

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тверской государственный технический университет»  
(ТвГТУ)

**В.И. Горячёв, Т.П. Кузнецова, И.И. Михеев**

**Начертательная геометрия  
и инженерная графика  
(базовые знания дидактических единиц)**

*Учебное пособие*

Допущено Федеральным УМО в системе высшего образования  
по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки  
23.00.00 – Техника и технологии наземного транспорта  
в качестве учебного пособия для обучающихся по направлениям подготовки:  
«Наземные транспортно-технологические комплексы»,  
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»;  
уровень образования – бакалавриат

Тверь 2017

УДК 514.1 (075.8)  
ББК 22.151.3я73

Рецензенты: д. т. н., профессор, генеральный директор ООО НПО «Нисаба» Гамаюнов С.Н.; д. т. н., профессор, зав. кафедрой СДМО ТвГТУ Кондратьев А.В.

Горячёв, В.И. Начертательная геометрия и инженерная графика (базовые знания дидактических единиц): учебное пособие / В.И. Горячёв, Т.П. Кузнецова, И.И. Михеев. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2017. 184 с.

Приведены конспективные сведения по начертательной геометрии и инженерной графике в соответствии с тематической структурой дидактических единиц дисциплины, разработанной Росаккредагентством. В отличие от аналогичной литературы, начертательная геометрия в настоящем пособии излагается в тесной связи с инженерной графикой, основные положения которой базируются на государственных стандартах, ЕСКД и других нормативных документах. Кратко изложенный теоретический и практический материал поможет освежить в памяти студентов технических вузов базовые (остаточные) знания по общепрофессиональной дисциплине, определяющие в дальнейшем способность специалиста к инженерному творчеству.

Предназначено для студентов механических и технологических специальностей и молодых специалистов инженерно-технического труда, ранее изучавших дисциплину «Начертательная геометрия и инженерная графика». Может быть использовано при подготовке к тестированию, зачету или экзамену.

ISBN 978-5-7995-0932-3

© Тверской государственный  
технический университет, 2017  
© Горячёв В.И., Кузнецова Т.П.,  
Михеев И.И., 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	11
Принятые обозначения и символы .....	11
I. ЗАДАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ЧЕРТЕЖЕ .....	12
Тема 1. Метод проекций, виды проецирования .....	12
1.1. Способы проецирования. Аппарат центрального и параллельного проецирования .....	12
1.2. Особенности центрального и параллельного проецирования.....	13
1.3. Суть косоугольного и прямоугольного (ортогонального) параллельного проецирования .....	14
1.4. Свойства параллельного проецирования.....	14
1.5. Системы изображения в начертательной геометрии и их особенности .....	14
Тема 2. Прямоугольный (ортогональный) чертеж точки на две и три плоскости проекций .....	15
2.1. Требования, предъявляемые к проекционному чертежу .....	15
2.2. Получение комплексного чертежа точки А (эпюр Монжа) на две и три фиксированные плоскости проекций .....	15
2.3. Базовые плоскости и базы отсчета. Чертеж точки А на нефиксированных плоскостях проекций.....	17
Тема 3. Чертеж прямой линии, чертеж плоскости.....	19
3.1. Способы задания прямой линии на чертеже .....	19
3.2. Способы задания плоскости на чертеже.....	19
Тема 4. Чертеж многогранной поверхности, чертеж поверхности вращения .....	21
4.1. Понятие о геометрическом теле .....	21
4.2. Образование многогранной поверхности и ее изображение на чертеже .....	21
4.3. Пирамиды и призмы, их разновидности.....	22
4.4. Образование поверхности вращения общего вида: параллель, экватор, горло, меридиан, главный меридиан .....	23
4.5. Изображение поверхности вращения на чертеже. Очерк поверхности (контур) и ее определитель .....	24
4.6. Линейчатые поверхности вращения. Закономерные поверхности вращения второго порядка .....	25

