	9 – йота	17 – ро
2 – бета	10 – каппа	18 – сигма
3 – гамма	11 – ламбда	19 – тау
4 – дельта	12 – мю	20 – ипсилон
5 – эпсилон	13 – ню	21 – фи
6 – дзета	14 – кси	22 – хи
7 – эта	15 – омикрон	23 – пси
8 – тэта	16 – пи	24 – омега

## ЗНАКИ

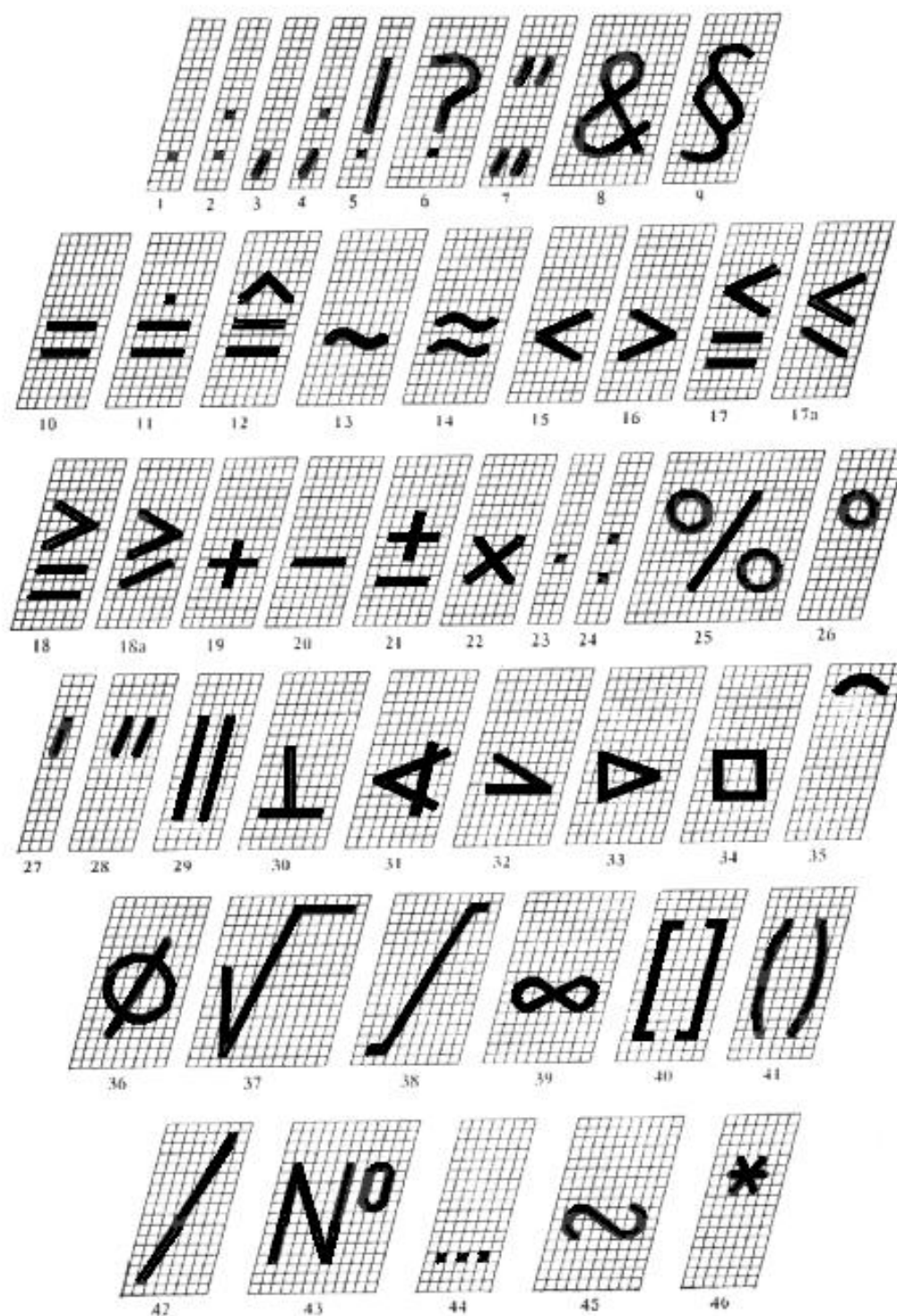


Рисунок 1.11

Наименования знаков приведены в таблице 1.5.

Таблица

1.5

Номера знаков на чертежах	Наименование знака	Номера знаков	Наименование знака
1	Точка	25	Процент
2	Двоеточие	26	Градус
3	Запятая	27	Минута
4	Точка с запятой	28	Секунда
5	Восклицательный знак	29	Параллельно
6	Вопросительный знак	30	Перпендикулярно
7	Кавычки	31	Угол
8	И	32	Уклон
9	Параграф	33	Конусность
10	Равенство	34	Квадрат
11	Величина после округления	35	Дуга
12	Соответствует	36	Диаметр
13	Асимптотически равно	37	Радикал
14	Приблизительно равно	38	Интеграл
15	Меньше	39	Бесконечность
16	Больше	40	Квадратные скобки
17 и 17a	Меньше или равно	41	Круглые скобки
18 и 18a	Больше или равно	42	Черта дроби
19	Плюс	43	Номер
20	Минус тире	44	От до
21	Плюс – минус	45	Знак подобия
22 23	Умножение	46	Звездочка
24	Деление		

## **1.7 ОБОЗНАЧЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛОВ И ПРАВИЛА ИХ НАНЕСЕНИЯ НА ЧЕРТЕЖАХ**

(ГОСТ 2.306-68)

Графические обозначения материалов в разрезах и сечениях в зависимости от вида материалов должны соответствовать приведенным изображениям в таблице 1.6. Форма штриховки на чертеже дает представление о материале, из которого сделана деталь.

Таблица 1.6

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

Наклонные параллельные линии штриховки должны проводиться под углом  $45^\circ$  к линии контура изображения (рисунок 1.12, а) или к его оси (рисунок 1.12, б) или к линиям рамки чертежа (рисунок 1.13)

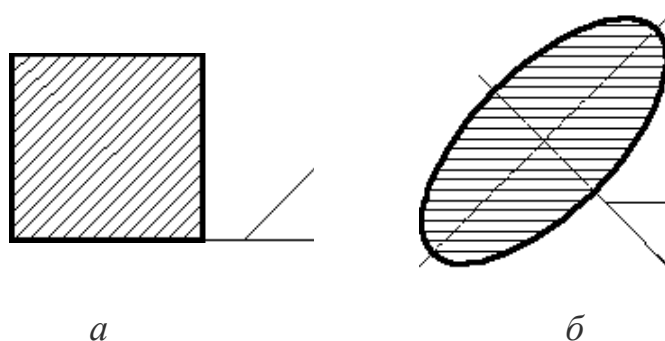


Рисунок 1.12

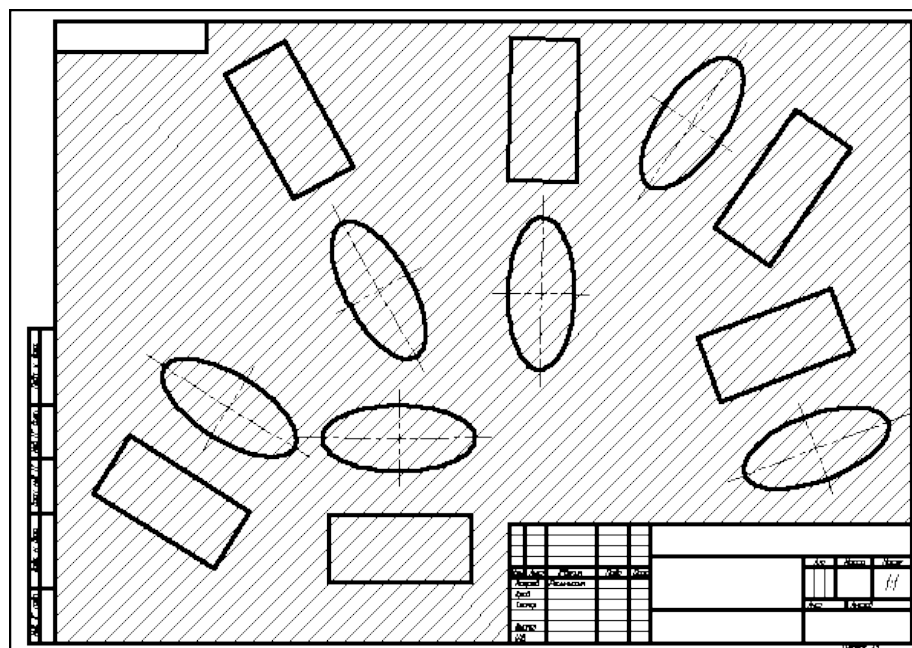


Рисунок 1.13

Если линии штриховки, приведенные к линии рамки чертежа под углом  $45^\circ$ , совпадают с линиями контура или осявыми линиями, то вместо угла  $45^\circ$  следует брать угол  $30^\circ$  или  $60^\circ$  (рисунок 1.14).

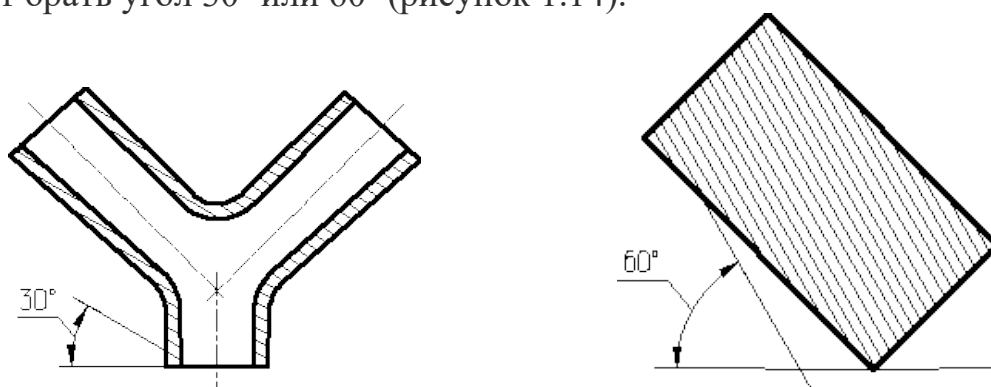


Рисунок 1.14

Узкие площади сечений, ширина которых на чертеже менее 2 мм, допускается показывать зачерненными (рисунок 1.15).

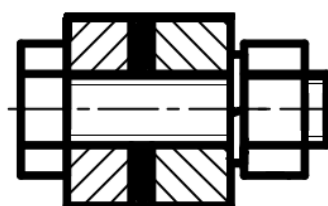


Рисунок 1.15

## 2 ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ

Под геометрическими построениями понимают элементарные построения на плоскости, основанные на основных положениях геометрии. К ним относятся: проведение взаимно перпендикулярных и параллельных прямых, деление отрезков, углов и др. Геометрические построения выполняют циркулем и линейкой (рейсшиной) или линейкой и угольником. Знание геометрических построений позволяет правильно начертить контур любого изделия, точно выполнить рамку формата чертежа и верно расположить чертеж внутри ее, точно разметить надписи. Таким образом, геометрические построения являются основой для выполнения чертежа. Знание их значительно ускоряет выполнение чертежа, так как позволяет в каждом случае выбрать наиболее рациональные приемы построений. Кроме того, выполнение геометрических построений дает возможность овладеть правильными приемами работы чертежными инструментами.

Графические построения всегда неточны, но степень неточности может быть различной. Построение более точно, если оно содержит мало операций (под операцией понимают проведение прямой линии, вычерчивание дуги, откладывание отрезка и т. п.). Поэтому при решении задачи на построение очень важно выбрать наиболее короткий путь.

Точность геометрических построений во многом зависит от аккуратности и внимания работающего. При этом необходимо иметь в виду следующее:

1. Проводимые линии должны быть тонкими и чертить их надо твердым карандашом.

2. Точку на чертеже следует задавать как точку пересечения двух линий: двух прямых, двух дуг или прямой и дуги. Во всех случаях нужно стремиться к тому, чтобы угол между этими линиями был прямым или приближался к нему (рисунок 2.1).

3. Проводя прямую через две точки, желательно брать их подальше друг от друга, так как при сближении точек увеличивается возможность отклонения прямой от ее истинного направления (рисунок 2.2).

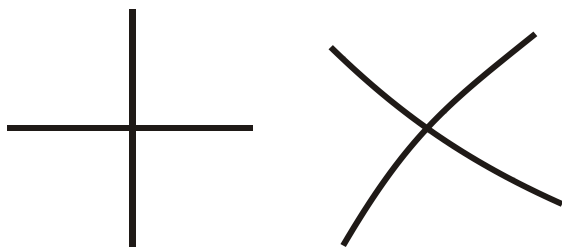


Рисунок 2.1

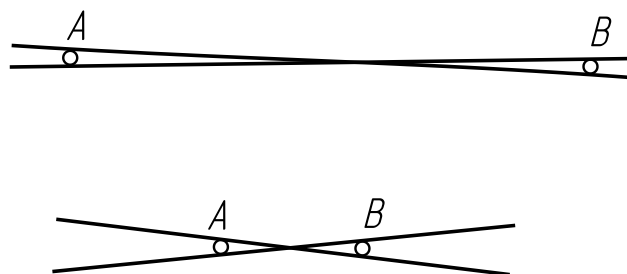


Рисунок 2.2

## 2.1 ПОСТРОЕНИЕ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРЯМЫХ

### 2.1.1 Построение перпендикулярных прямых

*Построение перпендикуляра к прямой  $MN$  в заданной на ней точке  $A$*  (рисунок 2.3, а). Точку  $A$  принимают за центр и произвольным радиусом  $R_1$  описывают дугу до пересечения ее с прямой  $MN$  в точках  $O_1$  и  $O_2$ . Радиусом  $R_2$ , большим радиуса  $R_1$ , из центров  $O_1$  и  $O_2$  проводят дуги до взаимного их пересечения в точках  $B$  и  $C$ . Соединив прямой точки  $B$  и  $C$ , получают искомый перпендикуляр.

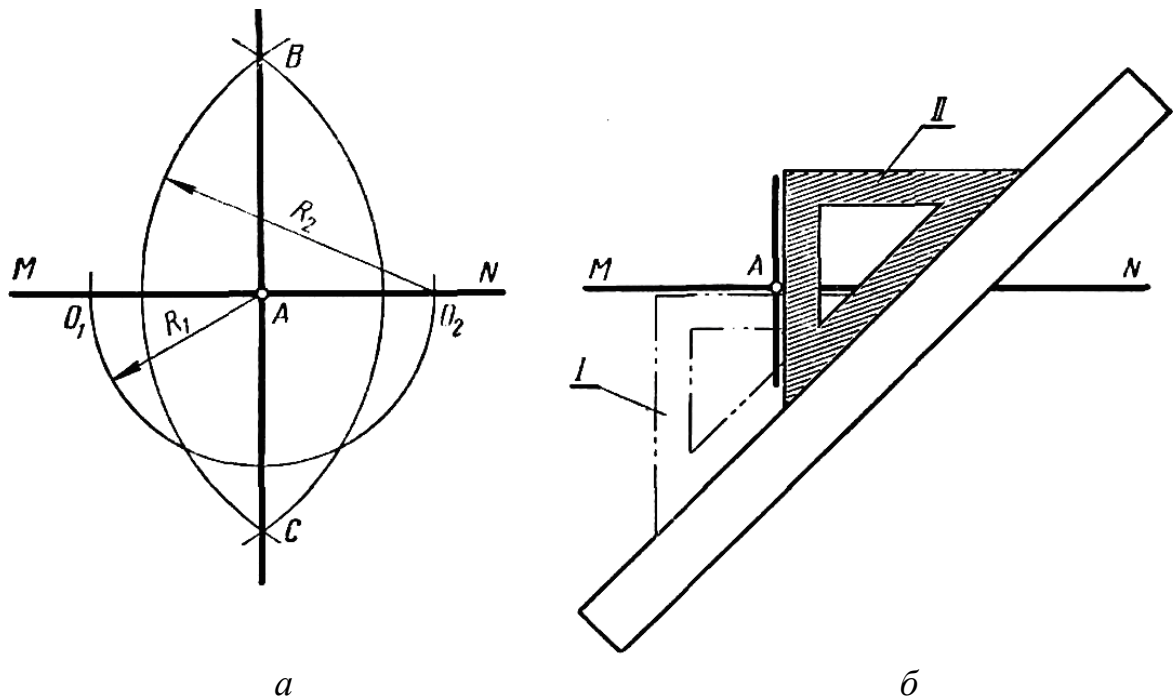


Рисунок 2.3

На рисунке 2.3, б та же задача решена с помощью линейки и угольника. К прямой  $MN$  прикладывают угольник катетом (положение угольника  $I$ ), а к его гипотенузе – линейку или другой угольник. Придерживая левой рукой линейку, правой передвигают угольник до совпадения его второго катета с точкой  $A$  (положение угольника  $II$ ), после чего проводят прямую, перпендикулярную к заданной.

*Построение прямой, перпендикулярной к отрезку  $MN$  и проходящей через точку  $M$*  (рисунок 2.4). Вне отрезка  $MN$  выбирают произвольную точку  $O$  так, чтобы угол  $OMN$  был приблизительно равен  $45 - 60^\circ$ . Из центра  $O$  проводят окружность радиусом  $OM$ , которая пересечет заданный отрезок в точке  $A$ . Точки  $A$  и  $O$  соединяют прямой и продолжают ее до пересечения с окружностью в точке  $B$ . Прямая, проведенная через точки  $B$  и  $M$ , будет перпендикулярна к заданной в силу того, что угол  $BMA$  – прямой как угол, вписанный в окружность и опирающийся на ее диаметр.

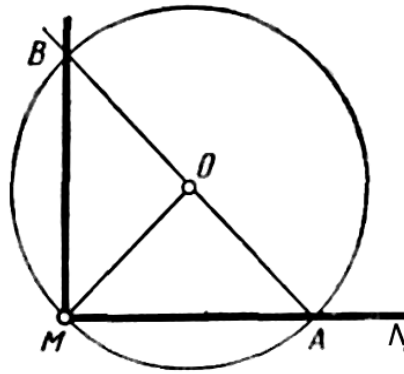


Рисунок 2.4

**Построение перпендикуляра к прямой  $MN$  из точки  $A$ ,** расположенной вне этой прямой (рисунок 2.5). Из точки  $A$  как из центра произвольным радиусом  $R$  проводят дугу, пересекающую заданную прямую в точках  $O_1$  и  $O_2$ . Тем же радиусом  $R$  из полученных точек проводят дуги до их взаимного пересечения в точке  $D$ . Прямая, проведенная через точки  $A$  и  $D$ , перпендикулярна к заданной.

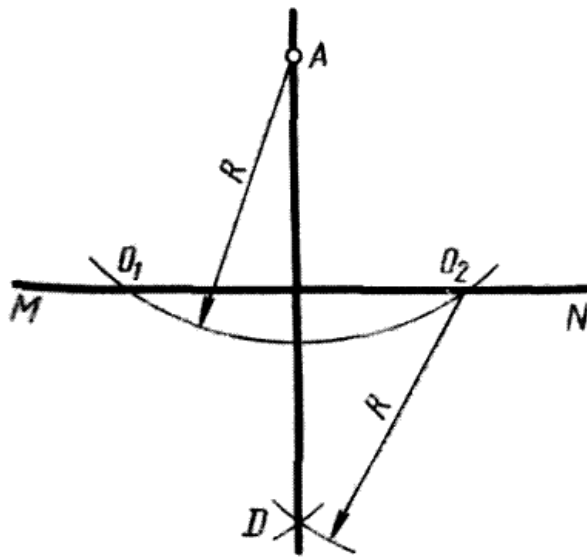


Рисунок 2.5

### 2.1.2 Построение параллельных прямых

**Провести прямую, параллельную заданной прямой  $MN$ , через точку  $A$ , расположенную вне этой прямой** (рисунок 2.6, а). Из точки  $A$  проводят окружность радиусом  $R$ , пересекающую прямую  $MN$  в точках  $B$  и  $C$ . От одной из них, например точки  $C$ , на прямой  $MN$  откладывают в любую сторону отрезок, равный радиусу  $R$ , и получают точку  $D$ . Из точки  $D$  тем же радиусом проводят дугу до пересечения ее с окружностью в точке  $E$ . Прямая  $AE$  параллельна  $MN$ , так как отрезки  $AE$  и  $CD$  являются противоположными сторонами ромба  $ACDE$ .



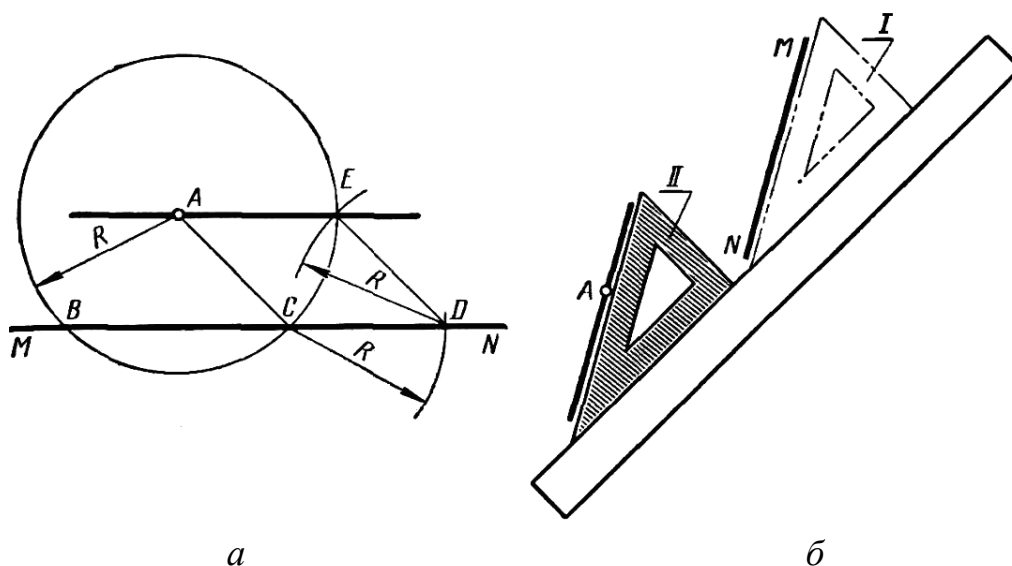


Рисунок 2.6

При наличии угольника и линейки задача решается проще (рисунок 2.6, б). К прямой  $MN$  прикладывают угольник гипотенузой (положение угольника  $I$ ), а к его катету – линейку.

Придерживая линейку левой рукой, правой угольник передвигают до совпадения его гипотенузы с точкой  $A$  (положение угольника  $II$ ) и через нее проводят прямую, параллельную заданной.

**Провести прямую, параллельную заданной прямой  $MN$  и отстоящую от нее на расстоянии  $a$**  (рисунок 2.7). Через произвольную точку  $B$  на прямой  $MN$  проводят прямую  $AB$ , перпендикулярную к заданной. На перпендикуляре от точки  $B$  откладывают отрезок  $BC$ , равный заданному расстоянию  $a$ . Через точку  $C$  с помощью угольника и линейки проводят прямую  $CD$ , параллельную заданной. Отрезок  $BC = a$  можно отложить на перпендикуляре в обе стороны, поэтому задача имеет два ответа.

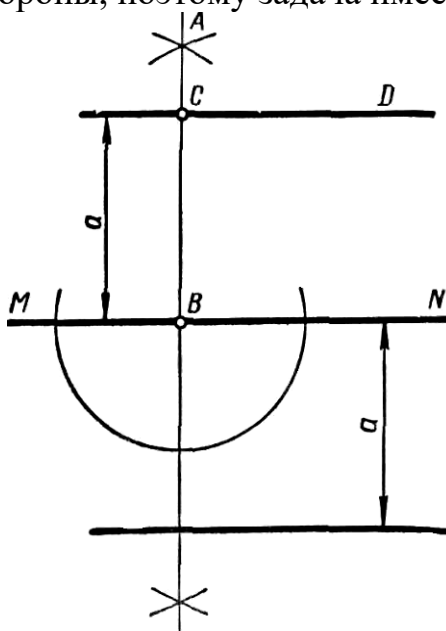


Рисунок 2.7

## 2.2 ДЕЛЕНИЕ ОТРЕЗКА ПРЯМОЙ

### 2.2.1 Деление отрезка прямой на равные части

**Деление отрезка  $AB$  пополам** (рисунок 2.8, а). Из концов отрезка  $AB$  радиусом  $R$ , большим половины отрезка, проводят две дуги до пересечения их между собой в точках  $M$  и  $N$ . Прямая, проходящая через точки  $M$  и  $N$ , делит заданный отрезок в точке  $C$  пополам.

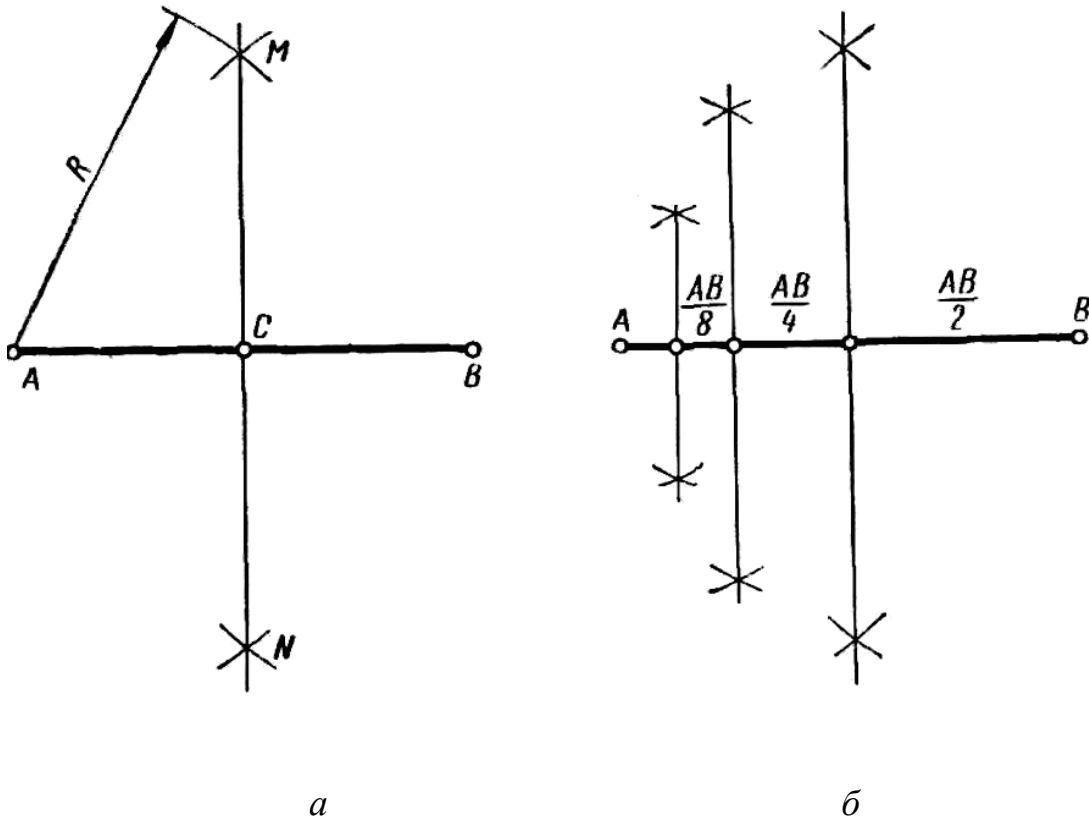


Рисунок 2.8

Если продолжить деление отрезка и последовательно каждую половину его делить пополам, то отрезок  $AB$  будет разделен на 4, 8, 16 и т. д. равных частей (рисунок 2.8, б).

**Деление отрезка прямой на произвольное число равных частей.** Такое деление основано на свойстве подобных треугольников. На рисунке 2.9 показано деление отрезка  $AB$  на семь равных частей. Через любой конец отрезка  $AB$  под произвольным углом к нему (лучше острым) проводят вспомогательную прямую  $AC$ . С помощью циркуля от точки  $A$  на прямой  $AC$  откладывают семь произвольных, но равных между собой отрезков. Последнюю точку  $7$  соединяют с точкой  $B$ , а через остальные точки  $1, 2, \dots, 6$  проводят прямые, параллельные прямой  $B7$ , до пересечения их с отрезком  $AB$ . Точки пересечения разделят отрезок  $AB$  на семь равных частей.

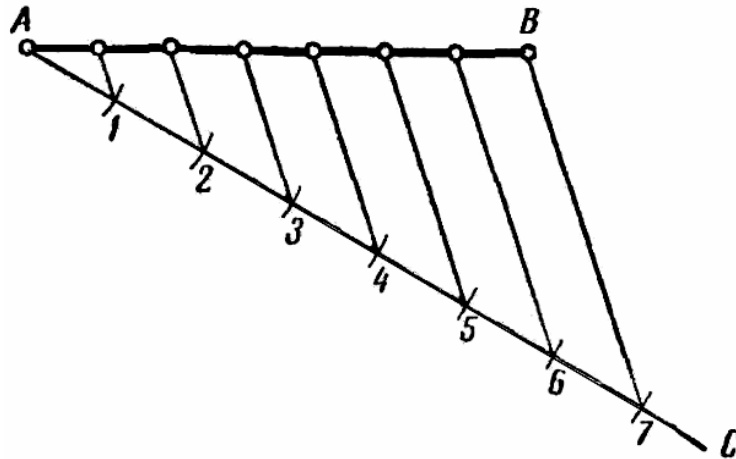


Рисунок 2.9

### 2.2.2 Деление отрезка прямой на пропорциональные части

*Деление отрезка  $AB$  на две части, находящиеся в отношении  $AC:CB = 2:3$*  (рисунок 2.10, а). Через точку  $A$  проводят под произвольным углом к заданному отрезку прямую  $AD$ . На этой прямой от точки  $A$  откладывают пять  $(2+3)$  равных отрезков произвольной длины. Точки  $B$  и  $V$  соединяют прямой линией. Через точку  $II$  проводят прямую, параллельную  $BV$ , до пересечения ее с отрезком  $AB$  в точке  $C$ . Точка  $C$  делит отрезок  $AB$  в отношении  $2:3$ .

Если отношение задано не цифрами, а в отрезках  $m:n$ , то на вспомогательной прямой  $AD$  вместо отрезков произвольной длины откладывают отрезки  $m$  и  $n$ . Подобное построение учащемуся предлагается проделать самостоятельно, взяв размеры с рисунка 2.10, б.

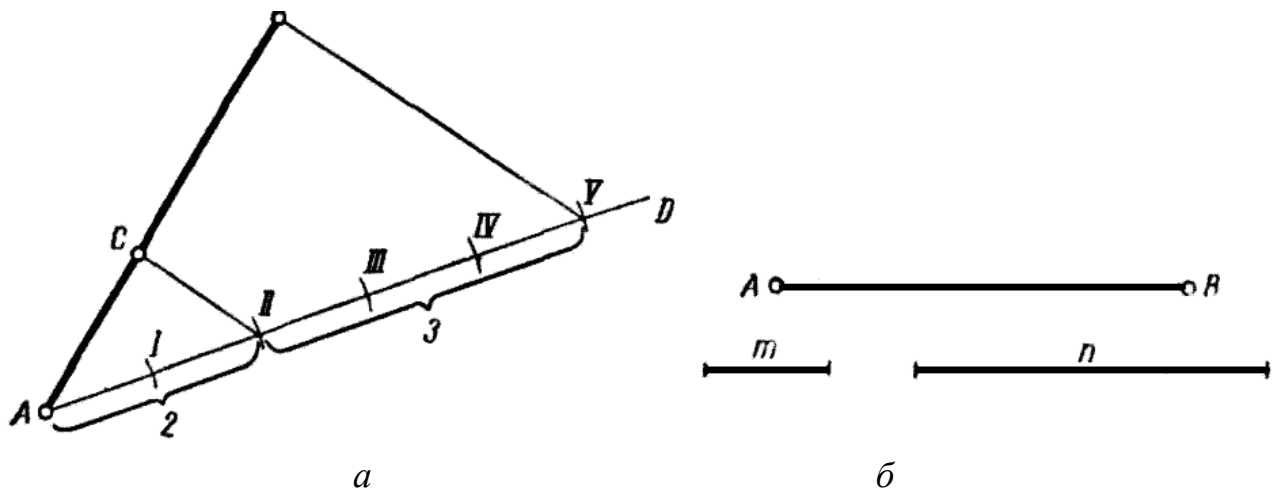


Рисунок 2.10

*Деление отрезка  $AB$  в среднем и крайнем отношении* (рисунок 2.11). Отрезок  $AB$  делят в точке  $C$  пополам и через один из его концов, например точку  $B$ , проводят прямую  $BM$ , ему перпендикулярную (рисунок 2.11, а). От точки  $B$  на перпендикуляре откладывают отрезок  $BD = BC$ . Точки  $A$  и  $D$  соединяют прямой (рисунок 2.11, б). На отрезке  $AD$  получают точку  $E$  при

помощи дуги радиуса  $DB$  с центром в точке  $D$ . Из точки  $A$  как из центра проводят дугу радиусом  $AE$ , которая пересечет отрезок  $AB$  в точке  $F$ . Точка  $F$  является точкой деления отрезка  $AB$  в среднем и крайнем отношении, так как  $\frac{AF}{FB} = \frac{AB}{AF}$ .

Разобранную пропорцию часто называют «золотым сечением». Это название связано с тем, что в пропорциях человеческого тела, в формах животных, отличающихся изяществом, среди творений мастеров архитектуры и прикладного искусства – всюду встречаются пропорции, подчиненные закону о среднем и крайнем отношениях. Деление отрезка в среднем и крайнем отношениях позволяет подобрать наилучшие пропорции для одного предмета или выбрать соразмерность нескольких предметов.

Возьмем для примера прямоугольник с отношением сторон, равным построенной пропорции (рисунок 2.11, в), и сравним его с другим прямоугольником (рисунок 2.11, г), у которого эта пропорция нарушена. Нетрудно заметить, что пропорции первого прямоугольника более приятны для глаза. Простейшее применение пропорции «золотого сечения» можно наблюдать в форматах книг, альбомов, размерах открыток и т. д.

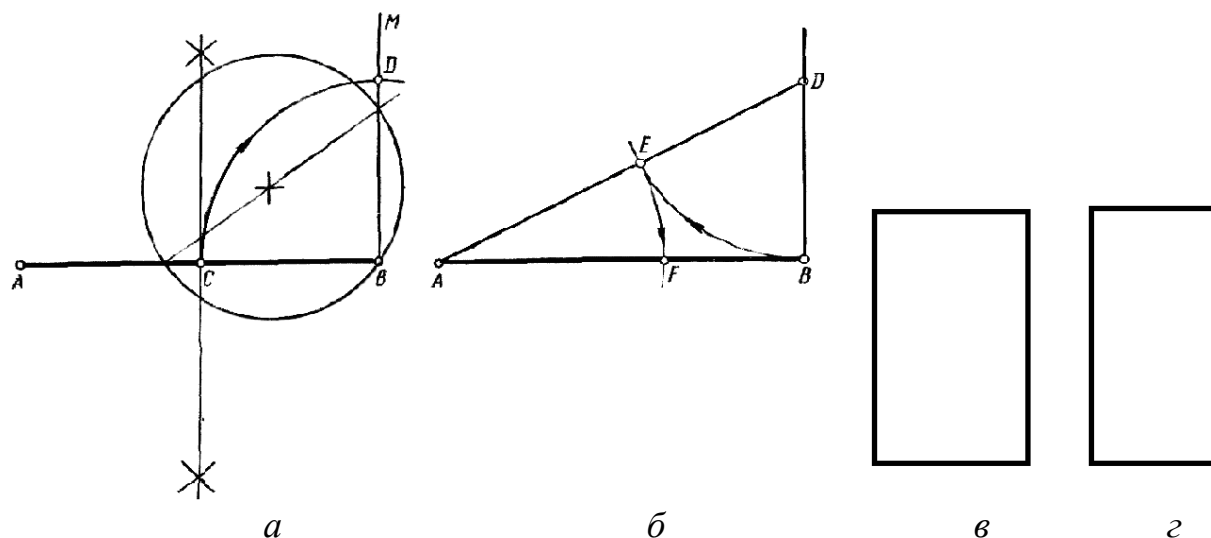


Рисунок 2.11

## 2.3 ПОСТРОЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ, ДЕЛЕНИЕ УГЛОВ, ПОСТРОЕНИЕ УКЛОНОВ

### 2.3.1 Построение и измерение углов

**Построение угла, равного данному.** Пусть требуется на прямой  $MN$  при точке  $D$  построить угол, равный углу  $ABC$  (рисунок 2.12). Произвольным радиусом  $R$  проводят две дуги: одну из вершины угла  $ABC$ , пересекающую стороны его в точках  $K$  и  $L$  (рисунок 2.12, а), другую из точки  $D$ , пересекающую прямую  $MN$  в точке  $F$  (рисунок 2.12, б). Из точки  $F$  радиусом

$r=KL$  проводят дугу до пересечения с дугой радиуса  $R$  в точке  $E$ . Проводя через точки  $D$  и  $E$  прямую, получают угол  $EDF$ , равный заданному  $ABC$ .

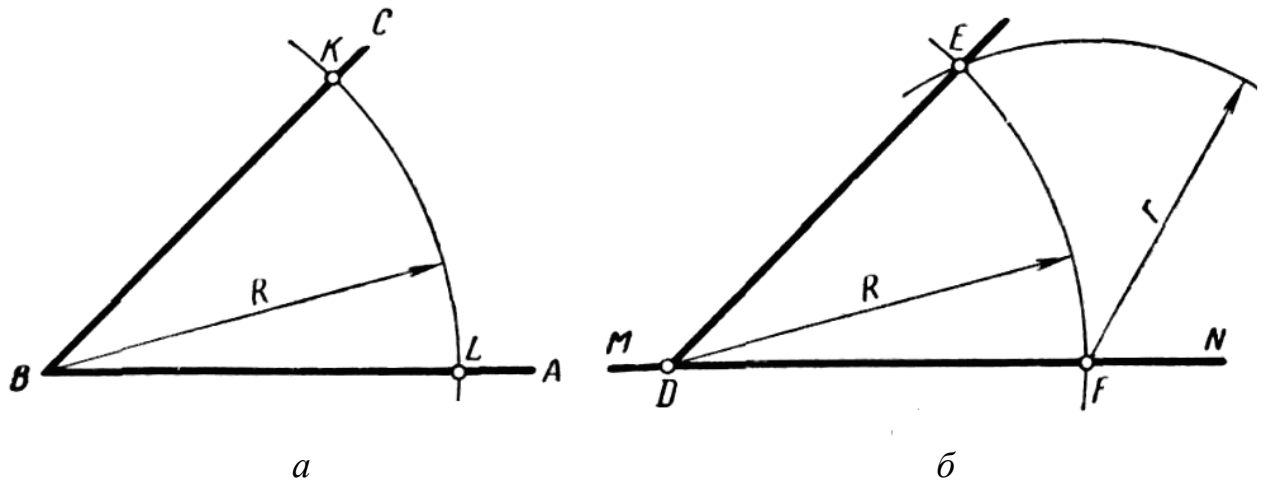


Рисунок 2.12

**Построение углов  $7^\circ$ ,  $41^\circ$ .** Такие углы строят для построения осей прямоугольной диметрической проекции. Для этого проводим две взаимно перпендикулярные прямые. Обозначим точки их пересечения буквой  $O$  (рисунок 2.13). Вправо от точки  $O$  отложим на горизонтальной прямой восемь одинаковых отрезков произвольной длины. Через точку 8 проведем к горизонтальной прямой перпендикуляр и отложим на нем вниз от точки 8 семь таких же отрезков, а вверх отложим один отрезок. Затем через точки 7 и  $O$  проведем прямую, которую продолжим вверх. Прямая 7— $O$  пойдет под углом примерно равным  $41^\circ$ . Проведем прямую через точки 1 и  $O$ . Прямая 1— $O$  будет направлена под углом  $7^\circ$ .

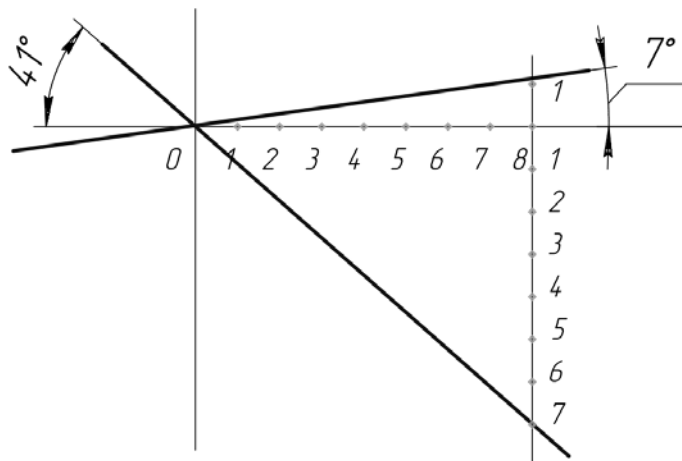


Рисунок 2.13

**Построение углов с помощью рейсшины и двух угольников** (рисунок 2.14). Два угольника с углами  $45^\circ$ ,  $30^\circ$  и  $60^\circ$  в сочетании с рейсшиной дают возможность построить любой угол, кратный  $15^\circ$ . Постройте самостоятельно угол, равный  $105^\circ$ .

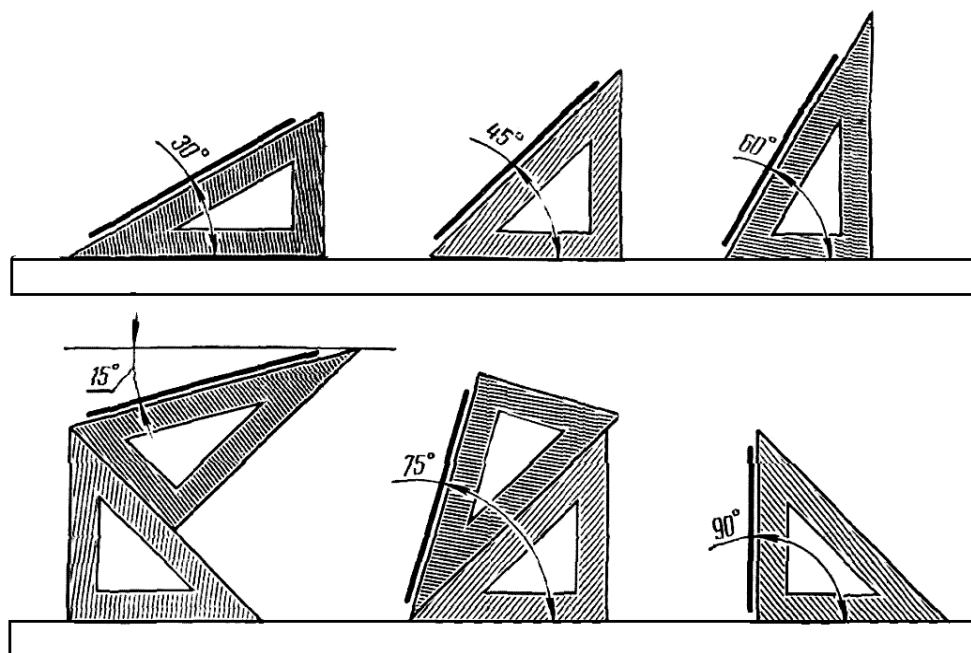


Рисунок 2.14

**Построение углов с помощью транспортира.** По транспортиру строят преимущественно те углы, которые нельзя построить с помощью угольников. Пусть требуется на прямой  $MN$  при точке  $B$  (рисунок 2.15, а) построить угол  $NBA$ , равный  $107^\circ$ . Центр полуокружности транспортира – точку  $O$  совмещают с точкой  $B$ , а его начальную прямую – с прямой  $MN$ . По шкале против деления  $107^\circ$  отмечают точку  $A$  и через точки  $A$  и  $B$  проводят вторую сторону угла.

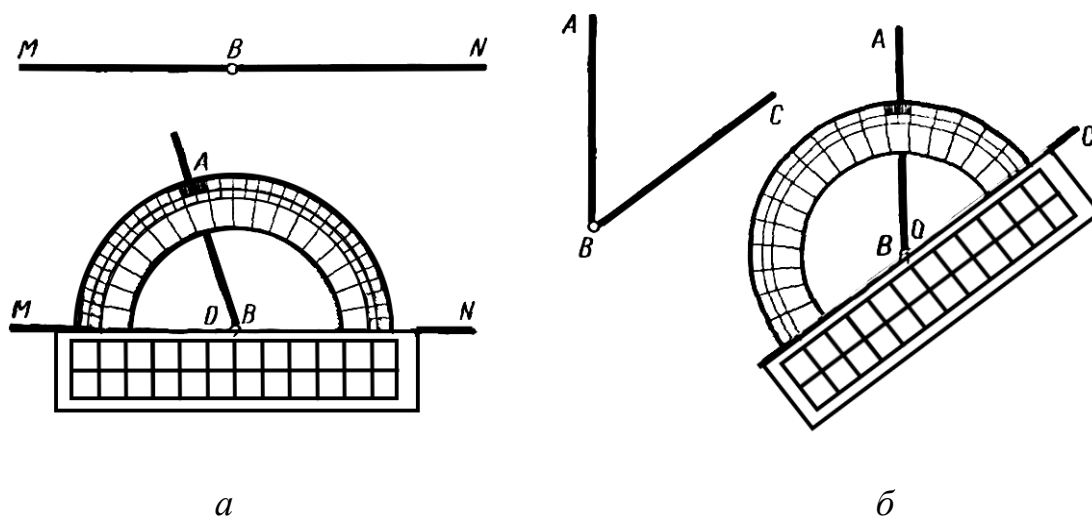


Рисунок 2.15

**Измерение углов.** На рисунке 2.15, б показано измерение транспортиром угла  $ABC$ . Начальную прямую транспортира совмещают с одной из сторон измеряемого угла так, чтобы вершина  $B$  совпала с точкой  $O$ . Тогда деление шкалы, совпадающее с другой стороной угла, укажет на число градусов измеряемого угла.

### 2.3.2 Деление углов

**Деление угла пополам** (рисунок 2.16, а). Из вершины  $B$  угла  $ABC$  произвольным радиусом  $R_1$  проводят дугу до пересечения ее со сторонами угла в точках  $M$  и  $N$ . Затем из точек  $M$  и  $N$  проводят дуги радиусом  $>R_1$  до взаимного пересечения их в точке  $D$ . Прямая  $BD$  разделит данный угол пополам. Деление угла на 4, 8 и т. д. равных частей осуществляется последовательным делением пополам каждой части угла (рисунок 2.16, б).

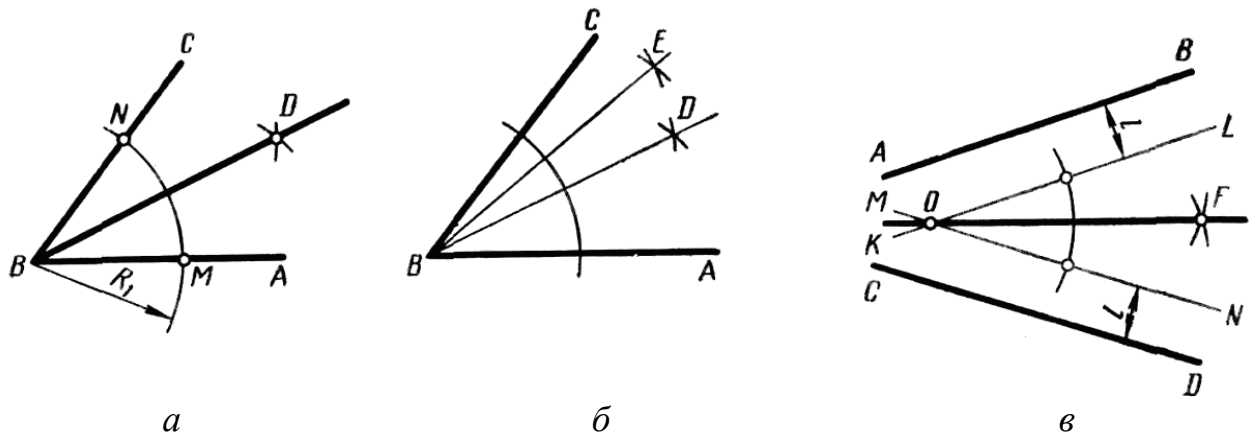


Рисунок 2.16

В том случае, когда угол задан сторонами, не пересекающимися в пределах чертежа, например  $AB$  и  $CD$  на рисунке 2.16, в, деление угла пополам выполняют так. На произвольном, но одинаковом расстоянии  $l$  от сторон угла проводят прямые  $KL \parallel AB$  и  $MN \parallel CD$  и продолжают их до пересечения в точке  $O$ . Полученный угол  $LON$  делят пополам прямой  $OF$ . Прямая  $OF$  разделит пополам также и заданный угол.

**Деление прямого угла на три равные части** (рисунок 2.17). Из вершины прямого угла – точки  $B$  проводят дугу произвольным радиусом  $R$  до пересечения ее с обеими сторонами угла в точках  $A$  и  $C$ . Тем же радиусом  $R$  из точек  $A$  и  $C$  проводят дуги до пересечения с дугой  $AC$  в точках  $M$  и  $N$ . Прямые, проведенные через вершину угла  $B$  и точки  $M$  и  $N$ , разделят прямой угол на три равные части.

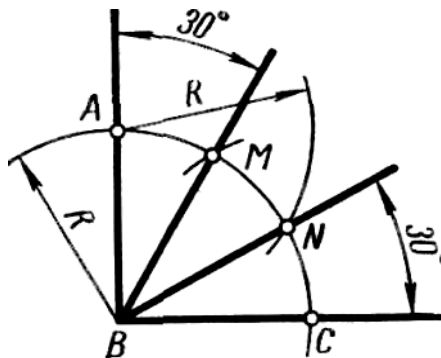


Рисунок 2.17

## 2.4 ДЕЛЕНИЕ ОКРУЖНОСТИ НА РАВНЫЕ ЧАСТИ, ПОСТРОЕНИЕ ПРАВИЛЬНЫХ МНОГОУГОЛЬНИКОВ

### 2.4.1 Деление окружности на равные части и построение правильных вписанных многоугольников

#### *Определение центра дуги окружности.*

Для определения центра дуги окружности на этой дуге выбрать три произвольные точки  $A$ ,  $B$  и  $C$  (рисунок 2.18) и построить хорды  $AB$  и  $AC$ . Через середины полученных хорд провести перпендикуляры. Точка  $O$  пересечения перпендикуляров является центром дуги окружности.

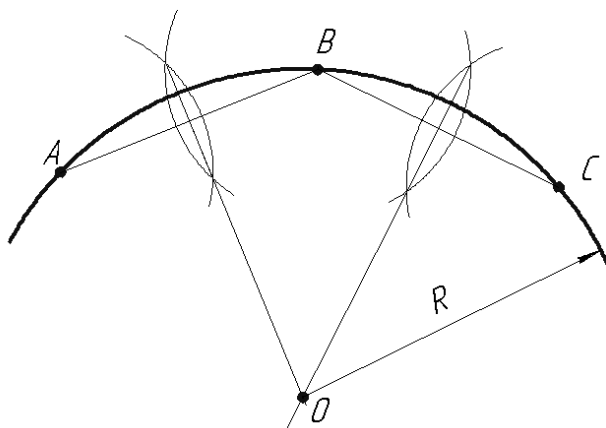


Рисунок 2.18

#### *Деление окружности на 3, 6, 12 равных частей.*

Вершины вписанных в окружность равносторонних треугольника, шестиугольника и 12-угольника можно построить с помощью циркуля.

#### **Построение вписанного в окружность равностороннего треугольника.**

Для построения равностороннего треугольника (рисунок 2.19, а) наметить на окружности вершину — точку  $1$  и провести дугу радиусом  $R$ , равным радиусу заданной окружности. Полученные при пересечении дуги и окружности точки  $2$  и  $3$  будут двумя другими вершинами искомого треугольника.