Вопросы для самопроверки по разделу «Задание геометрических объектов на чертеже» .....	25
<b>II. ПОЗИЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ</b> .....	26
Тема 1. Положение геометрических объектов (фигур) относительно плоскости проекций .....	26
1.1. Что такое позиционные задачи? .....	26
1.2. Точки общего и частного положения .....	26
1.3. Особенности прямой общего положения .....	26
1.4. Признаки прямых частного положения относительно плоскостей проекций .....	27
1.5. Плоскости общего и частного положения.....	28
Тема 2. Принадлежность точки и прямой линии плоскости и многогранной поверхности .....	32
2.1. Условие принадлежности точки прямой линии .....	32
2.2. Условие принадлежности прямой линии плоскости.....	32
2.3. Условие принадлежности точки плоскости и многогранной поверхности .....	33
2.4. Понятие о линиях наибольшего уклона плоскости к плоскости проекций. Понятие о линии ската .....	34
2.5. Возможные положения двух прямых относительно друг друга. Особенности изображения на чертеже .....	35
2.6. Взаимное расположение точки и прямой, точек .....	36
Тема 3. Пересечение прямой с плоскостью. Пересечение плоскостей .....	37
3.1. Взаимное положение прямой относительно плоскости. Условие принадлежности и параллельности прямой и плоскости.....	37
3.2. Условие пересечения прямой с плоскостью. Метод конкурирующих прямых .....	38
3.3. Определение видимости прямой относительно плоскости .....	39
3.4. Относительное положение плоскостей. Понятие о линии пересечения двух плоскостей .....	39
3.5. Определение видимости отсеков плоскостей по направлению к плоскостям проекций.....	41
Вопросы для самопроверки по разделу «Позиционные задачи» .....	42
<b>III. МЕТРИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ. СПОСОБЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧЕРТЕЖА</b> .....	43

Тема 1. Определение натуральной величины отрезка прямой и углов его наклона к плоскостям проекций.....	43
1.1. Понятие о метрических задачах .....	43
1.2. Определение натуральной величины отрезка прямой и углов его наклона к плоскостям проекций методом прямоугольного треугольника.....	43
1.3. Свойство ортогональной проекции прямого угла .....	44
1.4. Условие перпендикулярности двух прямых, прямой и плоскости.....	45
Тема 2. Способы преобразования чертежа.....	46
2.1. Цель преобразования чертежа. Суть способов замены плоскостей проекций (дополнительные виды) и плоскопараллельного перемещения (вращения).....	46
2.2. Преобразование прямой общего положения в прямую уровня и проецирующую прямую способом дополнительных видов.....	47
2.3. Преобразование плоской фигуры (треугольника) общего положения в проецирующую плоскость и плоскость уровня способом дополнительных видов.....	48
2.4. Особенности вращения фигуры вокруг оси, перпендикулярной плоскости проекций, и вокруг оси, параллельной плоскости проекций (вокруг прямой уровня).....	49
Вопросы для самопроверки по разделу «Метрические задачи. Способы преобразования чертежа».....	54
IV. КРИВЫЕ ЛИНИИ И ПОВЕРХНОСТИ .....	55
Тема 1. Плоские кривые линии.....	55
1.1. Понятие о кривых линиях. Плоские и пространственные кривые линии; плавные (гладкие) кривые линии. Закономерные и не закономерные кривые линии .....	55
1.2. Алгебраические и трансцендентные кривые линии .....	55
1.3. Графическое определение длины дуги кривой линии .....	56
1.4. Образование эллипса, параболы и гиперболы при пересечении прямого кругового конуса плоскостью.....	57
Тема 2. Пространственные кривые линии.....	58
2.1. Понятие о пространственной кривой линии. Основной признак на чертеже .....	58