#### **Построение вписанного в окружность правильного шестиугольника.**

Для деления окружности на шесть равных частей (рисунок 2.19, б) надо из точек  $1$  и  $4$  пересечения центральных линий с окружностью провести дуги радиусом  $R$ , равным радиусу окружности. При пересечении дуг и окружности получим дополнительные точки  $2, 3, 5, 6$ . Соединив полученные точки отрезками прямых, получим правильный шестиугольник.

#### **Построение вписанного в окружность правильного двенадцатиугольника.**



Для деления окружности на двенадцать равных частей (рисунок 2.19, в) надо из точек **1**, **4**, **7** и **10** пересечения центральных линий с окружностью провести дуги радиусом **R**, равным радиусу окружности. При пересечении дуг и окружности получим дополнительные точки **2**, **3**, **5**, **6**, **8**, **9**, **11**, **12**. Соединив полученные точки отрезками прямых, получим правильный двенадцатиугольник.

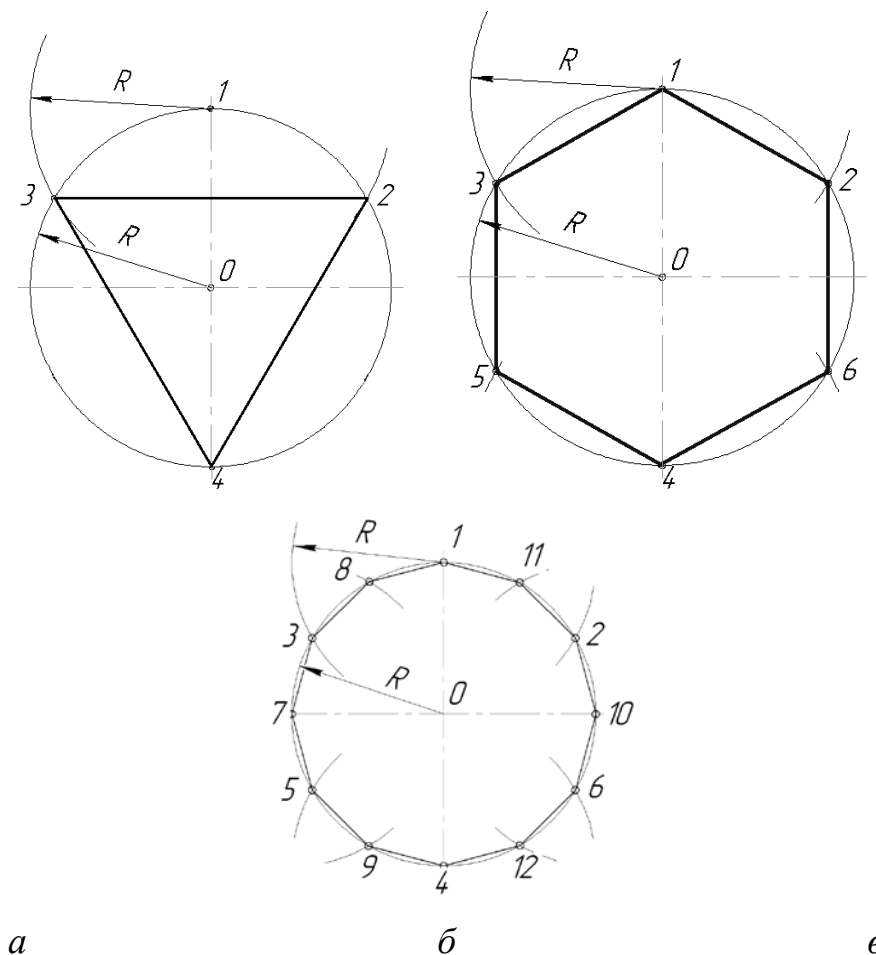


Рисунок 2.19

Построить правильные вписанные треугольник, шестиугольник и т. д. можно также с помощью линейки и угольника в **30°** и **60°**. На рисунке 2.20 приведено подобное построение для вписанного треугольника.

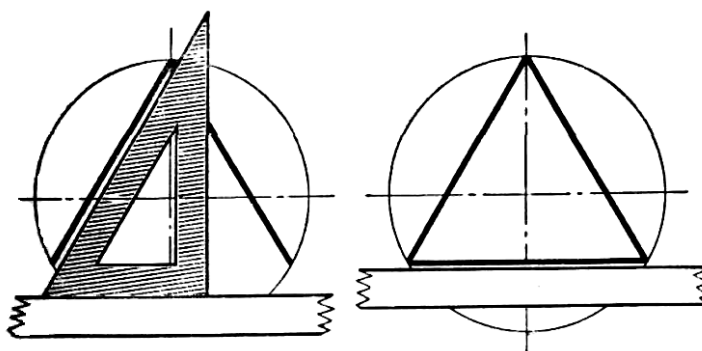


Рисунок 2.20

### Деление окружности на 4, 8 равных частей

Возможны 2 варианта расположения квадрата.

Первый показан на рисунке 2.21, а. В этом случае надо последовательно соединить точки, полученные при пересечении окружности с центровыми линиями.

При построении вписанного квадрата во втором случае (рисунке 2.21, б) мы делим окружность на 8 равных частей.

Наметить на концах двух взаимно перпендикулярных диаметров точки  $A$ ,  $B$  и  $C$  и из них радиусом, равным радиусу окружности, описать дуги до взаимного их пересечения.

Далее через точки пересечения дуг провести вспомогательные прямые, показанные тонкими сплошными линиями. Точки их пересечения с окружностью определяют вершины 1 и 3; 4 и 2. Полученные таким образом вершины искомого квадрата соединить последовательно между собою.

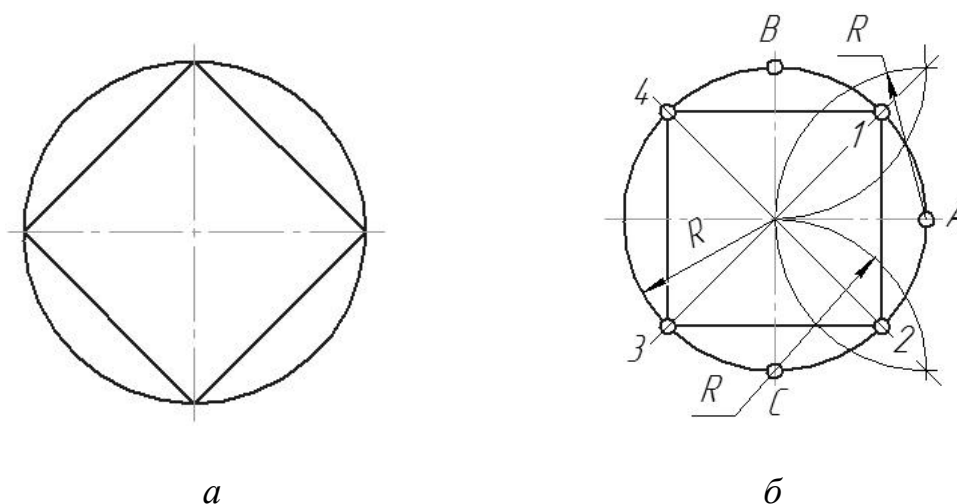


Рисунок 2.21

Если соединить точки  $A$  и 1 (или  $B$  и 1), то получим сторону вписанного 8-угольника.

### Деление окружности на 5 равных частей

Пример построения правильного пятиугольника, вписанного в окружность, показан на рисунке 2.22. Из точки  $D$  – середины радиуса окружности, как из центра, дугой радиусом  $DM$  сделать засечку на диаметре (получаем точку  $N$ ). Отрезок  $MN$  равен длине стороны вписанного правильного пятиугольника.

### Деление окружности на 7 равных частей

Пример построения правильного семиугольника, вписанного в окружность, показан на рисунке 2.23. Точка  $D$  – середина радиуса окружности. Из точки  $A$  радиусом  $R_0$ , равным расстоянию  $BD$ , поделить окружность на семь равных частей.



пересечении этих лучей с заданной окружностью образуются точки, которые разделят ее на необходимое количество равных частей.

При построении необходимо учитывать, что такой способ деления окружности на равные части требует особенно большой точности выполнения всех операций.

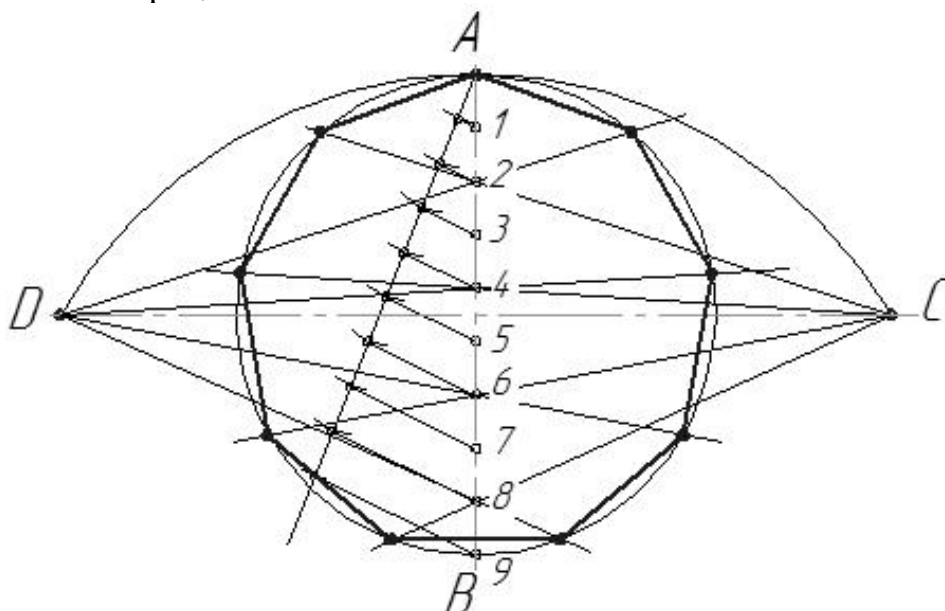


Рисунок 2.25

#### 2.4.2 Построение правильных многоугольников по данной стороне

*Построение квадрата по данной его стороне  $L$*  (рисунок 2.26).

На произвольной прямой откладывают отрезок  $AB$ , равный стороне квадрата  $L$ . Из любого конца отрезка, например из точки  $A$ , восстанавливают перпендикуляр и на нем откладывают отрезок  $AD = L$ . Затем из точек  $B$  и  $D$  как из центров проводят дуги радиусом  $R = L$  и на пересечении их отмечают точку  $C$ . Соединив прямыми точку  $C$  с точками  $B$  и  $D$ , получают квадрат с заданной стороной  $L$ .

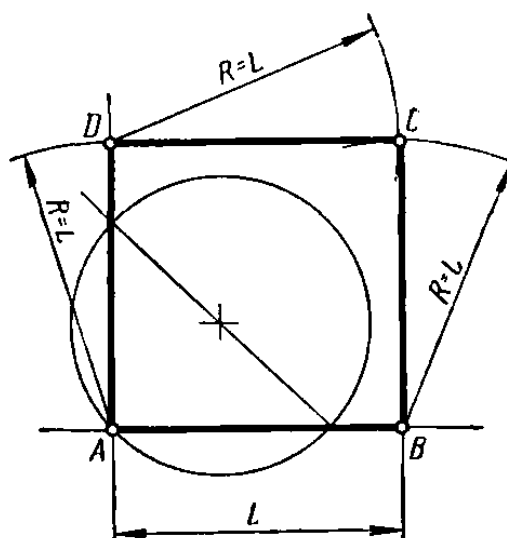


Рисунок 2.26

**Построение правильного шестиугольника по данной его стороне  $L$**  (рисунок 2.27). Известно, что сторона правильного шестиугольника равна радиусу окружности, описанной вокруг него. Поэтому, построив на произвольной прямой отрезок  $AB=L$  (рисунок 2.27, а), из концов его как из центров проводят две дуги радиусом  $R=L$  до взаимного пересечения их в точке  $O$ . Приняв точку  $O$  за центр, проводят окружность тем же радиусом  $R=L$  и делят ее на шесть равных частей. Точки деления являются вершинами правильного шестиугольника со стороной  $L$  (рисунок 2.27, б).

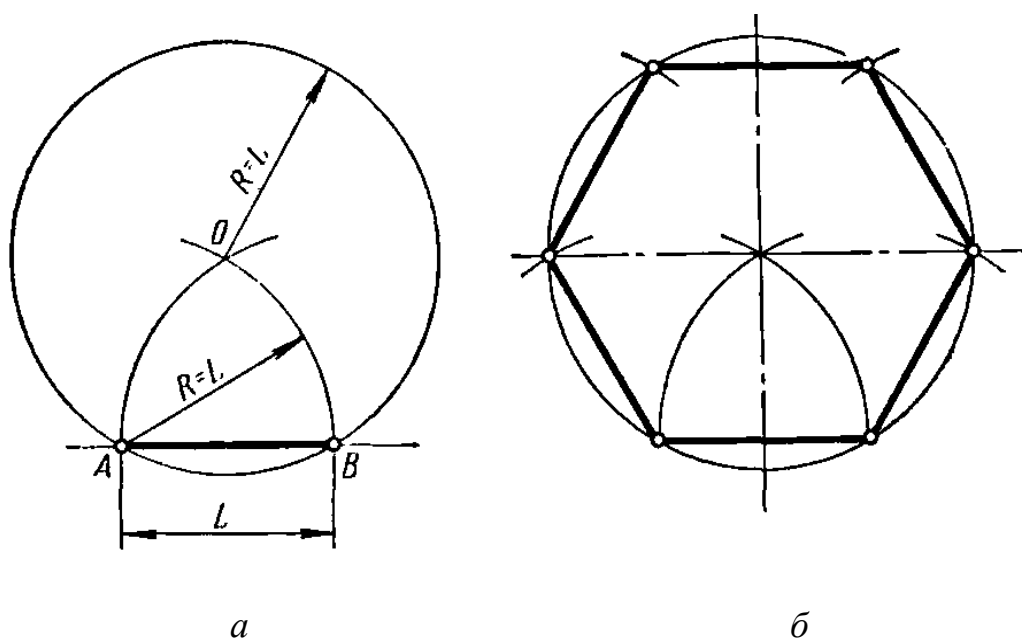


Рисунок 2.27

Построение правильного шестиугольника с помощью линейки и угольника с углами  $60^\circ$  и  $30^\circ$  показано на рисунке 2.28.

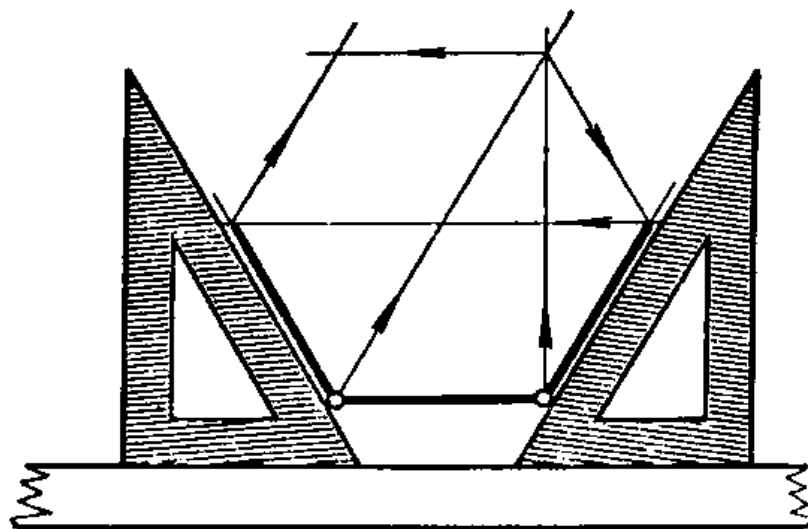


Рисунок 2.28

**Приближенный способ построения правильных многоугольников данной стороне  $AB$**  (рисунок 2.29). Изложенный ниже способ заключается в том, что правильный многоугольник строят как вписанный в окружность. Из концов отрезка  $AB$  радиусом, равным этому отрезку, проводят две дуги до взаимного пересечения их в точках  $O$  и  $O_6$ .

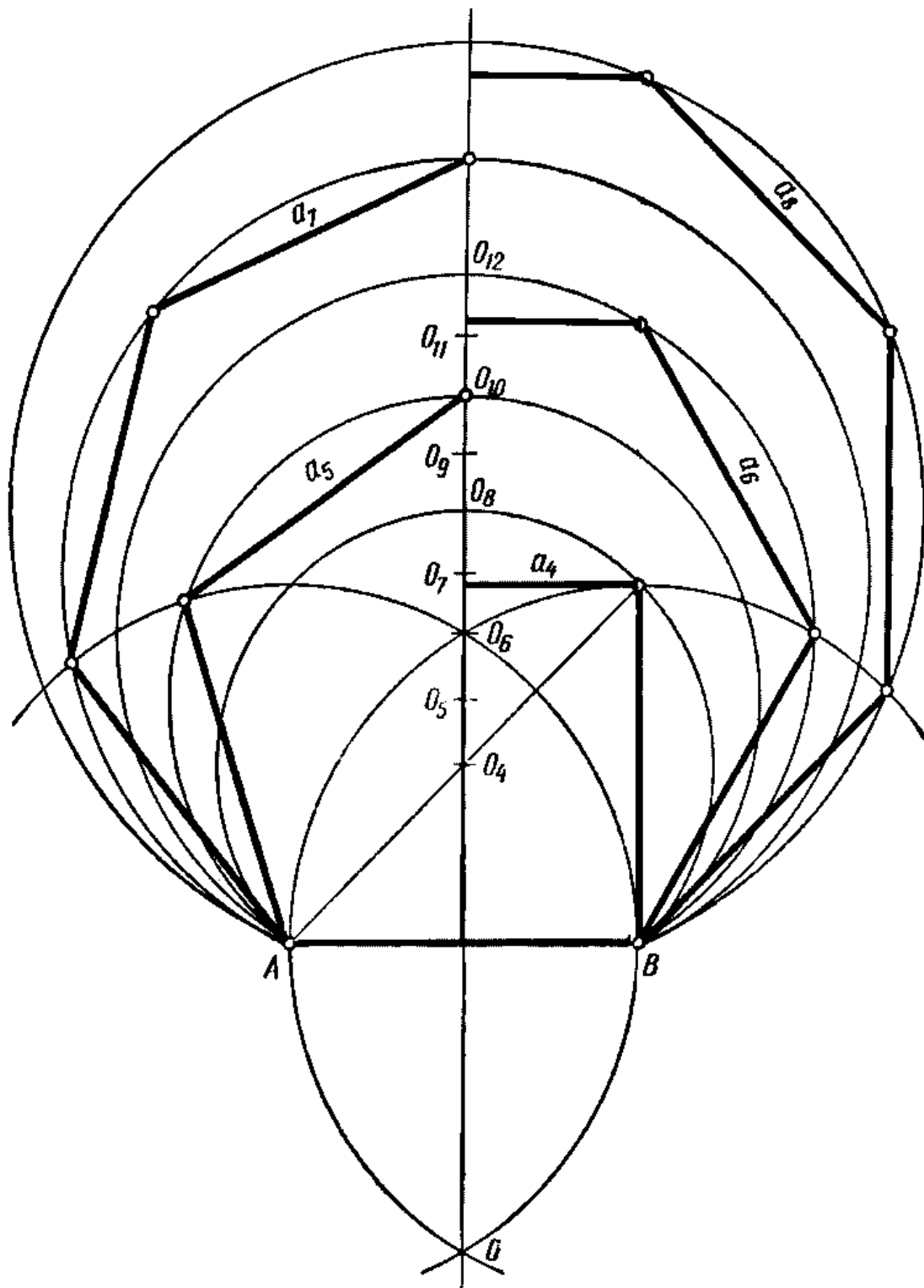


Рисунок 2.29

Из точек  $A$  и  $B$  к отрезку  $AB$  восстанавливают перпендикуляры, и на пересечении их с проведенными дугами получают две вершины квадрата (на рисунке 2.29 отмечена одна из них). Центр  $O_4$  окружности, описанной около квадрата, расположен в точке пересечения диагонали квадрата с вертикальной прямой  $OO_6$ . Для построения вписанного пятиугольника отрезок  $O_4O_6$  делят пополам в точке  $O_5$  и из нее как из центра описывают окружность радиусом, равным отрезку  $O_5A$ . Сторона  $AB$  пять раз уложится на этой окружности. Центры окружностей, в которые сторона  $AB$  укладывается 8, 10, 12 и т. д. раз, расположены в точках пересечения прямой  $OO_6$  с окружностями соответственно радиусов  $O_4A$ ,  $O_5A$ ,  $O_6A$  и т. д. Разделив пополам отрезки  $O_6O_8$ ,  $O_8O_{10}$ ,  $O_{10}O_{12}$  и т. д., получают точки  $O_7, O_9, O_{11}$  и т. д., являющиеся центрами окружностей, в которые сторона  $AB$  укладывается 7, 9, 11 и т. д. раз. Радиусы этих окружностей равны  $O_7A$ ,  $O_9A$ ,  $O_{11}A$  и т. д.

### 2.4.3 Построение правильных многоугольников, описанных около окружности

*Правильный описанный треугольник строят следующим образом* (рисунк 2.30). Из центра заданной окружности радиуса  $R_1$  проводят окружность радиусом  $R_2 = 2R_1$  и делят ее на три равные части. Точки деления  $A, B, C$  являются вершинами правильного треугольника, описанного около окружности радиуса  $R_1$ .

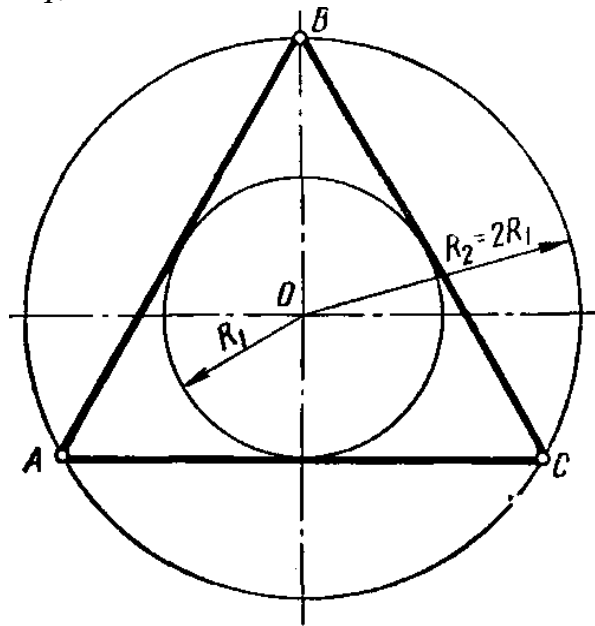


Рисунок 2.30

*Правильный описанный четырехугольник (квадрат) можно построить с помощью циркуля и линейки* (рисунк 2.31). В заданной окружности проводят два взаимно перпендикулярных диаметра. Приняв точки пересечения диаметров с окружностью за центры, радиусом окружности  $R$  описывают дуги до взаимного их пересечения в точках  $A, B, C, D$ . Точки  $A, B, C, D$  и являются вершинами квадрата, описанного около данной окружности.

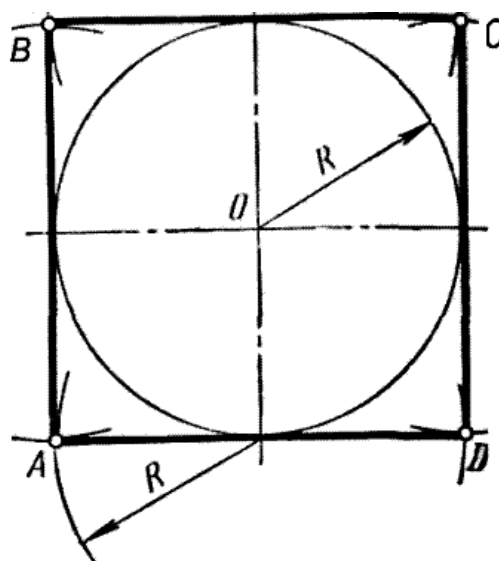


Рисунок 2.31

Для построения правильного описанного шестиугольника необходимо вначале построить вершины описанного квадрата указанным выше способом (рисунок 2.32, а). Одновременно с определением вершин квадрата заданную окружность радиуса  $R$  делят на шесть равных частей в точках 1, 2, 3, 4, 5, 6 и проводят вертикальные стороны квадрата. Проведя через точки деления окружности 2–5 и 3–6 прямые до пересечения их с вертикальными сторонами квадрата (рисунок 2.32, б), получают вершины  $A, B, D, E$  описанного правильного шестиугольника.

Остальные вершины  $C$  и  $F$  определяют с помощью дуги окружности радиуса  $OA$ , которая проводится до пересечения ее с продолжением вертикального диаметра заданной окружности.

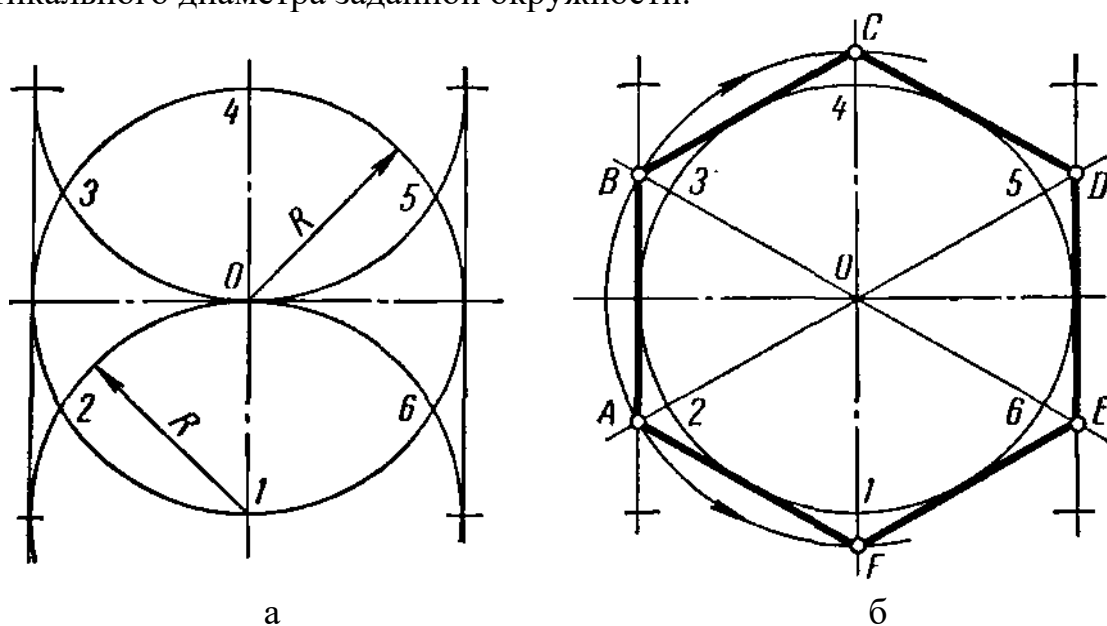


Рисунок 2.32



### 3 СОПРЯЖЕНИЯ

#### 3.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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

Плавный переход одной линии в другую называют *касанием линий*, а точку, в которой происходит касание, - *точкой касания* или *перехода* (рисунок 3.1). Например, две дуги радиусами  $R_1$  и  $R_2$ , касающимися между собой (рисунок 3.1, а), имеют общую точку касания  $A$ , лежащую на линии, соединяющей центры этих дуг – точки  $O_1$  и  $O_2$ . На рисунке 3.1, б изображена прямая, касающаяся дуги радиуса  $R$  и имеющая с ней общую точку касания  $B$ , расположенную на перпендикуляре, опущенном из центра дуги – точки  $O$  на прямую. Через любую точку касания можно провести *общую касательную*, которая будет перпендикулярна к радиусам дуг, проведенным в точку касания.

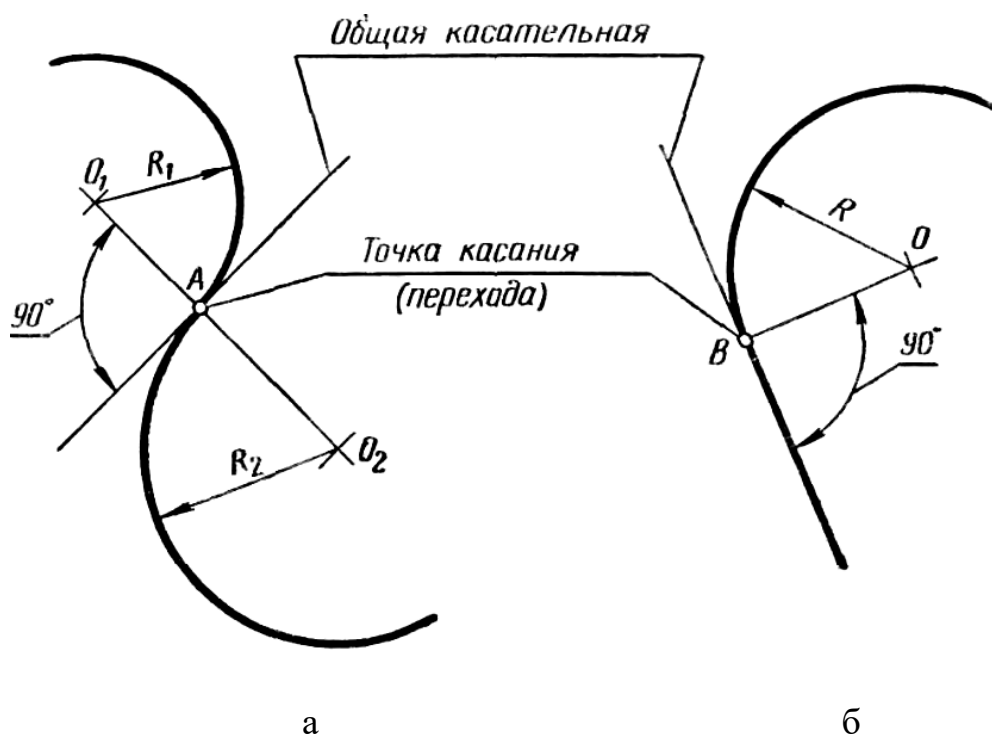


Рисунок 3.1

Плавный переход одной линии в другую при помощи промежуточной линии называют *сопряжением*. На рисунке 3.2 такой промежуточной линией является дуга  $AB$  радиусом  $R_c$ , с помощью которой осуществлен плавный переход (сопряжение) от прямой к дуге окружности радиусом  $R$ .

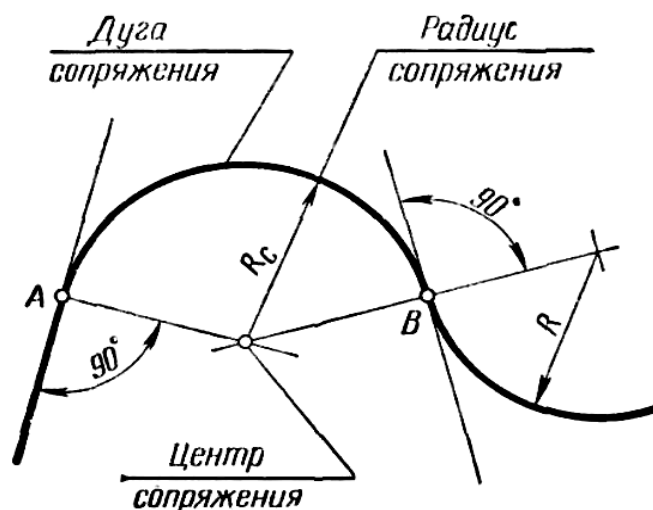


Рисунок 3.2

Чаще всего промежуточной линией является дуга окружности, называемая *дугой сопряжения*, или *сопрягающей дугой*. Радиус сопрягающей дуги носит название *радиуса сопряжения*, а центр дуги – *центра сопряжения*. Дуга сопряжения касается одновременно двух сопрягаемых линий. При сопряжении всегда имеются две точки перехода (на рисунке 3.2 точки *A* и *B*), и через каждую из них можно провести по одной общей касательной.

Таким образом, построение сопряжений основано на свойствах касательной к дуге окружности и касания двух дуг окружностей.

Последовательность выполнения сопряжения:

1. Определяем положение центра сопряжения;
2. Находим точки сопряжения;
3. Строим дуги сопряжения, соединяя точки сопряжения заданным радиусом сопряжения.

## 3.2 ПОСТРОЕНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ И КАСАНИЕ ОКРУЖНОСТЕЙ

### 3.2.1 Построение касательной к окружности

Подобное построение основано на том, что касательная перпендикулярна к радиусу окружности, проведенному в точку касания.

**Построение касательной к окружности в заданной на ней точке *A*** (рисунок 3.3). Через точку *A* и центр окружности *O* проводят прямую и в точке *A* восстанавливают перпендикуляр к радиусу *OA*. Проведенный перпендикуляр *MN* и является искомой касательной.

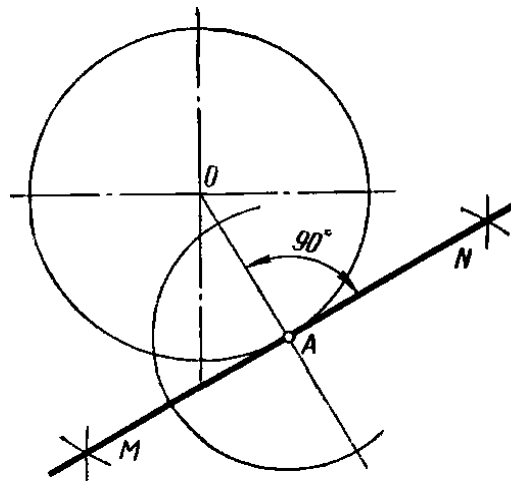


Рисунок 3.3

**Построение касательной к окружности, если точка  $A$  задана вне окружности** (рисунок 3.4). Центр окружности  $O$  и точку  $A$  соединяют прямой. Отрезок  $OA$  принимают за диаметр вспомогательной окружности. Разделив отрезок  $OA$  пополам, получают точку  $O_1$  и из нее как из центра описывают вспомогательную окружность радиусом  $O_1A$ . Вспомогательная окружность пересекает заданную в точках  $B$  и  $C$ . Прямая, проведенная через точки  $A$  и  $B$ , будет касательной к окружности, так как угол  $ABO$  прямой как вписанный в окружность и опирающийся на ее диаметр. Прямая  $AC$  является второй касательной к заданной окружности.

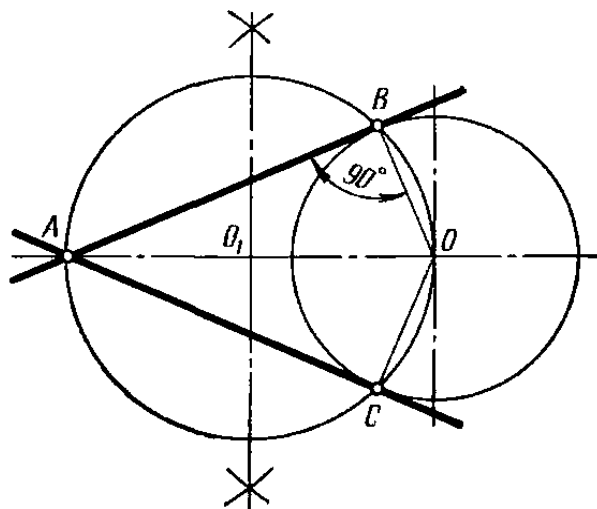


Рисунок 3.4

### 3.2.2 Касание окружностей

Различают два вида касания окружностей – внешнее и внутреннее. При **внешнем касании** окружностей радиусами  $R$  и  $r$  (рисунок 3.5, а) центры окружностей  $O_1$  и  $O_2$  располагаются по разные стороны от общей касательной  $MN$ , проведенной через точку касания  $A$ , а расстояние между ними равно сумме радиусов  $R + r$ . Точка касания  $A$  лежит на прямой, соединяющей центры касающихся окружностей.

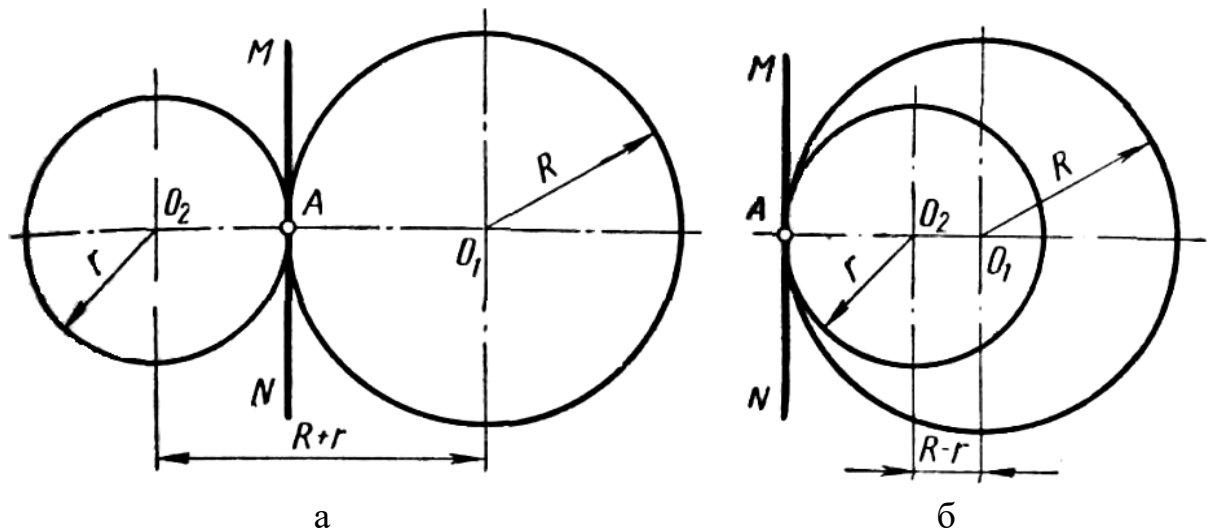


Рисунок 3.5

**Внутреннее касание** окружностей (рисунок 3.5, б) характеризуется тем, что центры касающихся окружностей  $O_1$  и  $O_2$  располагаются по одну сторону от общей касательной  $MN$ , проведенной через точку касания  $A$ , а расстояние между центрами касающихся окружностей равно разности радиусов  $R - r$ . Точка касания  $A$  окружностей в этом случае расположена на продолжении прямой, соединяющей их центры.

**Построение окружности радиусом  $r$ , касающейся окружности радиусом  $R$  в данной на ней точке  $A$ .** На рисунке 3.6 показано построение внутреннего касания окружностей. Точку  $A$  и центр  $O_1$  заданной окружности соединяют прямой. Радиусом  $R - r$  из центра  $O_1$  проводят дугу до пересечения ее с прямой  $O_1A$  в точке  $O_2$ . Точка  $O_2$  является искомым центром окружности радиуса  $r$ .

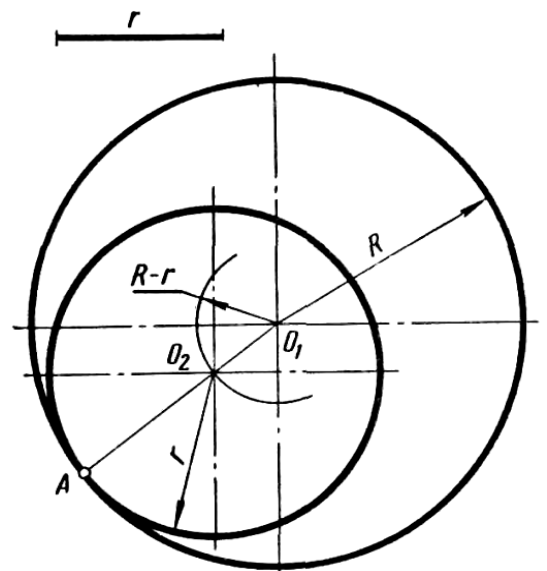


Рисунок 3.6

### 3.2.3 Построение касательных к двум окружностям

При вычерчивании контуров предметов сравнительно часто приходится строить общие касательные к двум дугам окружностей. Общая касательная к двум окружностям может быть внешней, если обе окружности расположены с одной стороны от нее, и внутренней, если окружности расположены с разных сторон касательной.

**Построение общей внешней касательной к двум окружностям радиусами  $R_1$  и  $R_2$**  (рисунок 3.7).

*Алгоритм построения:*

- 1) Из центра окружности большего радиуса проводят окружность радиусом равным  $R_1 - R_2$  (рисунок 3.7, б);
- 2) Через середину отрезка между центрами заданных окружностей проводят окружность радиусом, равным половине отрезка между этими окружностями (рисунок 3.7, в и г);
- 3) Находят точки  $A$  и  $B$  – точки пересечения двух построенных окружностей (рисунок 3.7, г);
- 4) Через центр заданной большей окружности и точки  $A$  и  $B$  проводят прямые до пересечения с окружностью большего радиуса. Получают точки  $C$  и  $D$  (рисунок 3.7, д);
- 5) Из центра меньшей окружности проводят прямые, параллельные прямым, построенным в пункте 4, получают точки  $E$  и  $F$  (рисунок 3.7, д);
- 6) Точки  $C, E$  и точки  $D, F$  соединяют прямыми. Они расположены касательно к заданным окружностям (рисунок 3.7, е).
- 7) Результат построения приведен на рис.3.10, ж.

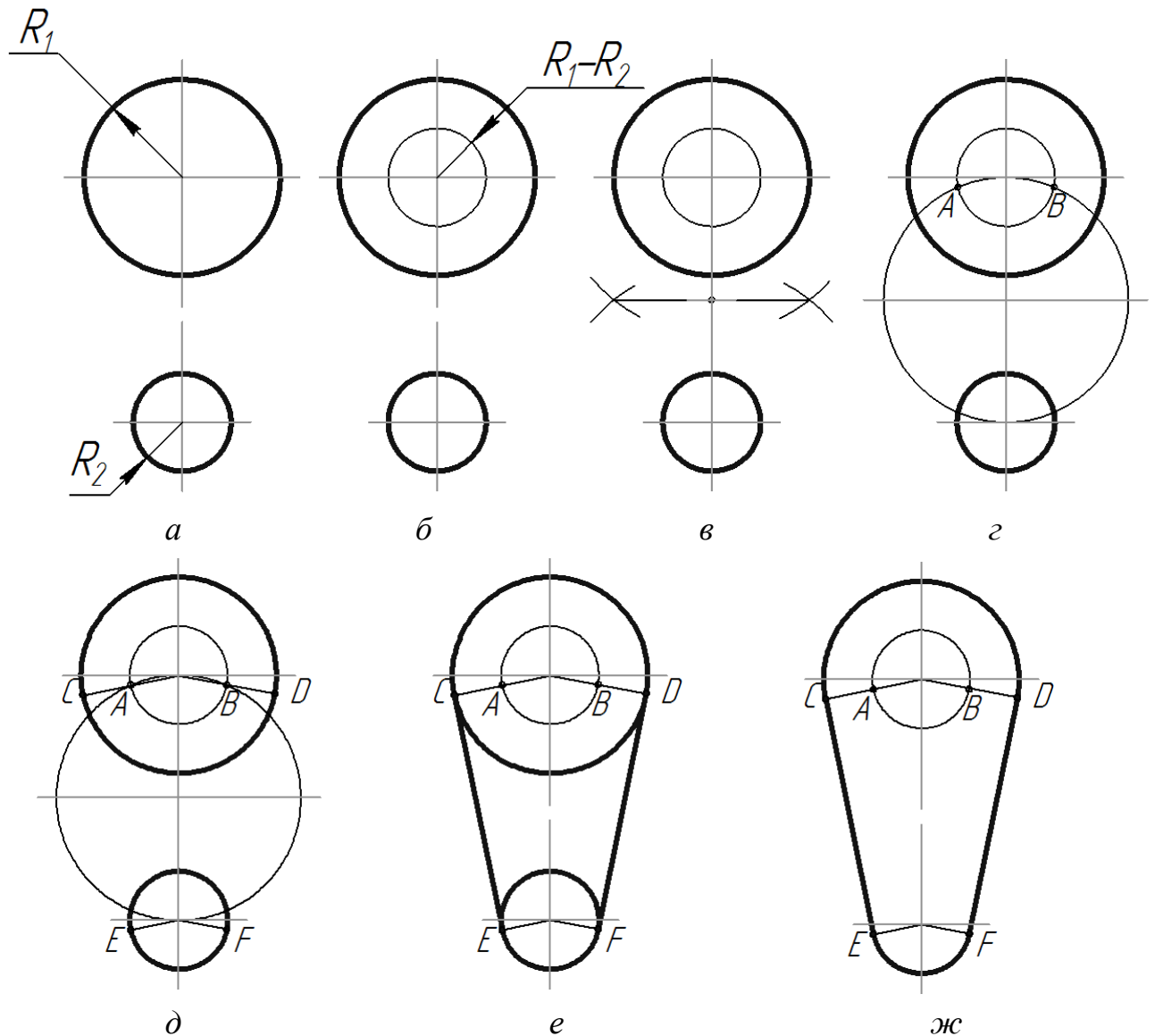


Рисунок 3.7

**Построение общей внутренней касательной к двум окружностям радиусов  $R$  и  $r$**  (рисунок 3.8). Из центра любой окружности, например: точки  $O_1$ , описывают окружность радиусом  $R + r$  (рисунок 3.8, а). Разделив отрезок  $O_2O_1$  пополам, получают точку  $O_3$ . Из точки  $O_3$  как из центра описывают вторую вспомогательную окружность радиусом  $O_3O_2 = O_3O_1$  и отмечают точки  $A$  и  $B$  пересечения вспомогательных окружностей. Соединив прямой точки  $A$  и  $O_1$  (рисунок 3.8, б), в пересечении ее с окружностью радиуса  $R$  получают точку касания  $D$ . Через центр окружности радиуса  $r$  проводят прямую, параллельную прямой  $O_1D$ , и в пересечении ее с заданной окружностью определяют вторую точку касания  $C$ . Прямая  $CD$  – внутренняя касательная к заданным окружностям. Аналогично строится и вторая касательная  $EF$ .

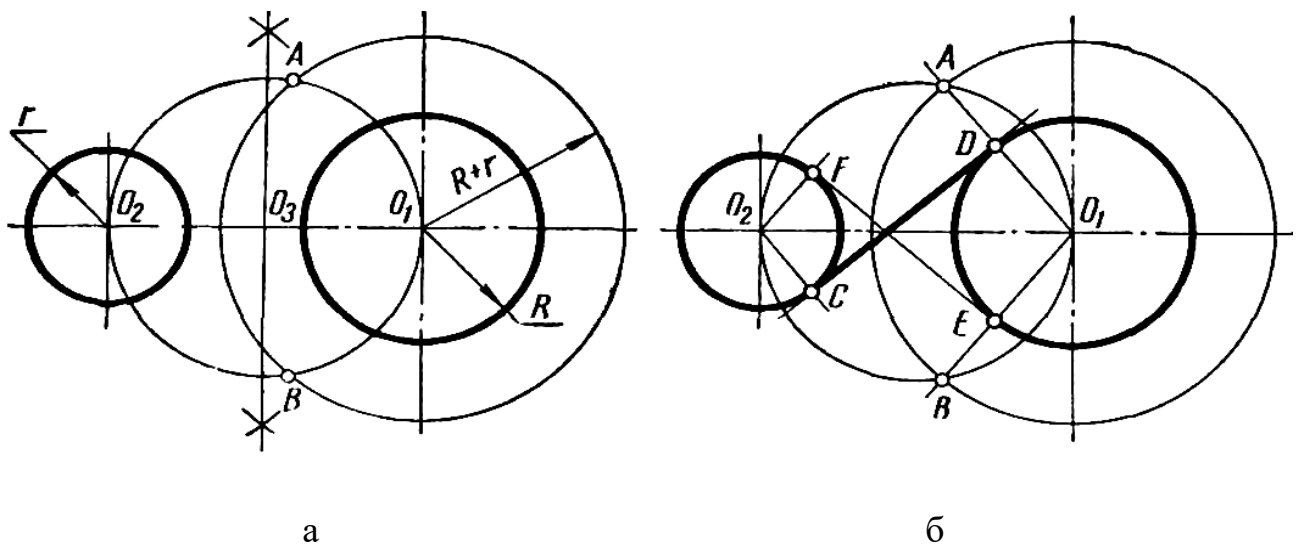


Рисунок 3.8

### 3.3 СОПРЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДУГИ ОКРУЖНОСТИ

#### 3.3.1 Сопряжение двух прямых дуг окружности

Все задачи на сопряжение дуг могут быть сведены к двум видам. Сопряжение осуществляется либо заданным радиусом сопрягающей дуги, либо через точку, заданную на одной из сопрягаемых линий. В том и другом случаях необходимо построить центр сопрягающей дуги.

**Сопряжение двух пересекающихся прямых дуг заданным радиусом  $R_c$**  (рисунок 3.9, а).

Так как сопрягающая дуга должна касаться заданных прямых, то центр ее должен быть удален от каждой прямой на величину равную радиусу  $R_c$ .

Находим центр сопряжения. Проводим две прямые, параллельные  $a$  и  $b$ , на расстоянии, равном радиусу  $R_c$ . Эти прямые являются геометрическим местом центров окружностей радиуса  $R_c$ , касательных к данным прямым (рисунок 3.9, б). Точка  $O$  пересечения вспомогательных прямых – центр дуги сопряжения.

Находим точки сопряжения. Проводим перпендикуляры из центра дуги сопряжения к заданным прямым, получаем точки сопряжения  $A$  и  $B$  (рисунок 3.9, в).

Строим дугу сопряжения. Радиусом  $R_c$  проводим дугу сопряжения между точками  $A$  и  $B$  (рисунок 3.9, г).

На рисунках 3.9, д и 3.9, е показаны законченные построения сопряжения.

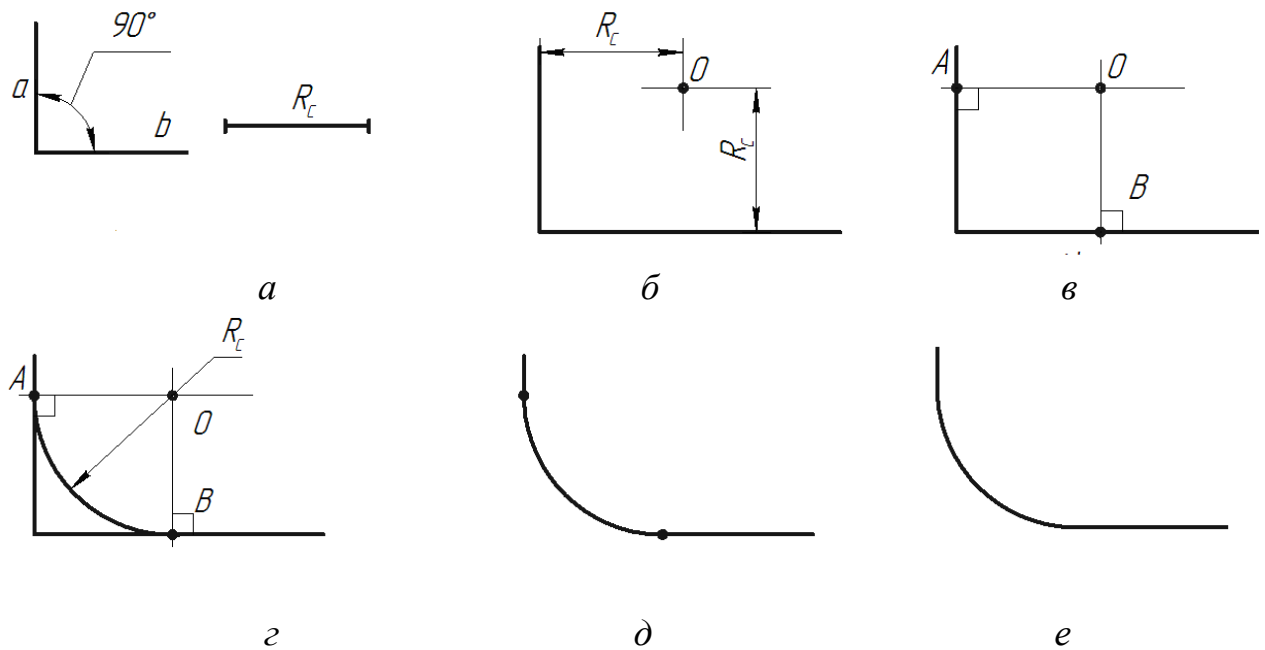


Рисунок 3.9

Такое построение сопряжения справедливо для двух пересекающихся прямых, составляющих любой угол (рисунок 3.10). Для сопряжения сторон прямого угла также можно воспользоваться способом, указанным на рисунке 3.11.

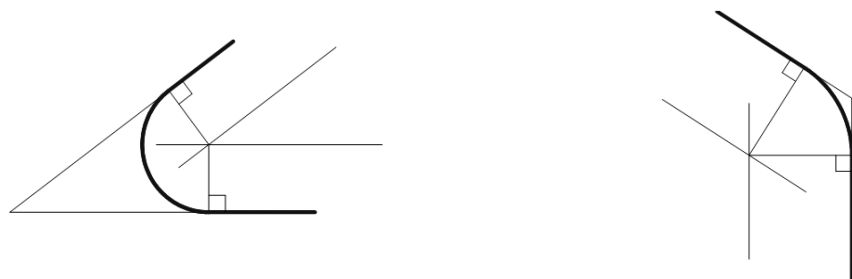


Рисунок 3.10

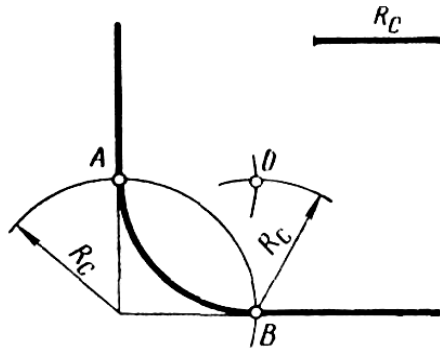


Рисунок 3.11

**Сопряжение двух пересекающихся прямых, на одной из которых задана точка касания  $A$  сопрягающей дуги** (рисунок 3.12). Известно, что геометрическим местом центров дуг, сопрягающих две пересекающиеся прямые, является биссектриса угла, образованного этими прямыми. Поэтому, построив биссектрису угла, из точки касания  $A$  восстанавливают перпендикуляр к прямой до пересечения его с биссектрисой и отмечают точку  $O$  – центр сопрягающей дуги. Опустив из точки  $O$  перпендикуляр на другую прямую, получают вторую точку касания  $B$  и радиусом  $R_c = OA = OB$  осуществляют сопряжение двух прямых, на одной из которых была задана точка касания.

**Сопряжение двух параллельных прямых дугой, проходящей через заданную точку касания  $A$**  (рисунок 3.13). Из точки  $A$  восстанавливают перпендикуляр к заданным прямым и на пересечении его со второй прямой отмечают точку  $B$ . Отрезок  $AB$  делят пополам и получают точку  $O$  – центр сопрягающей дуги радиусом  $R_c = \frac{AB}{2}$ .

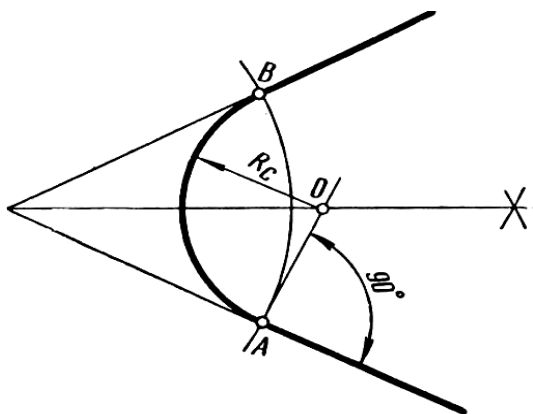


Рисунок 3.12

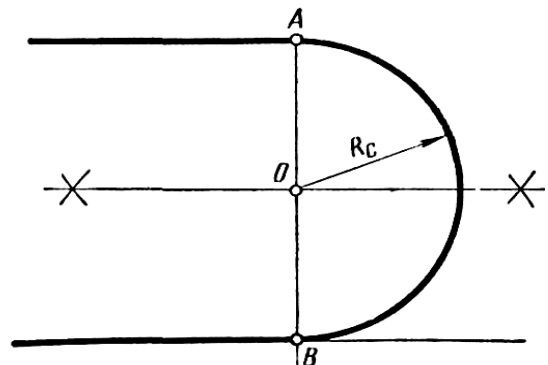


Рисунок 3.13

### 3.3.2 Сопряжение дуги и прямой дугой окружности заданного радиуса

Могут встретиться два случая такого сопряжения: внешнее касание сопрягающей дуги с заданной и внутреннее касание.



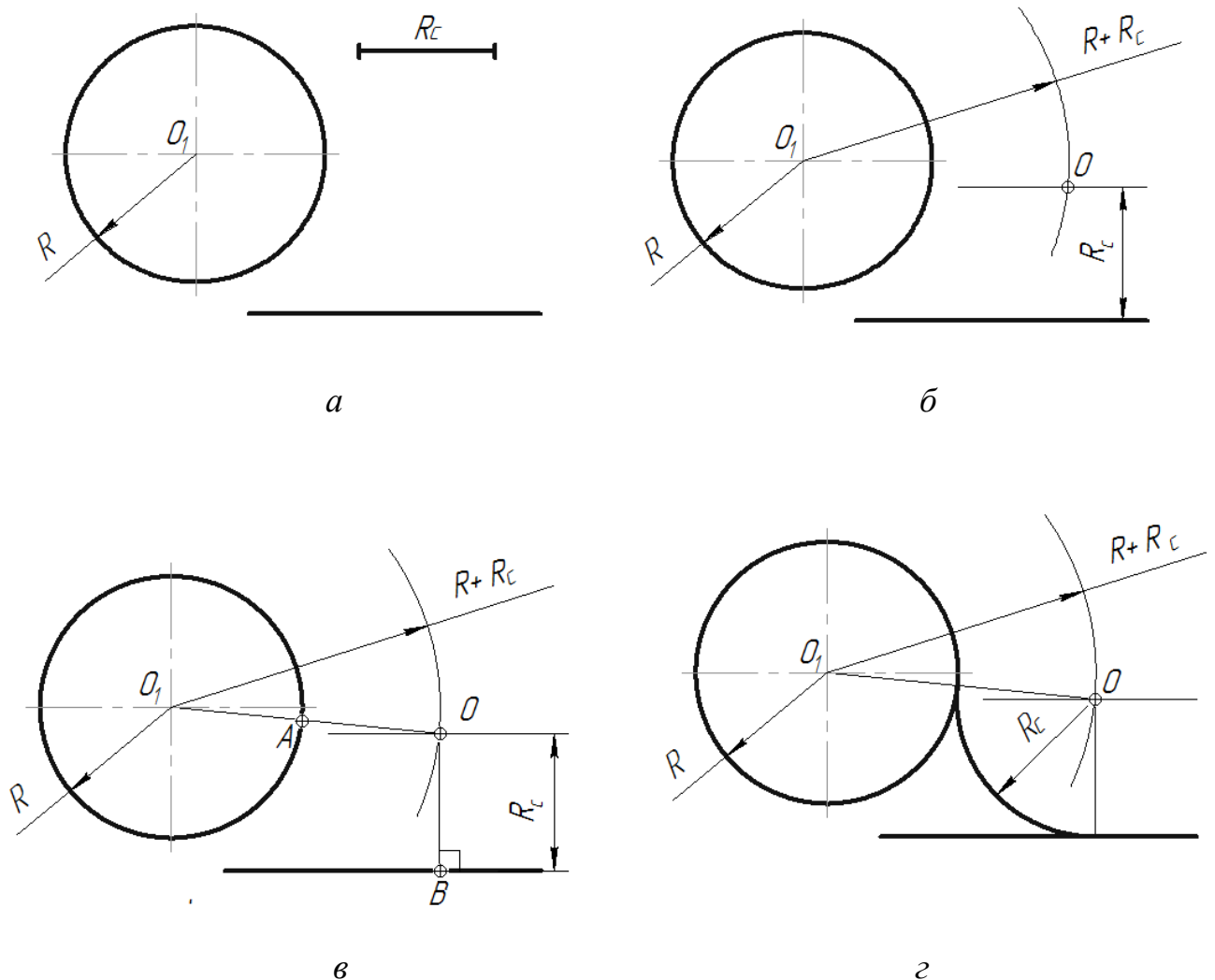
**Внешнее касание** (рисунок 3.14, а):*Алгоритм построения:*

1) Находят центр сопряжения. На расстоянии, равном радиусу сопряжения, определяют геометрические места точек, равноудаленных от заданных прямой и окружности (рисунок 3.14, б): из центра заданной дуги – точки  $O_1$  проводят вспомогательную дугу радиусом  $R + R_c$ . На расстоянии, равном радиусу  $R_c$  сопрягающей дуги, параллельно заданной прямой проводят прямую. Точка  $O$  пересечения вспомогательной дуги и прямой есть центр сопряжения.

2) Находят точки сопряжения  $A$  и  $B$  (рисунок 3.14, в). На пересечении прямой, соединяющей точки  $O$  и  $O_1$  с заданной дугой, отмечают точку касания  $A$ . Вторую точку касания  $B$  определяют как точку пересечения заданной прямой с перпендикуляром, опущенным на нее из точки  $O$ .

3) Строят дугу сопряжения: между точками сопряжения проводят сопрягающую дугу заданного радиуса  $R_c$  (рисунок 3.14, г).

Результат построения показан на рисунке 3.14, е.



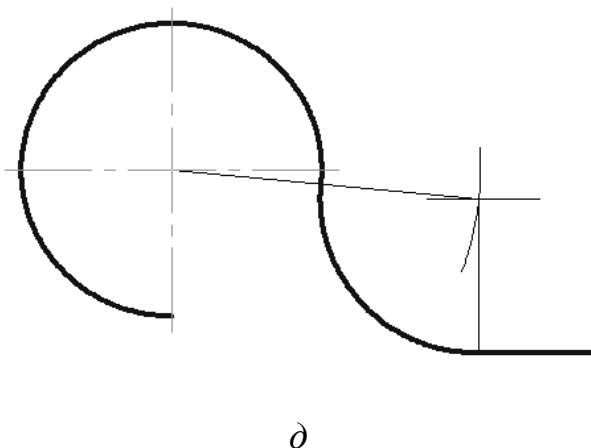


Рисунок 3.14

На рисунке 3.15 показано построение сопряжения между дугой окружности и прямой линии в случае, когда заданная окружность находится внутри сопрягающей дуги (*внутреннее касание*).

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

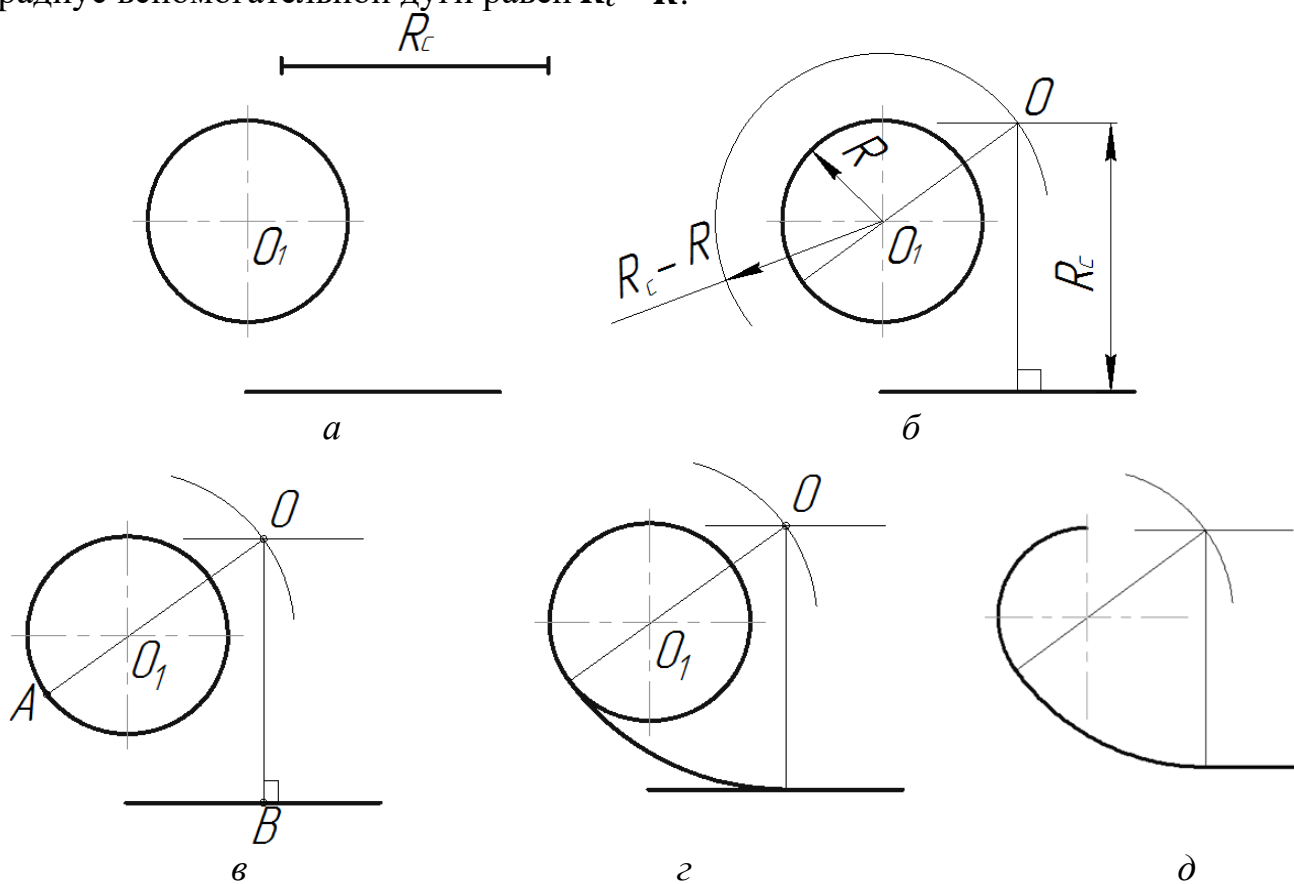


Рисунок 3.15

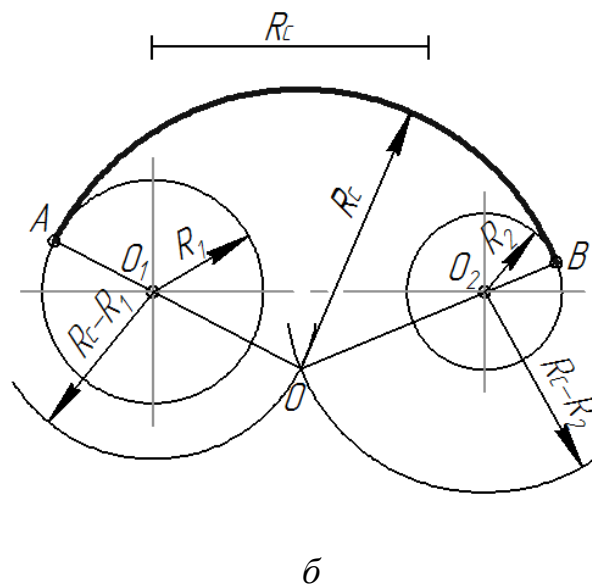
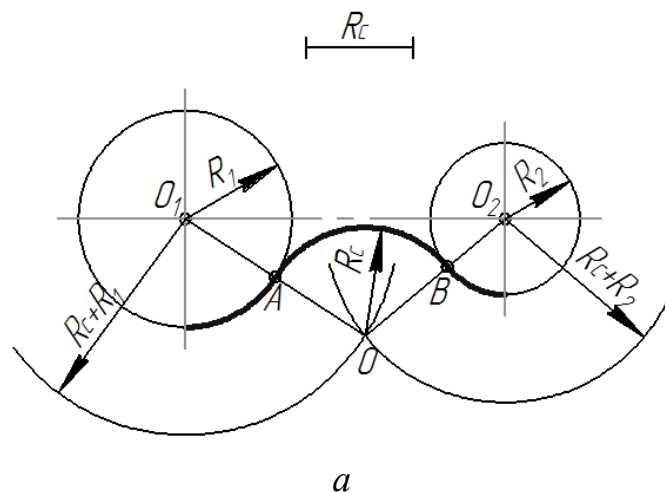
### 3.3.3 Сопряжение двух дуг дугой окружности заданного радиуса

Различают три вида такого сопряжения:

- 1) внешнее сопряжение при внешнем касании сопрягающей дуги с двумя заданными (рисунок 3.16, а);
- 2) внутреннее сопряжение при внутреннем касании сопрягающей дуги с двумя заданными (рисунок 3.16, б);
- 3) смешанное сопряжение при внешнем касании сопрягающей дуги с одной заданной и внутреннем касании с другой (рисунок 3.16, в).

*Параметры сопряжения:*

- 1)  $O_1, O_2$  – центры сопрягаемых дуг;
- 2)  $R_c$  – радиус сопряжения;
- 3)  $O$  – центр сопряжения;
- 4)  $OO_1, OO_2$  – прямые, соединяющие центр сопряжения с центрами сопрягаемых дуг;
- 5) Точки  $A$  и  $B$  – точки сопряжения.



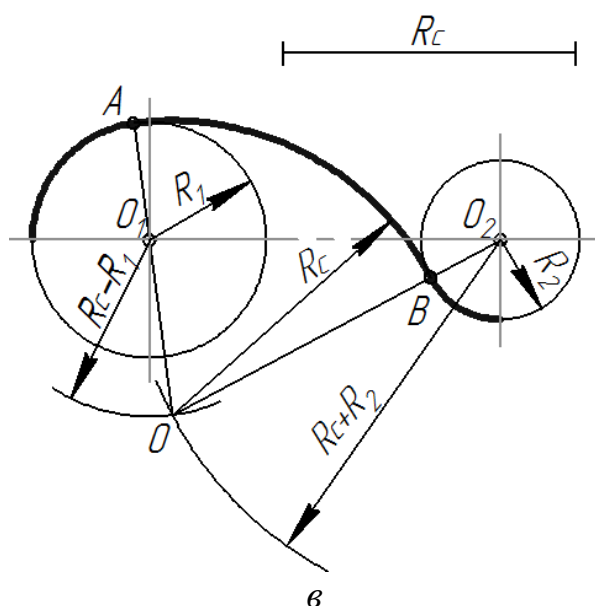
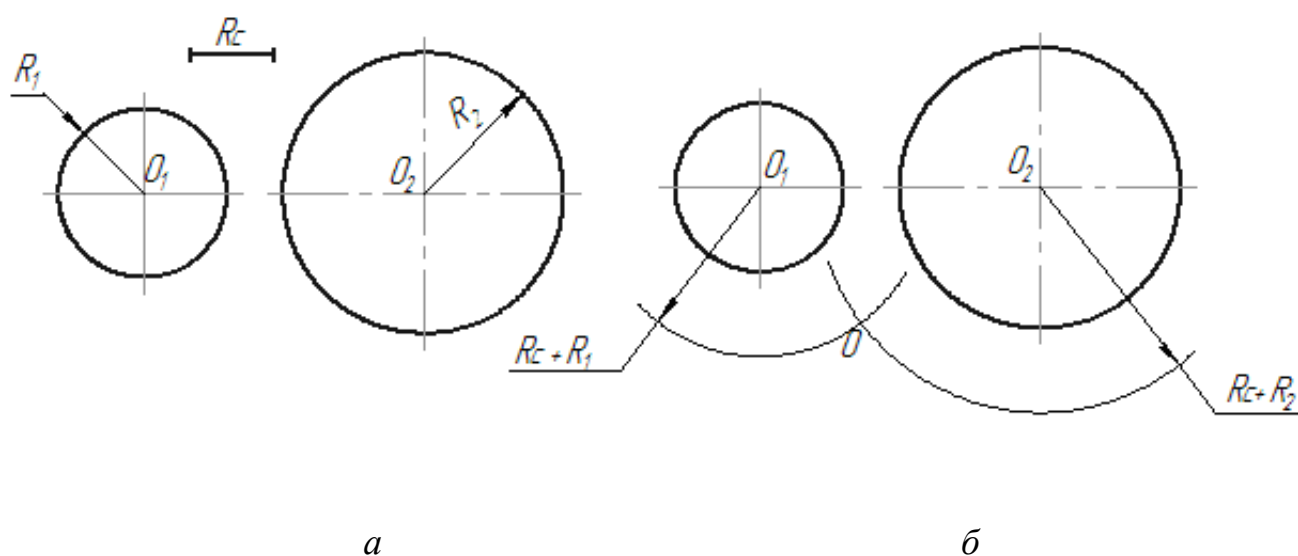


Рисунок 3.16

**Внешнее сопряжение** (рисунок 3.17).

*Алгоритм построения:*

- 1) Находят центр сопряжения  $O$  (рисунок 3.17, б). Для этого из  $O_1$  и  $O_2$  проводят дуги окружностей радиусами соответственно  $R_c + R_1$  и  $R_c + R_2$ .
- 2) Находят точки сопряжения  $A$  и  $B$  (рисунок 3.17, в): соединяют точку  $O$  с центрами  $O_1$  и  $O_2$ . На пересечении этих линий и сопрягаемых дуг отмечают точки  $A$  и  $B$ .
- 3) Строят дугу сопряжения, т.е. радиусом  $R_c$  соединяют точки  $A$  и  $B$  (рисунок 3.17, г).



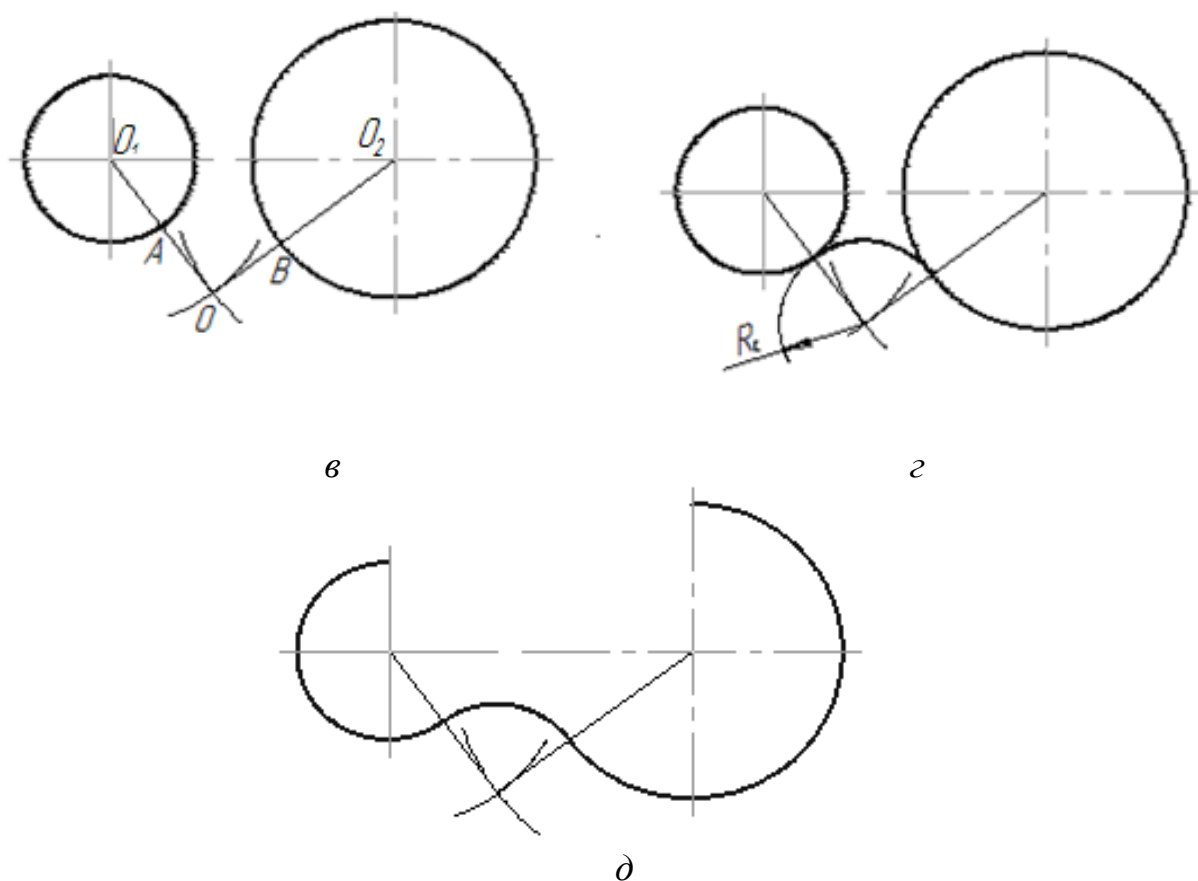


Рисунок 3.17

**Внутреннее сопряжение** (рисунок 3.18).

*Алгоритм построения:*

1) Находят центр сопряжения  $O$  (рисунок 3.18, б). Для этого из центров  $O_1$  и  $O_2$  проводят дуги окружностей радиусами соответственно  $R_c - R_1$ ,  $R_c - R_2$ .

2) Находят точки сопряжения  $A$  и  $B$  (рисунок 3.18, в): соединяют точку  $O$  с центрами  $O_1$  и  $O_2$  и продолжают линию до пересечения с заданными окружностями. Получаем  $OO_1A$ ,  $OO_2B$ .

3) Строят дугу сопряжения, т.е. радиусом  $R_c$  соединяют точки  $A$  и  $B$  (рисунок 3.18, г).

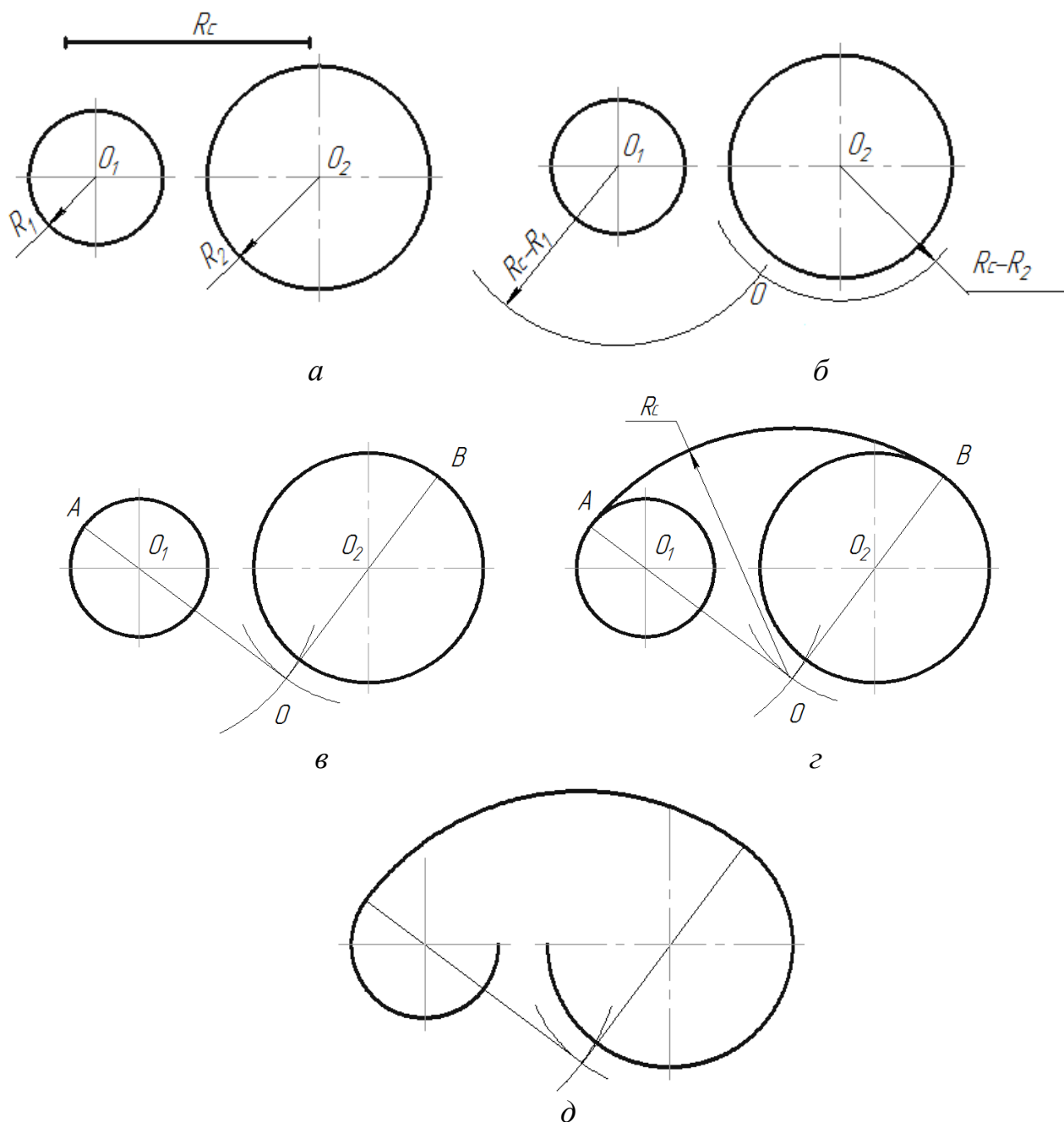


Рисунок 3.18

**Смешанное сопряжение** (рисунок 3.19).

*Алгоритм построения:*

- 1) Находят центр сопряжения  $O$  (рисунок 3.19, б). Для этого из центров  $O_1$  и  $O_2$  проводят дуги окружностей радиусами соответственно  $R_c + R$ ,  $R_c - R_2$ .
- 2) Находят точки сопряжения (рисунок 3.19, в): соединяют точку  $O$  с точками  $O_1$  и  $O_2$  и на пересечении с заданными окружностями получают точки  $A$  и  $B$ .

3) Строят дугу сопряжения, т.е. радиусом  $R_c$  соединяют точки  $A$  и  $B$  (рисунок 3.19, г).

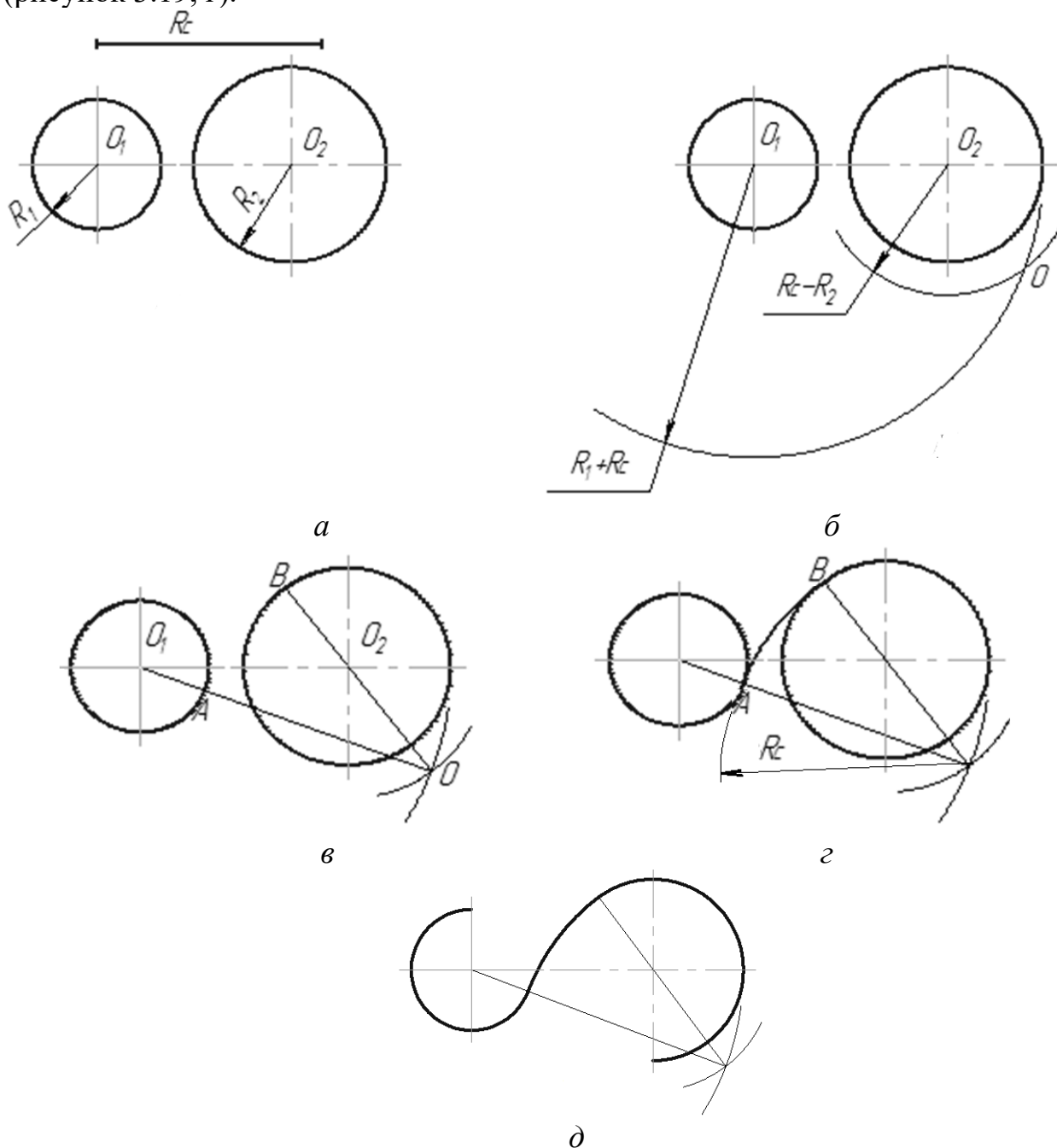


Рисунок 3.19

### 3.3.4 Вычерчивание контуров деталей

Последовательность вычерчивания контуров деталей в основном зависит от их формы. Поэтому можно указать только на некоторые общие положения, справедливые для всех случаев.

Перед вычерчиванием любого контура необходимо установить, из каких линий и их сочетаний он состоит, а также решить, какие геометрические построения следует выполнить при вычерчивании контура. Только после подобного анализа можно приступить к построению контура.

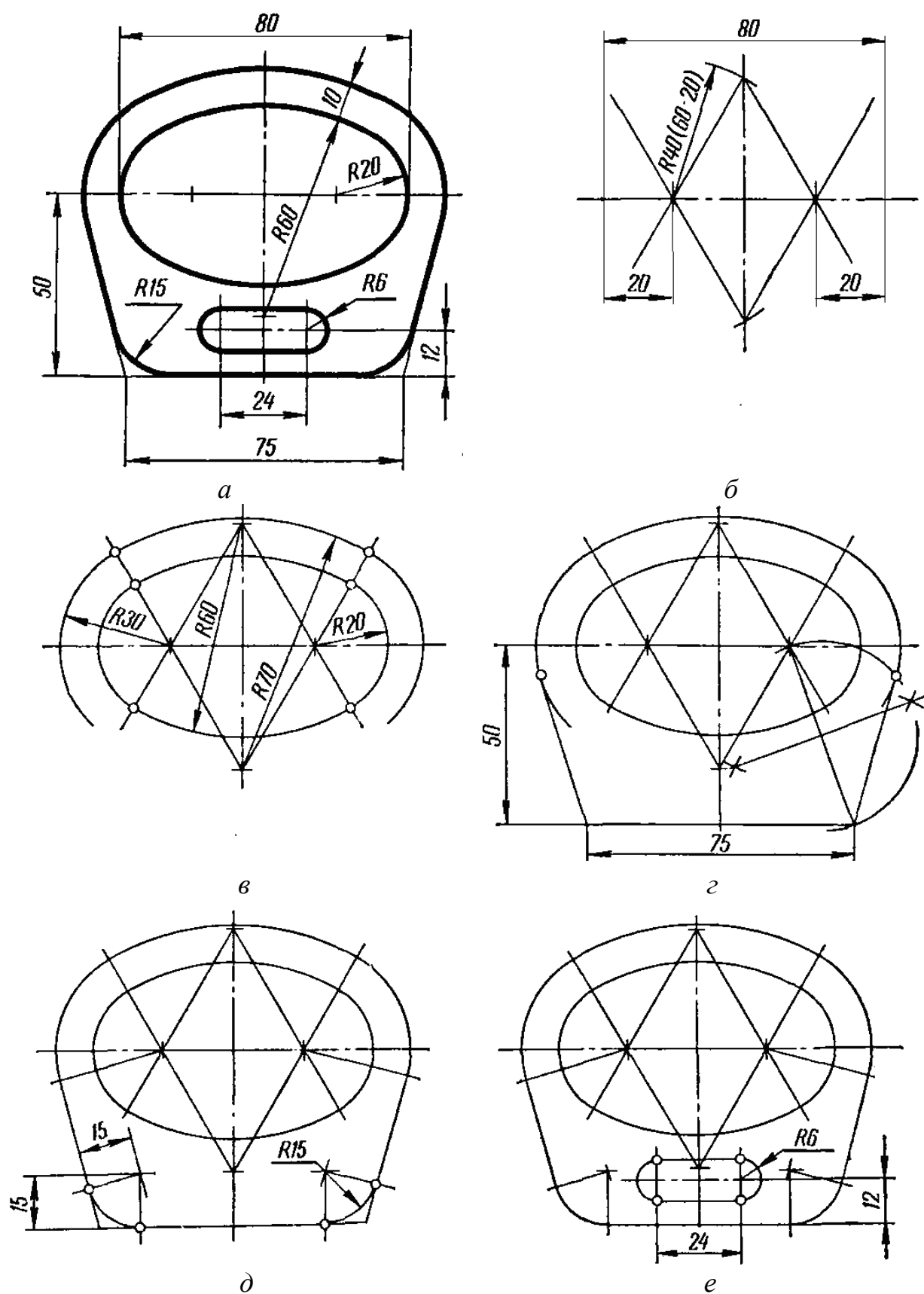


Рисунок 3.20

Последовательность вычерчивания контура проследим на примере контура скобы (рисунок 3.20, а). Вычерчивание начинают с проведения осей симметрии (вертикальная ось на рисунке 3.20, б), осевой (горизонтальная ось



на рисунке 3.20, б) и центровых линий контура. Затем проводят линии, связанные с горизонтальной осью (рисунок 3.20, в), и строят остальные основные линии контура (рисунок 3.20, г). Далее выполняют скругления углов (рисунок 3.20, д) и вычерчивают внутренние очертания, не связанные с другими линиями (прорезь, рисунок 3.20, е). Последними вычерчивают контуры, не содержащие элементов сопряжения. Заканчивают построение проведением выносных и размерных линий с простановкой размеров (рисунок 3.20, а).

#### 4. НАНЕСЕНИЕ РАЗМЕРОВ.

ГОСТ 2.307-2011 устанавливает правила нанесения размеров и предельных отклонений на чертежах и других технических документах на изделия всех отраслей промышленности и строительства.

Величину изображенного изделия и его элементов задают размерами, указываемыми на чертеже размерными числами и размерными линиями, используют при необходимости выносные линии (рисунок 4.1).

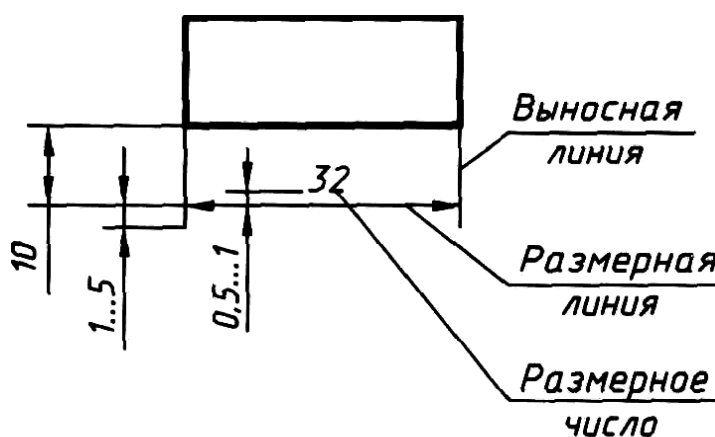


Рисунок 4.1

Выносные линии являются вспомогательными: ими фиксируют границы измерения, между ними проводят размерные линии. Выносные линии проводят от линий видимого контура, как правило, перпендикулярно измеряемому отрезку, располагая их по возможности вне контура изображения (рисунок 6.1.).

Выносные линии выполняют на чертеже сплошными тонкими линиями толщиной  $1/3 \dots 1/2$  от толщины контурной линии данного чертежа. Концы выносных линий, выходящие за стрелки, на всем чертеже должны быть одинаковыми и равными  $1 \dots 5$  мм (рисунок 4.1).

Допускается использовать на чертеже в качестве выносных осевые линии. Не рекомендуется проводить выносные линии от линий невидимого контура.

Размерную линию линейной величины следует проводить параллельно

прямолинейному отрезку предмета, размер которого указывается предпочтительно (рисунок 4.1, 4.2). При обозначении размера угла размерную линию проводят в виде дуги окружности с центром в вершине угла, выносными линиями служат стороны угла или их продолжение (рисунок 4.2, а).

Размерные линии можно проводить к линиям видимого контура, осевым, центровым и выносным линиям. Предпочтительнее помещать размерную линию между выносными линиями, а не между контурными, и располагать ее вне контура изображения. Следует по возможности избегать пересечений размерных линий с размерными и выносными линиями.

Размерные линии проводят на чертеже сплошными тонкими линиями толщиной  $1/2 \dots 1/3$  от толщины контурной линии данного чертежа.

Недопустимо использовать линии контура, осевые, центровые и выносные в качестве размерных. Исключением служит способ задания криволинейного контура (рисунок 4.2, б). Выносные и размерные линии, проходящие по заштрихованному полю чертежа, не должны совпадать с направлением линий штриховки.

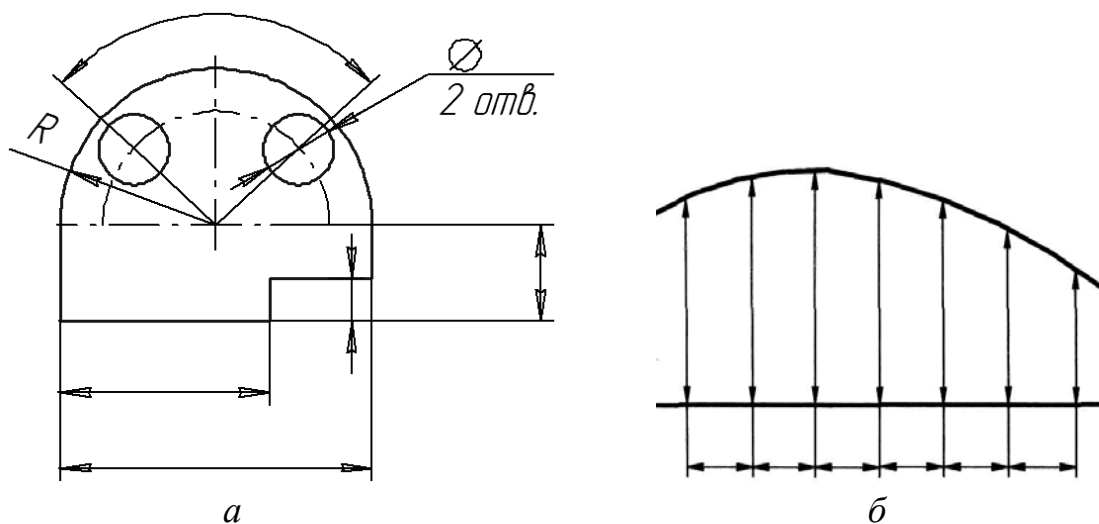


Рисунок 4.2

Самый малый размер располагают ближайшим к изображению на расстоянии как минимум 10 мм от контура изображения. Следующий, больший, размер наносят на расстоянии как минимум 7 мм от первого размера; в такой последовательности и на тех же расстояниях располагают все последующие размеры (рисунок 4.3, а). Размерные числа размещают при этом над размерными линиями в шахматном порядке (рисунок 4.3, б).

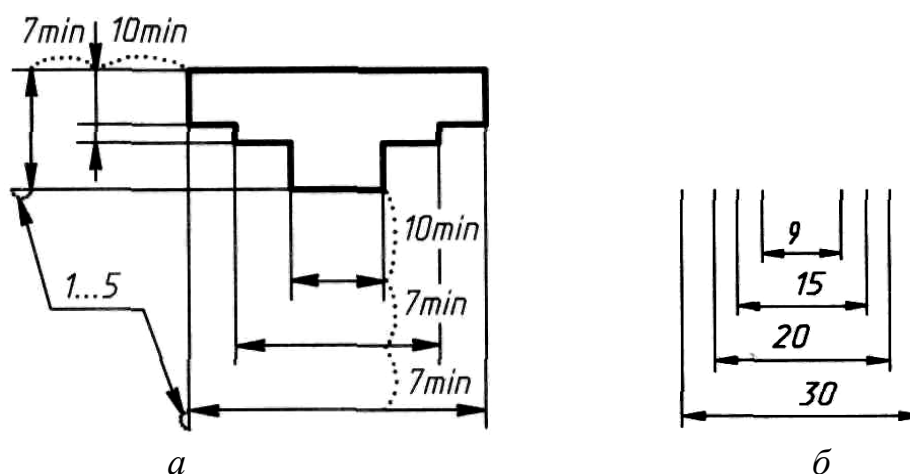


Рисунок 4.3

Если изображение объекта выполнено с разрывом, то размерную линию не прерывают (рисунок 6.4).

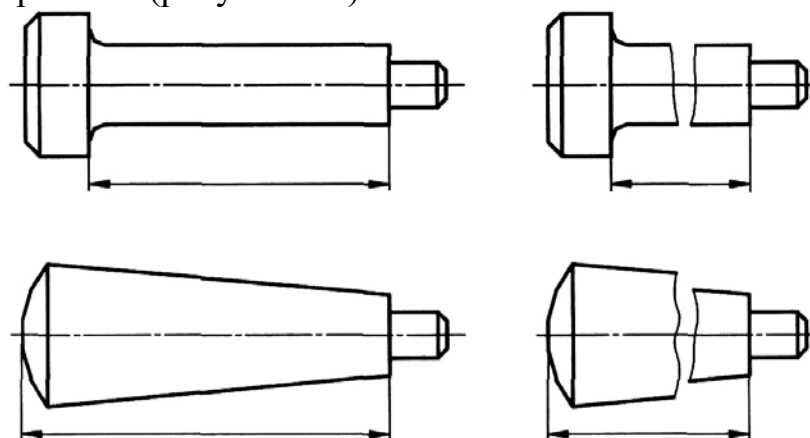


Рисунок 4.4

Размерные линии с обоих концов ограничивают стрелками, упирающимися остриями в соответствующие линии. Стандарт предусматривает два типа начертания стрелок, их форма показана на рисунке 6.5. Величину стрелок следует выбирать в зависимости от толщины линий видимого контура и выдерживать одинаковой для всех размеров данного чертежа. Практически можно принимать длину стрелок равной высоте цифр размерных чисел на данном чертеже.

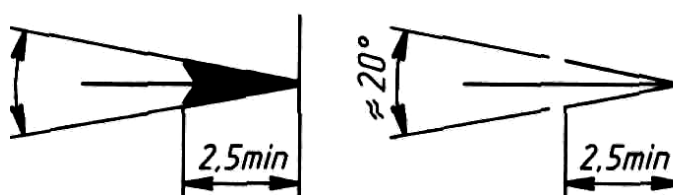


Рисунок 4.5

В случае пересечения стрелки близко расположенной контурной или выносной линией эти линии в месте пересечения со стрелкой должны быть прерваны (рисунок 6.6). Если длина размерной линии недостаточна для размещения на ней стрелок между выносными линиями, то ее продолжают за выносные линии (контурные, осевые, центровые) и стрелки наносят снаружи выносных линий (рисунок 6.7).

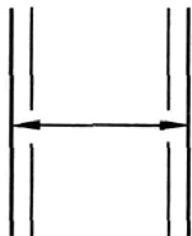


Рисунок 4.6

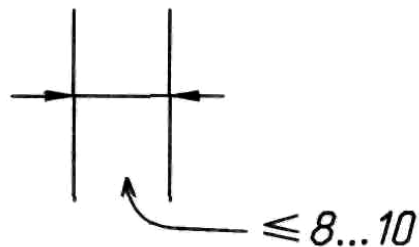


Рисунок 4.7

При недостатке места для стрелок на размерных линиях, расположенных цепочкой, стрелки допускается заменять засечками, наносимыми под углом  $45^\circ$  к размерным линиям (рисунок 4.8, а) или четко наносимыми точками (рисунок 6.8, б).

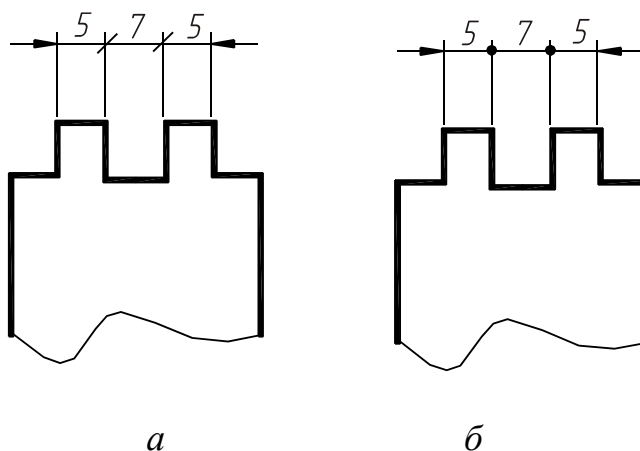


Рисунок 4.8

Количество размеров на чертежах должно быть наименьшим, но достаточным для изготовления и контроля изделия.

Размеры, проставляемые на чертеже, **должны соответствовать действительной величине объекта и не зависеть от масштаба его изображения.**

**Каждый размер наносят на чертеже один раз.** Расположение размеров должно обеспечивать удобство их прочтения.

Размеры рекомендуется распределять по возможности равномерно между всеми изображениями чертежа. При этом следует концентрировать в одном месте размеры, относящиеся к одному элементу детали, располагая их

на том изображении, на котором эти элементы показаны наиболее полно. Размеры наружных и внутренних очертаний детали рекомендуется группировать отдельно, нанося размеры, внутренних очертаний на соответствующих разрезах.

Объекты имеют размеры трех основных типов: *размеры формы* (линейные и угловые), *размеры положения* (линейные) и *размеры ориентации* (угловые).

На чертеж объекта наносят размеры его формы. На чертеже сложного объекта наносят размеры формы, положения и ориентации составляющих геометрических объектов и размеры формы всего сложного объекта.

Линейные размеры на чертежах указывают в миллиметрах без обозначения единиц измерения. При других единицах измерения длины (дюймах, сантиметрах, метрах) соответствующие размерные числа следует сопровождать обозначением единиц измерения, например, 25 см. При задании всех размеров на чертеже в единой системе единиц, иной, чем миллиметры, ее следует оговорить общей надписью на поле чертежа.

Угловые размеры указывают в градусах, минутах и секундах, обозначая при этом единицы измерения, например,  $30^{\circ} 35' 45''$ . Для размерных чисел применяют целые числа и десятичные дроби; использовать простые дроби разрешается только для размеров, указанных в дюймах.

Размерные числа следует наносить над размерной линией параллельно ей и возможно ближе к ее середине (рисунок 4.1). Между цифрами и размерной линией должен быть промежуток 0,5 ... 1 мм.

В местах нанесения размерного числа следует прерывать центровую и осевую линии и линии штриховки (рисунок 4.9). Нельзя разрывать линию контура для размещения размерного числа. Не допускается размещать размерные числа в местах пересечения размерных, осевых и центровых линий. Недопустимо разделять или пересекать размерные числа, какими бы то ни было линиями чертежа.

Если часть объекта изображена с отступлением от масштаба, то размерное число этой части объекта следует подчеркнуть (рисунок 6.10).

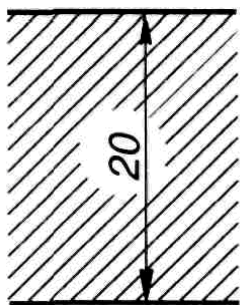


Рисунок 4.9

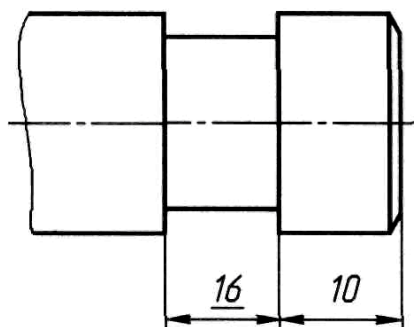


Рисунок 4.10

Наиболее распространенным размером является размер отрезка прямой.

При вертикальном положении размерной линии размерные числа всегда наносят слева от размерной линии. Если размерные линии расположены наклонно, то размерные числа линейных размеров следует располагать в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 4.11. При этом, если размерная линия находится в заштрихованной зоне приведенной схемы, то размерное число следует нанести на полке линии-выноски, а саму полку расположить параллельно основной надписи.

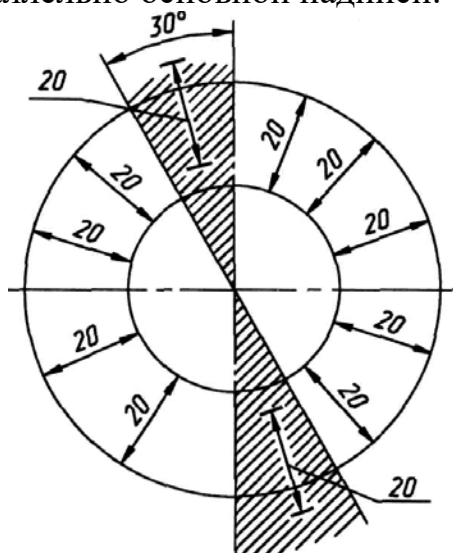


Рисунок 4.11

Если для нанесения размерного числа над размерной линией недостаточно места, то его следует наносить по одному из вариантов, представленных на рисунке 4.12.

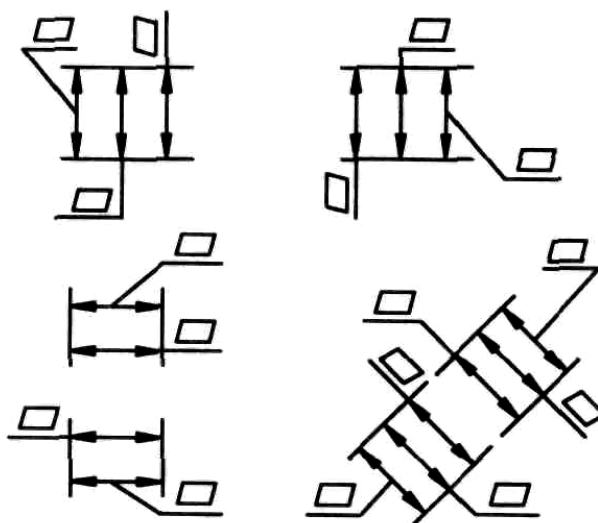


Рисунок 4.12

Если выносные линии сливаются с контурными линиями или близки к ним, что затрудняет понимание, однозначность задаваемого отрезка, то рекомендуется провести выносные линии под острым углом к измеряемому отрезку, а размерную линию сместить в сторону. При этом измеряемый отрезок, размерная и выносные линии образуют параллелограмм (рисунок 4.13, а, б).

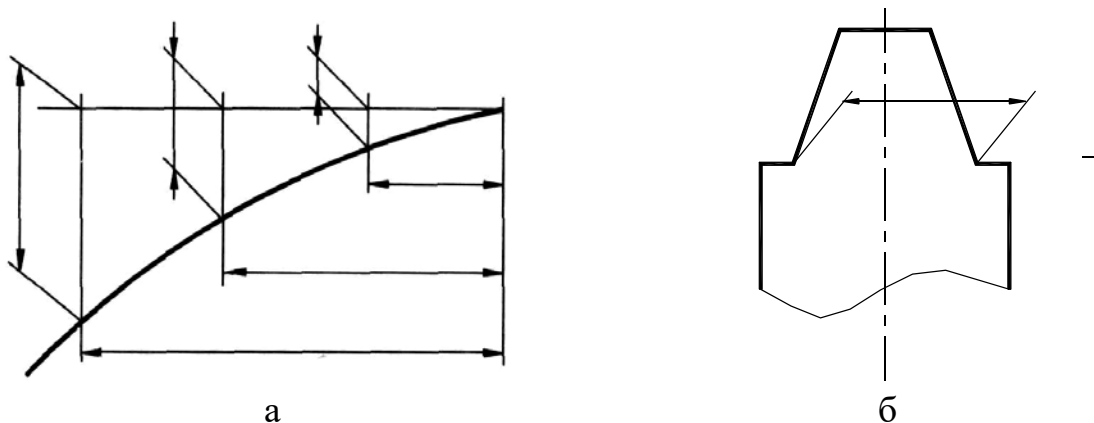


Рисунок 4.13

Размерную линию радиуса окружности следует проводить между дугой или ее продолжением и центром. Размерная линия радиуса имеет только одну стрелку. Радиус дуги окружности обозначают прописной буквой **R**, которую ставят перед размерным числом, задающим размер радиуса. Положение центра радиуса дуги изображают "крестиком" из линий толщиной от 1/3 до 1/2 толщины контурной (рисунок 4.14, а).

При задании нескольких радиусов, исходящих из одного центра, их размерные линии не должны располагаться на одной прямой (рисунок 4.14, б).

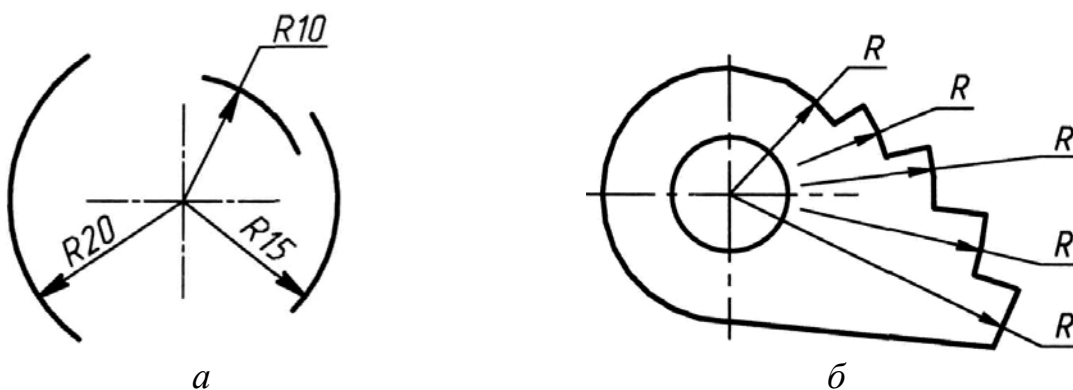


Рисунок 4.14

В случае необходимости проведения нескольких радиусов из одного центра крайние размерные линии проводят из центра, остальные допускается не доводить до центра (рисунок 4.15, а). Размеры одинаковых радиусов можно указывать на одной общей полке (рисунок 4.15, б).

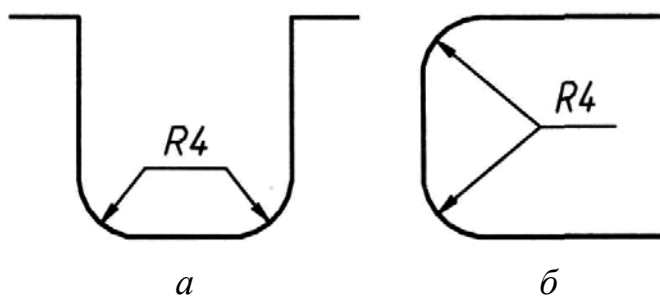


Рисунок 4.15

Если центр дуги окружности при большой величине ее радиуса находится вне поля чертежа, допускается центр условно приближать к задаваемой дуге. В этом случае размерную линию радиуса изображают с изломом под углом  $90^\circ$  и всегда направляют к центру закругления (рисунок 6.16, а).

Если чертежный радиус дуги окружности равен 1 мм или менее, то дугу окружности не изображают, а наносят только ее размер с внешней стороны дуги (рисунок 6.16, б).

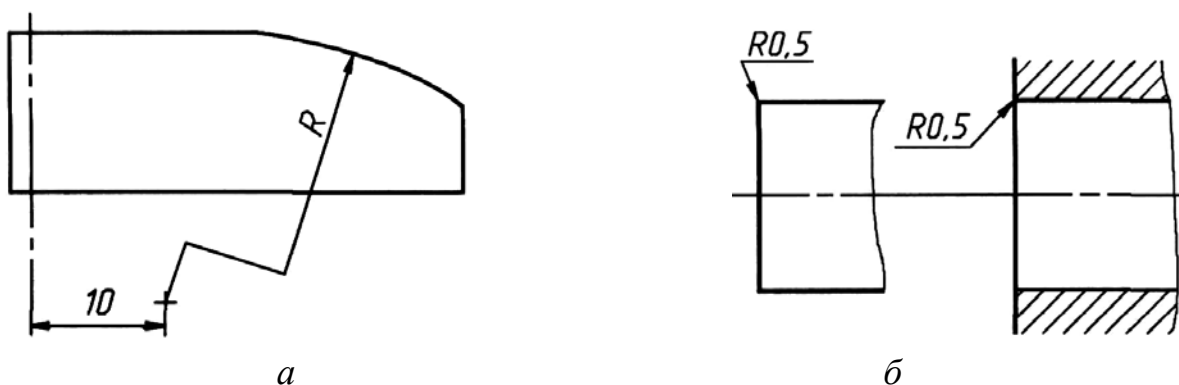


Рисунок 4.16

При обозначении координат вершины скругляемого угла или центра дуги скругления выносные линии проводят от точек пересечения сторон угла или от центра дуги скругления (рисунок 4.17, а).

Размеры радиусов наружных и внутренних скруглений наносят над размерной линией или на полке–выноске самой размерной линии. При этом следует избегать совпадения направления размерной линии радиуса с направлением штриховки. Вариант написания размерных чисел при различных положениях размерных линий следует выбирать, исходя из удобства их прочтения на чертеже (рисунок 4.17, б).

Если радиусы скруглений на всем чертеже одинаковы, то их можно не обозначать, а в технических требованиях сделать запись, например, такую: **"Неуказанные радиусы скруглений 5 мм"**.



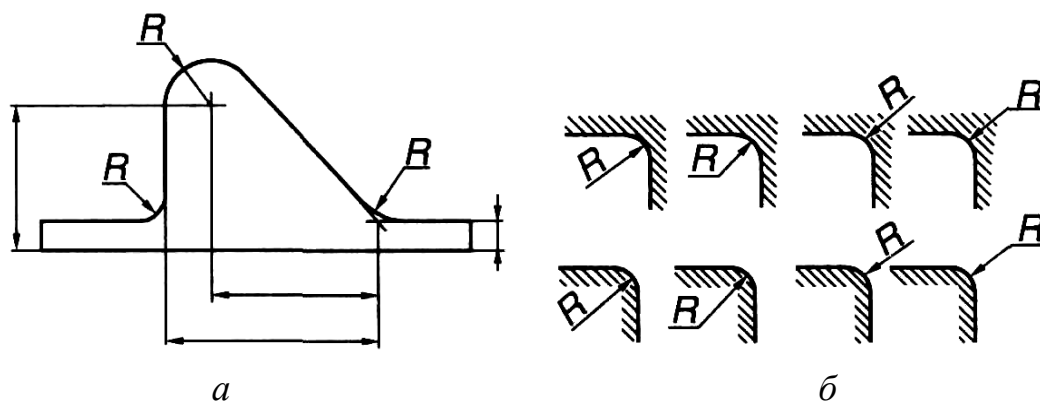


Рисунок 4.17

Диаметр окружности обозначают знаком  $\varnothing$ , который наносят перед размерным числом, задающим размер диаметра. Размерное число диаметра, расположенное внутри окружности, смещают относительно ее центра (рисунок 6.18).

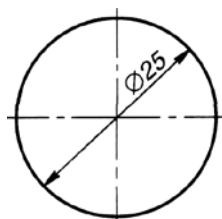


Рисунок 4.18

*Варианты размещения размерного числа диаметра окружности:*

- на продолжении размерной линии вне окружности, рисунок 4.19, а;
- на полке, рисунок 4.19, б;
- между выносными линиями на размерной линии или на ее продолжении, рисунок 4.19, в;
- вне выносных линий на полке линии-выноски, рисунок 4.19, г.

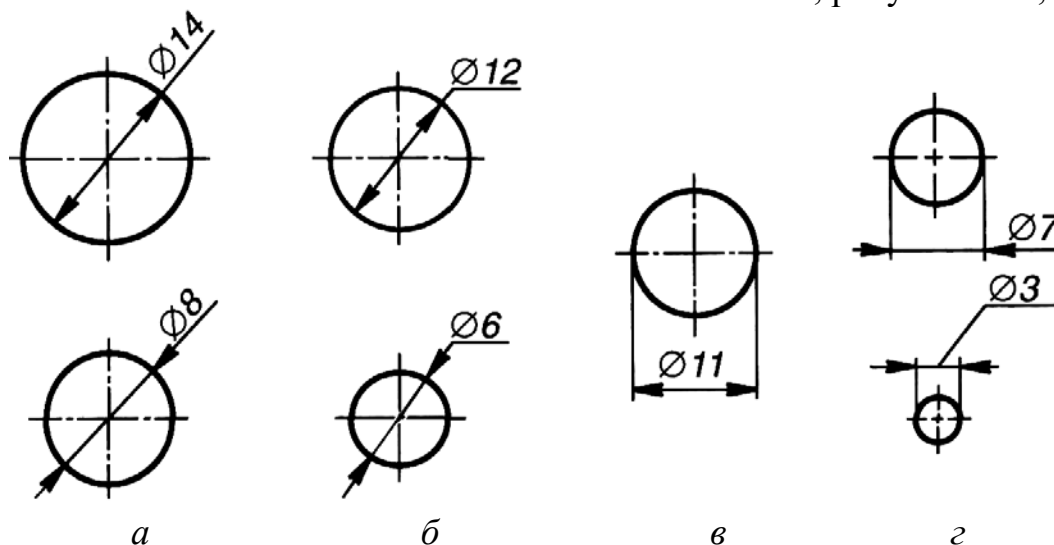


Рисунок 4.19

*Расположение стрелок на размерной линии диаметра:*

- при чертежном диаметре, равном 12 мм и более, стрелки наносят внутри окружности или между выносными линиями;
- при чертежном диаметре, равном 12 мм и менее, стрелки наносят вне окружности или с внешней стороны выносных линий.

Размер окружности, даже прерывающейся, но имеющей противоположащие точки на диаметре, всегда следует задавать диаметром (рисунок 4.20).

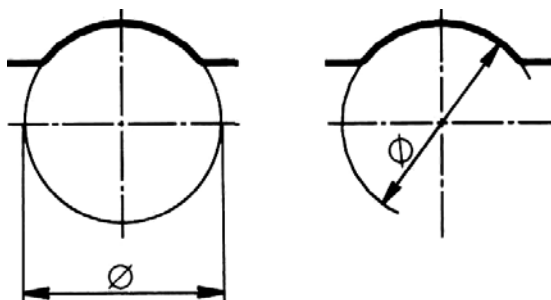


Рисунок 4.20

При указании диаметра окружности допускается проводить размерные линии с обрывом независимо от того, изображена окружность полностью или только ее часть, обрыв размерной линии в этом случае делают дальше центра или оси окружности (рисунок 4.21).

Для обозначения длины дуги окружности следует применять условный знак дуги « $\Rightarrow$ », который наносят над размерным числом дуги во всех случаях (рисунок 4.22).

Дуговую размерную линию проводят concentрично обозначаемой дуге, а выносные линии — параллельно биссектрисе угла. Если дуга охватывает большой угол, то выносные линии допускается располагать радиально, указывая при этом, к какому радиусу относится дуга (рисунок 4.23).

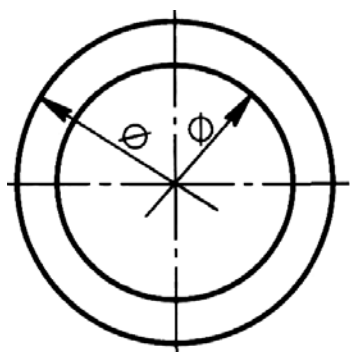


Рисунок 4.21

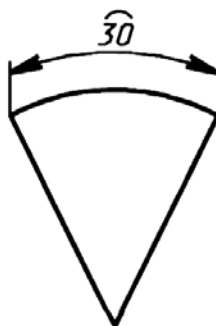


Рисунок 4.22

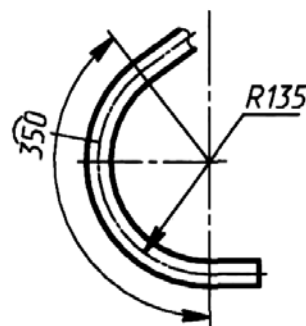


Рисунок 4.23

При нанесении угловых размерных линий и написании угловых размерных чисел следует руководствоваться схемой, представленной на

рисунке 4.24. Согласно этой схеме размерные числа, расположенные выше горизонтальной осевой линии, при обозначении размера угла проставляют над размерной линией со стороны выпуклости, размерные же числа, расположенные ниже горизонтальной осевой линии, проставляют со стороны вогнутости дуговых размерных линий (рисунк 4.24).

В зоне, отмеченной штриховкой на рисунке 4.24, размерные числа располагают на горизонтальных полках–выносках. Если при обозначении угла малого размера не хватает места для написания размерного числа, то последнее следует помещать на полке линии–выноски в любой зоне (рисунк 4.25).

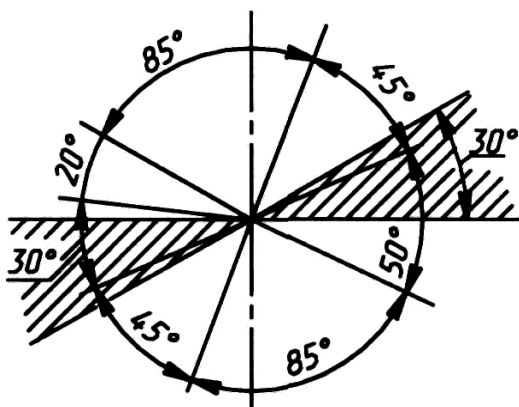


Рисунок 4.24

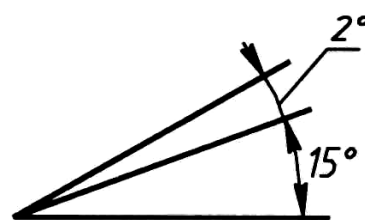


Рисунок 4.25

При нанесении нескольких concentric размерных дуг (размеров углов с одной общей вершиной) размерные числа рекомендуется располагать в шахматном порядке (рисунк 4.26).

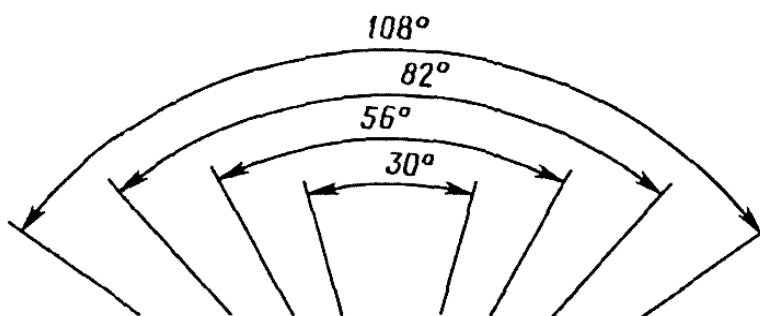


Рисунок 4.26

Если угол между отрезками имеет величину 0, 90, 180, 360°, то, как правило, размер угла по умолчанию не наносят.

**Квадрат.** Размеры квадрата наносят так, как показано на рисунке 4.27. Знак  $\square$  изображают перед размерным числом. Размер знака равен высоте строчных букв.

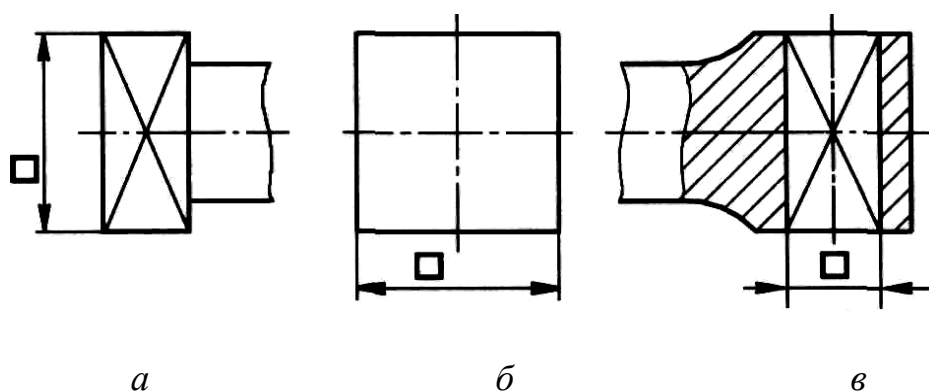


Рисунок 4.27

**Прямоугольник.** Прямоугольную форму выступа или отверстия задают двумя размерами на полке линии-выноски. При этом первый из них – размер стороны, от которой выполнена выноска, после знака  $\times$  следует размер второй стороны прямоугольника (рисунок 4.28). Ориентация прямоугольника может быть произвольной.

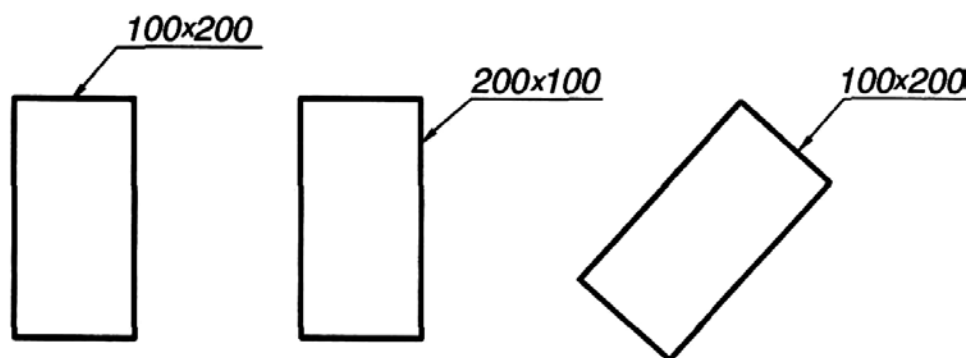


Рисунок 4.28

**Контур шпонки и паза.** Допускается на чертеже контура призматической шпонки с закругленными торцами и паза под такую шпонку нанести только два размера – длину и ширину, а величину радиуса сопрягающих окружностей не указывать (рисунок 4.29).

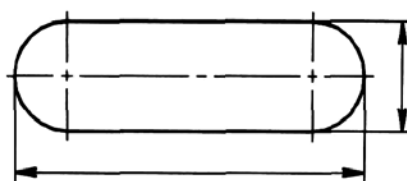


Рисунок 4.29

**Сфера.** Размер сферы задают радиусом или диаметром  $\varnothing$ . Если изображенную сферу (или ее фрагмент) **R** трудно отличить от других поверхностей, то перед знаком  $\varnothing$  или **R** допускается написать слово "**Сфера**" или знак ®, высота которого равна высоте размерных чисел на чертеже

(рисунок 4.30).

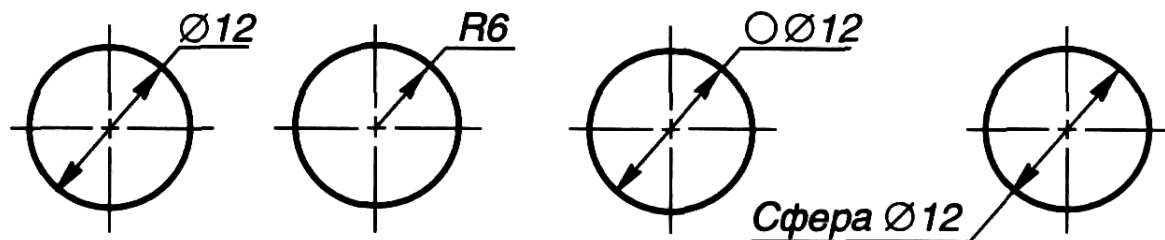


Рисунок 4.30

**Конусность.** Под конусностью понимают отношение разности диаметров двух поперечных сечений конуса к расстоянию между ними. Перед размерным числом, определяющим конусность, наносят знак конусности – равнобедренный треугольник (рисунок 4.31), вершина которого должна быть направлена в сторону вершины конуса. Величина основания этого треугольника равна высоте размерных чисел чертежа.

Знак конусности и ее величину в виде отношения следует наносить над осевой линией или на полке линии-выноски (рисунок 4.31).

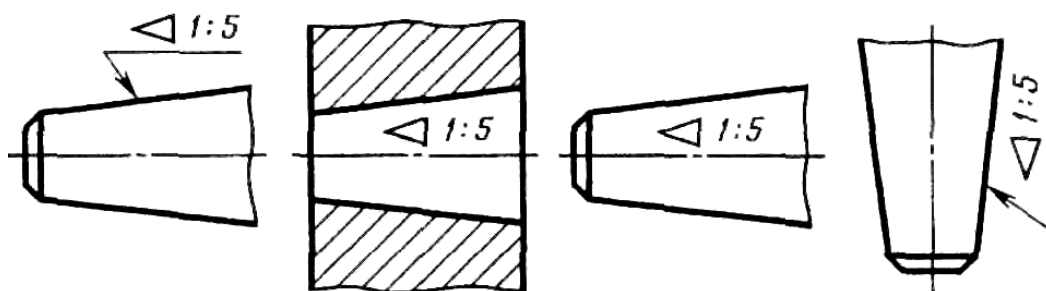


Рисунок 4.31

## 5 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ЗАДАНИЯ

Работа выполняется на листе формата *A3* по индивидуальному заданию. Требуется выполнить чертеж, равномерно распределив изображения на формате. **При этом необходимо сохранять все вспомогательные построения.**

Задание состоит из следующих частей:

- 1) выполнение различных типов линий по ГОСТ 2.303- 68;
- 2) выполнение вида детали с применением основных правил различных геометрических построений. Построение сопряжений сводится к трем моментам: определению центра сопряжения, нахождению точек сопряжения, построению дуги сопряжения заданного радиуса. Для построения сопряжения известен его радиус, остальные элементы определяются с помощью графических построений;

- 3) простановка размеров по ГОСТ 2.307-2011. *Размер шрифта 5;*

4) выполнение необходимых надписей по требуемым размерам (номер шрифта указан в круглых скобках) по ГОСТ 2.304-81\*. **Номер шрифта не ставится.**

5) основную надпись. Все надписи должны быть выполнены карандашом чертежным шрифтом типа *A* по ГОСТ 2.304-81\*. **Ручкой заполняется графа «Подпись».**

**Все изображения выполняются от руки на одной стороне формата.**

Пример выполнения задания приведен на рисунке 5.12.

### Выполнение чертежа детали, имеющей сопряжения

Построение чертежа детали (рисунок 5.1) 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.

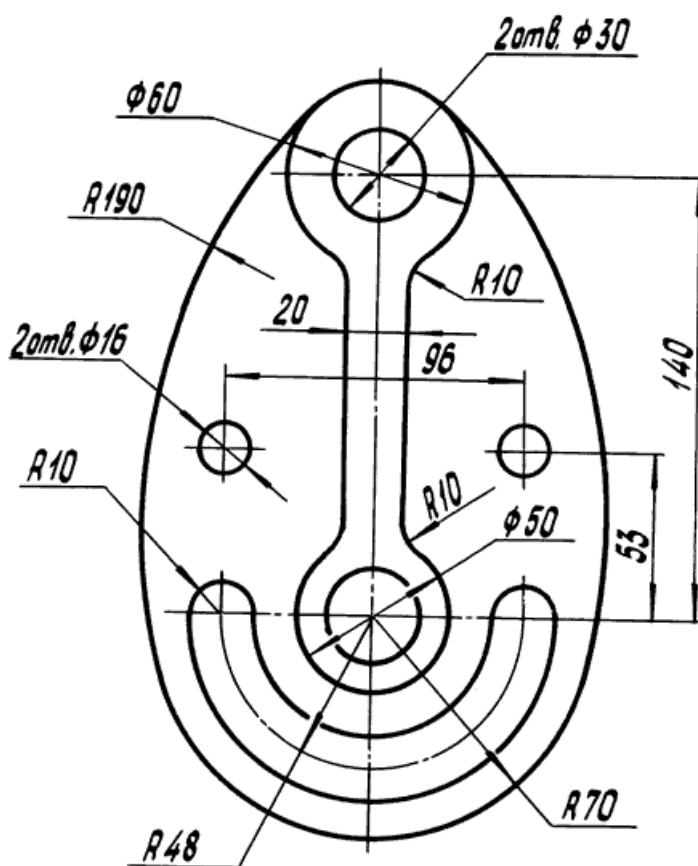


Рисунок 5.1

*Алгоритм построения:*

- 1) Нанести осевые и центровые линии (рисунок 5.2).
- 2) Построить окружности, центры которых расположены на пересечении центровых линий (рисунок 5.3).

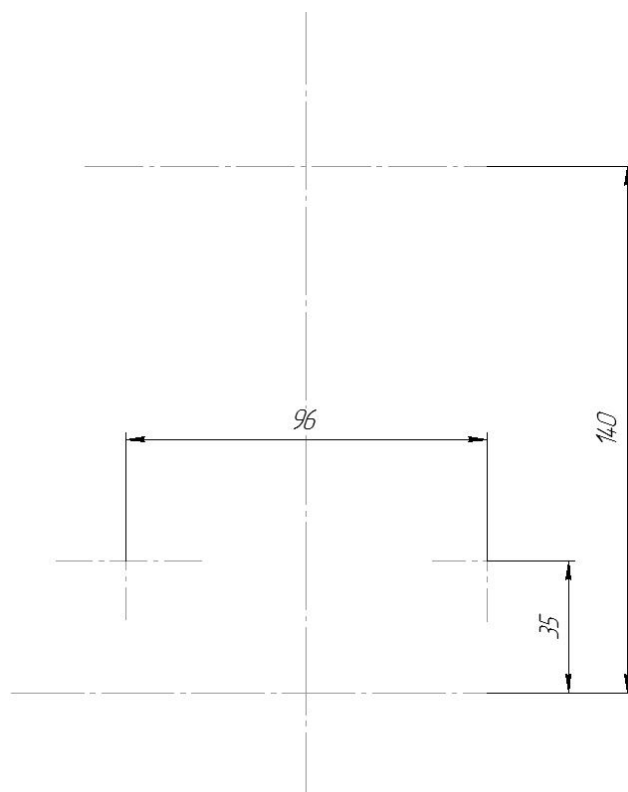


Рисунок 5.2

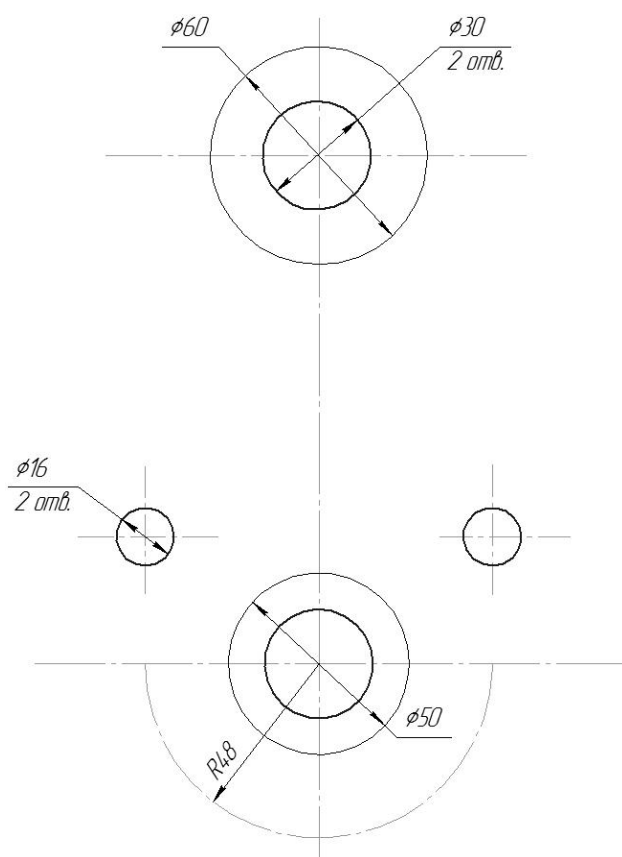


Рисунок 5.3

3) Выполнить сопряжения с указанием вспомогательных построений, необходимых для определения центров и точек сопряжения (рисунки 5.4-5.9);

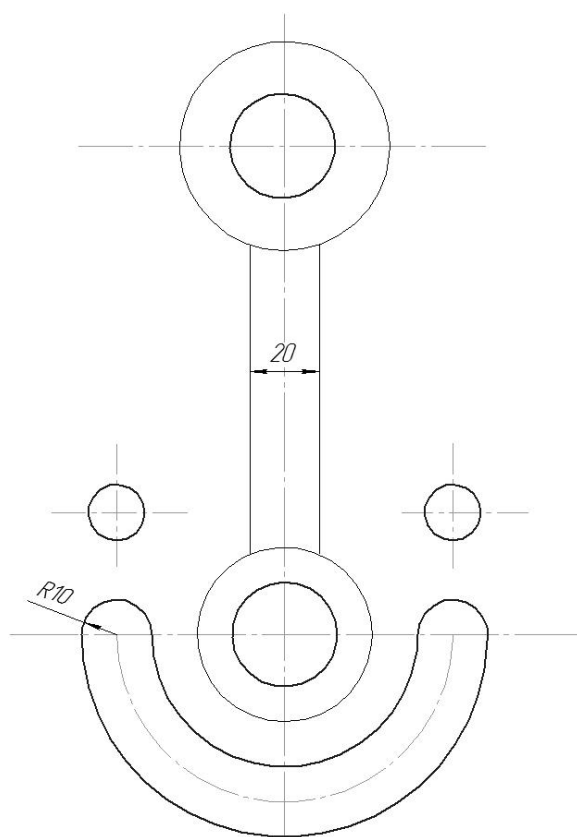


Рисунок 5.4

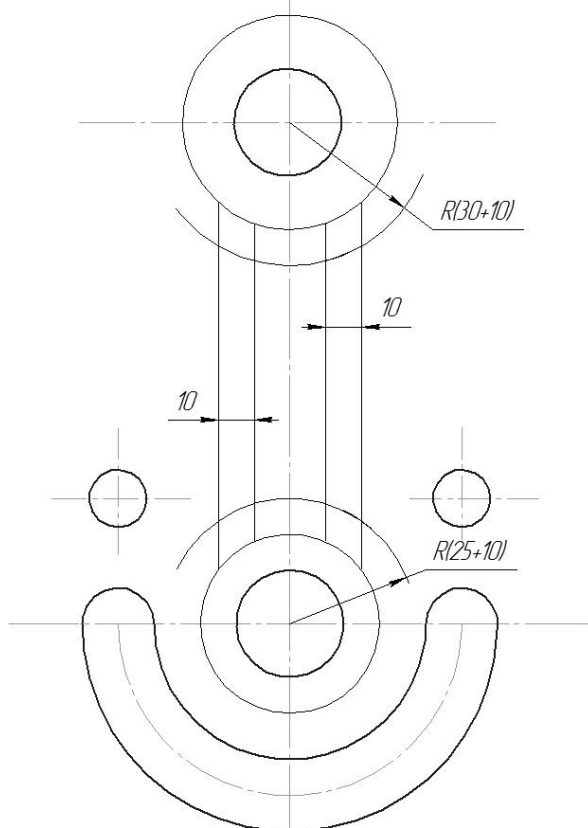


Рисунок 5.5



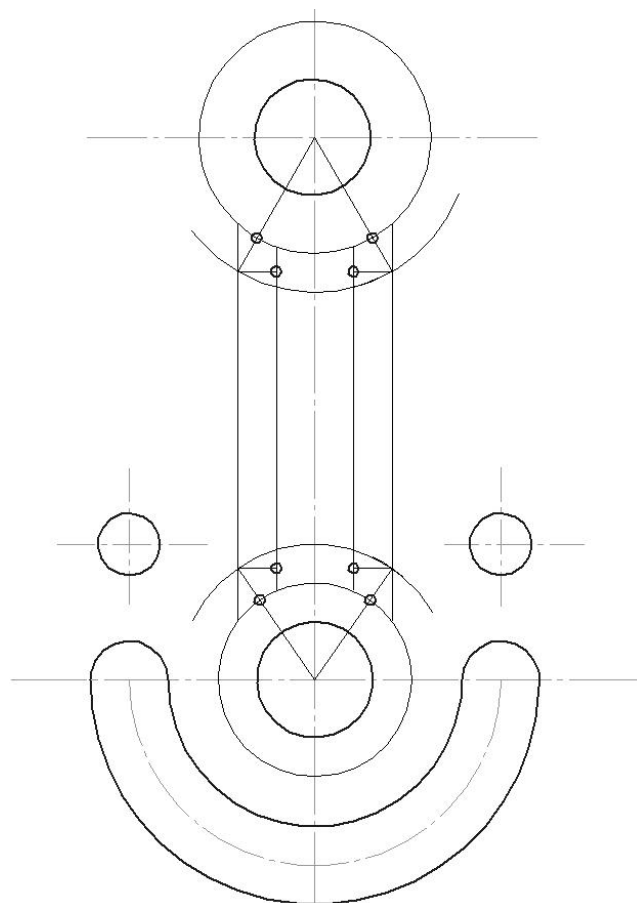


Рисунок 5.6

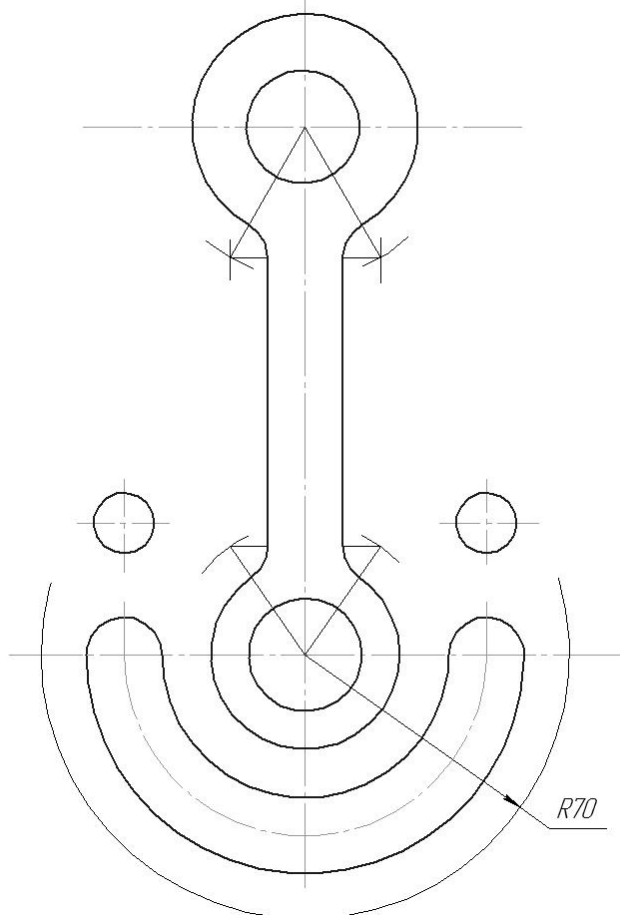


Рисунок 5.7

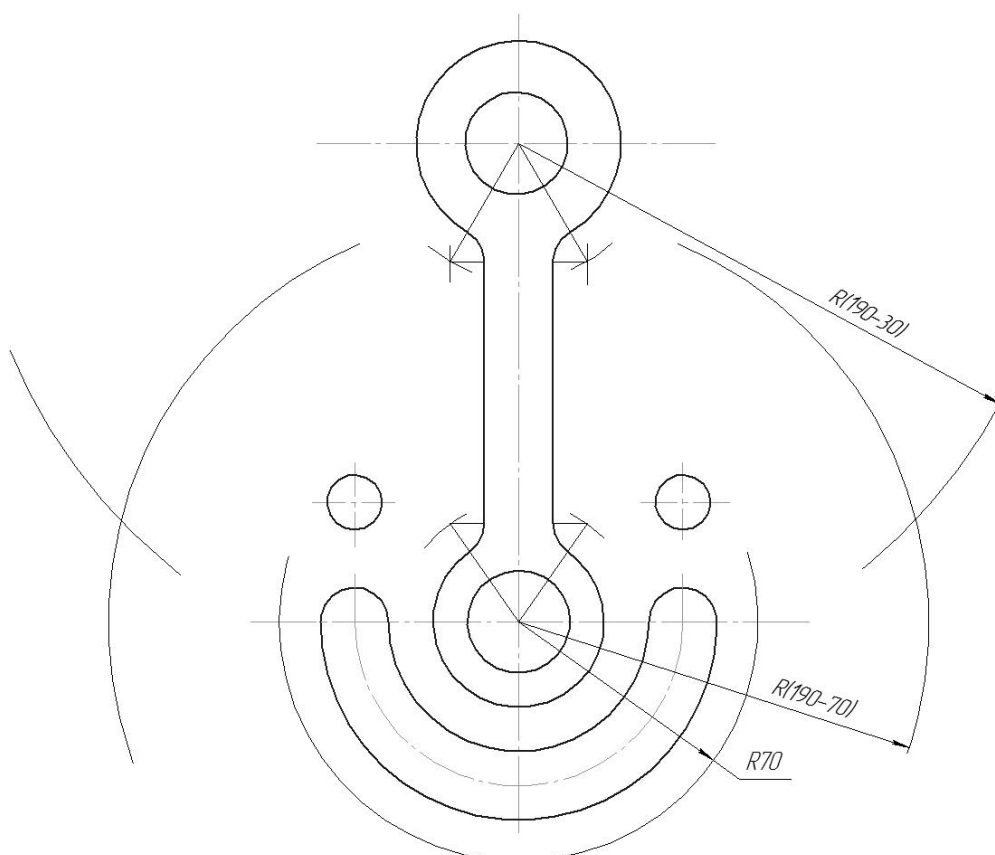


Рисунок 5.8

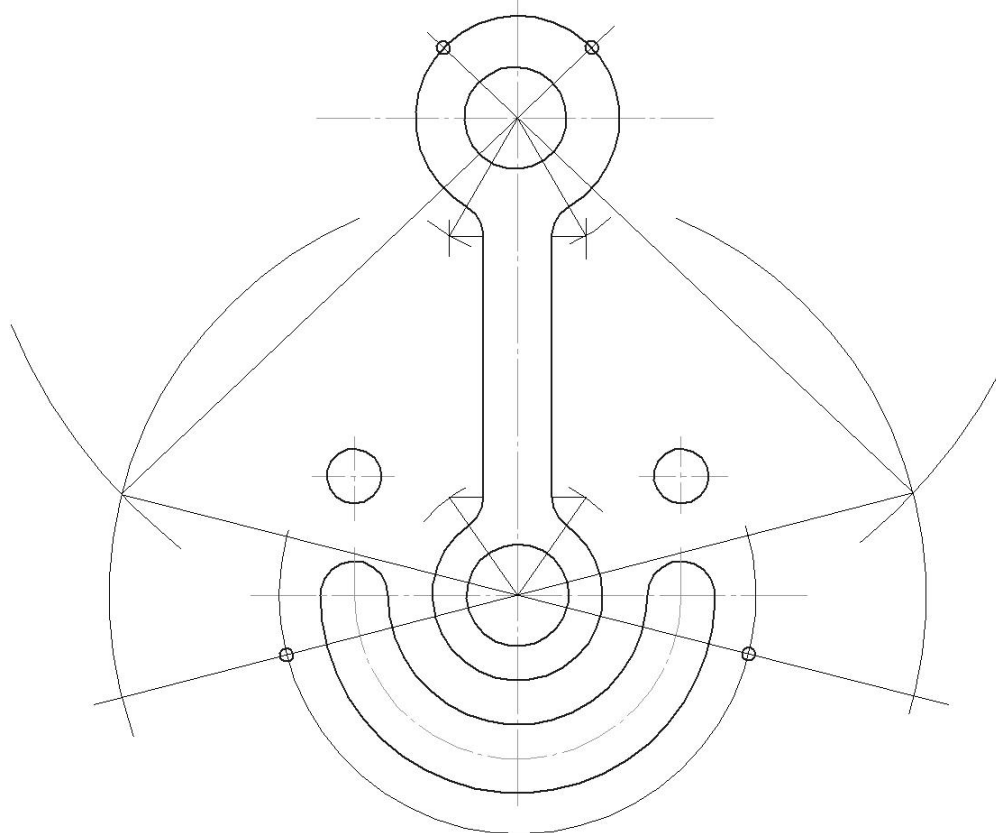


Рисунок 5.9

4) Обвести контуры детали.

5) Нанести выносные и размерные линии, проставить размеры (5.10, 5.11).

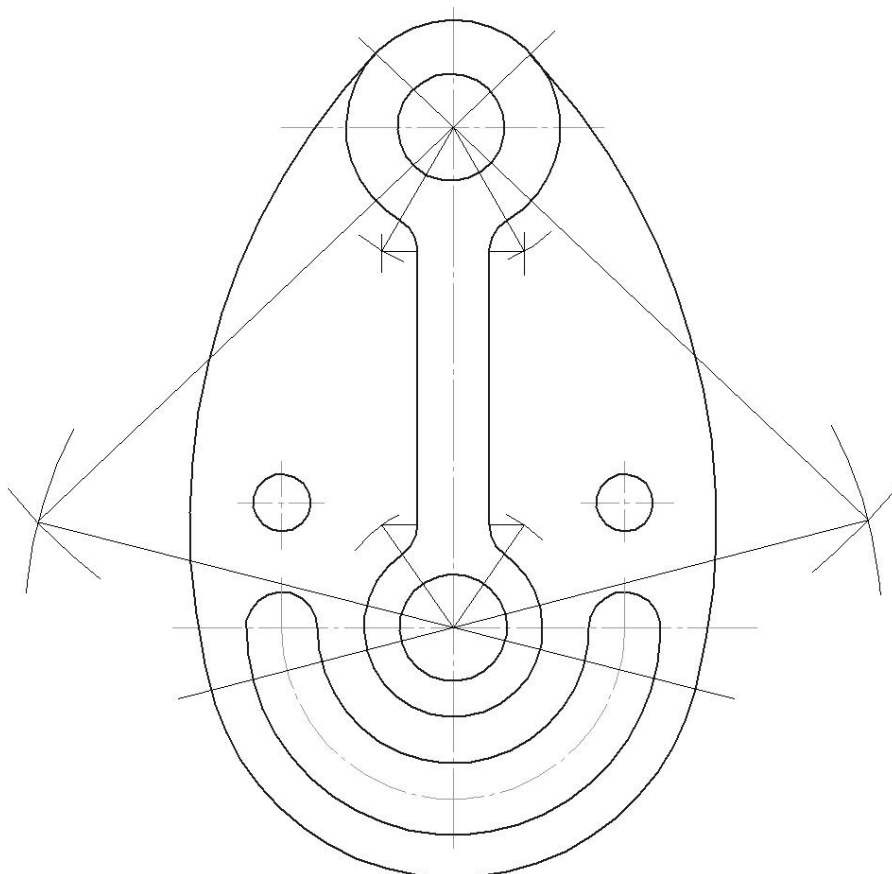


Рисунок 5.10

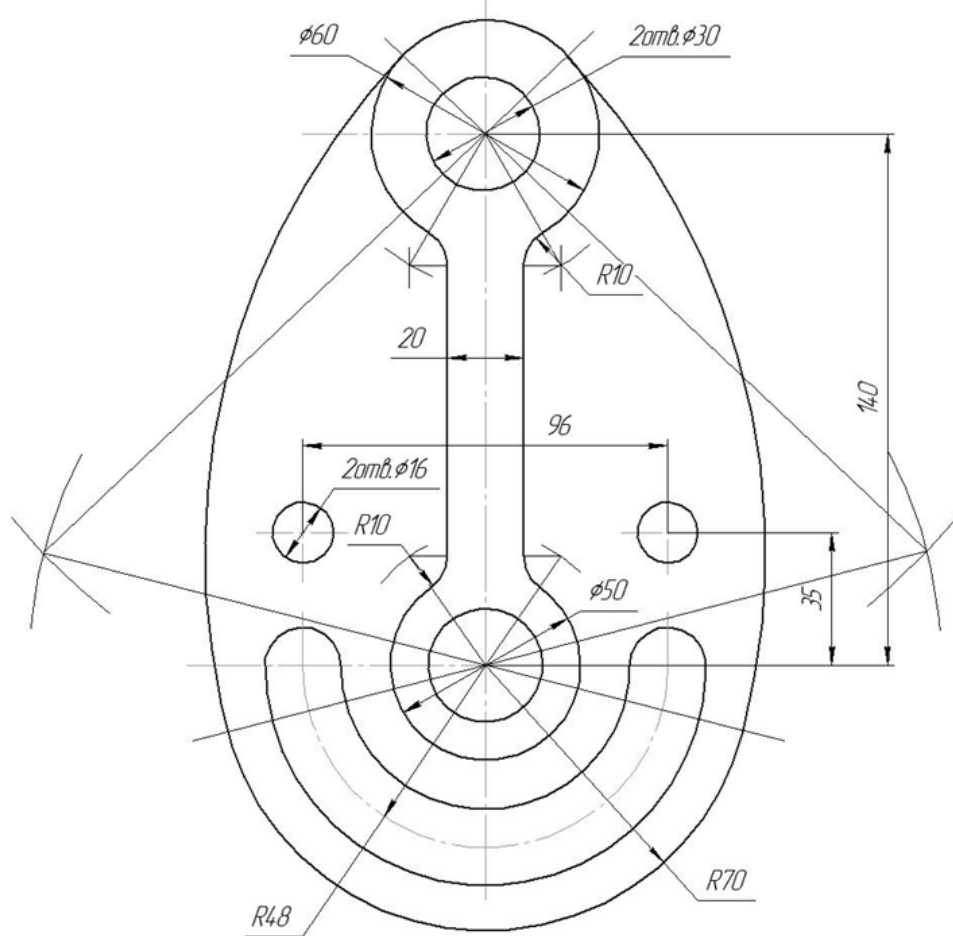


Рисунок 5.11

[illegible]

Рисунок 5.12

### Список использованных источников

1. Бородкин Н.Н., Васина Н.В., Лобанова С.В. Основы черчения и технического рисунка: учеб. пособие / Н.Н. Бородкин, Н.В. Васина, С.В. Лобанова – Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – 169с.
2. Боголюбов С. К. Инженерная графика: учебник для средних специальных учебных заведений. / С. К. Боголюбов. - М: Машиностроение, 2000. — 352 с.
3. Королев Ю.И., Устюжанина С.Ю. Инженерная графика. Учебник для вузов. Стандарт третьего поколения. — С.-Петербург.: 2011.— 464с. : ил.
4. Болтухин А.К. Инженерная графика: Конструкторская информатика в машиностроении : учебник для вузов / А.К. Болтухин. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. - 520 с.
5. ГОСТ 2.104-2006. Основные надписи. Введ. 2006-02.01. - М.: Стандартиформ, 2006. - 14 с.
6. ГОСТ 2.301-68, ГОСТ 2.302-68, ГОСТ 2.303-68, ГОСТ 2.304-81, ГОСТ 2.305-2008, ГОСТ 2.307-2011, ГОСТ 2.317-2011.
7. Попова Г.Н. Машиностроительное черчение: справочник/ Попова Г.Н., Алексеев С.Ю. 5-е изд., перераб. и доп. - СПб.: 2011. - 474 с.
8. Чекмарев, А.А. Начертательная геометрия и черчение : учебник для вузов/ А.А.Чекмарев .— 2-е изд.,перераб.и доп. — М. : Высшее образование, 2006 .— 471с. : ил.