2.2. Закономерные и закономерные пространственные кривые линии. Винтовые линии .....	58
2.3. Образование цилиндрической винтовой линии.....	59
Тема 3. Кривые поверхности.....	60
3.1. Понятие о поверхности и кинематическом способе ее образования. Образующие и направляющие линии поверхности. Линейчатые и нелинейчатые поверхности.....	60
3.2. Способы задания кривых поверхностей.....	60
3.3. Эллипсоид вращения. Получение поверхности сжатого и вытянутого эллипсоидов вращения .....	61
3.4. Получение поверхности параболоида и гиперболоида. Поверхности, образуемые вращением окружности .....	61
3.5. Получение в общем случае цилиндрической и конической поверхности .....	62
3.6. Образование циклической поверхности. Каналовые и трубчатые поверхности .....	63
3.7. Винтовая поверхность. Прямой и косоугольный геликоид.....	63
Тема 4. Развертки поверхностей.....	64
4.1. Понятие о развертывании поверхности. Алгебраический и графический способы получения разверток .....	64
4.2. Развертываемые и неразвертываемые поверхности. Построение развертки многогранной поверхности .....	64
4.3. Развертка поверхности прямого кругового цилиндра и прямого кругового конуса .....	65
4.4. Построение развертки наклонного цилиндра и наклонного конуса .....	66
Вопросы для самопроверки по разделу «Кривые линии и поверхности»...	68
V. АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ .....	69
Тема 1. Сущность аксонометрических проекций .....	69
1.1. Понятие об аксонометрической проекции предмета. Прямоугольные и косоугольные аксонометрические проекции .....	69
1.2. Изометрические, диметрические и триметрические аксонометрические проекции .....	69
Тема 2. Стандартные аксонометрические проекции .....	70
2.1. Задание аксонометрических осей и коэффициентов искажения по ГОСТ 2.317-69. Виды аксонометрических проекций....	70

2.2. Аксонометрия плоских геометрических фигур: точка, отрезок прямой, плоскость, правильный шестиугольник, окружность .....	71
2.3. Аксонометрия пространственных геометрических фигур. Нанесение размеров и штриховки.....	78
Вопросы для самопроверки по разделу «Аксонометрические проекции»	.82
<b>VI. КОНСТРУКТОРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ И ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ ПО ЕСКД.....</b>	<b>82</b>
Тема 1. Виды изделий и конструкторских документов .....	82
1.1. Что понимается под изделием? Изделия основного и вспомогательного производства .....	82
1.2. Неспецифицированные и специфицированные изделия. Виды изделий и их структура.....	83
1.3. Основные виды конструкторских документов. Графические и текстовые документы .....	84
Тема 2. Форматы. Масштабы .....	85
2.1. Понятие о формате чертежа. Оформление формата. Основные и дополнительные форматы. Основная надпись.....	85
2.2. Понятие о масштабе. Масштабы изображений на чертежах по ГОСТ 2.302-68. Обозначение масштаба.....	87
Тема 3. Линии, шрифты чертежные, графическое обозначение материалов в разрезах и сечениях .....	87
3.1. Типы линий, их начертание, толщина и назначение.....	87
3.2. Шрифты чертежные.....	89
3.3. Графическое обозначение материалов в разрезах и сечениях .....	90
Тема 4. Нанесение размеров на чертежах.....	90
4.1. Типы размеров и общие требования к их нанесению. Группы размеров .....	90
4.2. Базовые элементы детали. Способы нанесения размеров в зависимости от выбранной базы .....	93
4.3. Условные знаки при простановке размеров и правила их нанесения .....	95
4.4. Нанесение размеров фасок и размеров одинаковых элементов изделия .....	96
Вопросы для самопроверки по разделу «Конструкторская документация и оформление чертежей по ЕСКД» .....	97

VII. ИЗОБРАЖЕНИЯ – ВИДЫ, РАЗРЕЗЫ, СЕЧЕНИЯ.....	98
Тема 1. Виды: основной, дополнительный, местный. Выносной элемент .....	98
1.1. Метод изображения изделия на чертеже по ГОСТ 2.305-68. Требования к количеству изображений.....	98
1.2. Понятие о видах (основной, дополнительный, местный). Выбор главного вида .....	98
1.3. Выносной элемент.....	102
Тема 2. Разрезы и сечения .....	103
2.1. Что такое разрез; что показывают на разрезе; когда его применяют?.....	103
2.2. Название разреза в зависимости от положения секущей плоскости. Простые и сложные разрезы. Местный разрез.....	103
2.3. Обозначение разреза на чертеже .....	107
2.4. Что такое сечение, что показывают на сечении? Вынесенные и наложенные сечения. Особенности обозначения сечения на чертеже .....	107
Тема 3. Условности и упрощения на изображениях .....	110
Вопросы для самопроверки по разделу «Изображения – виды, разрезы, сечения».....	113
VIII. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ. РАЗЪЕМНЫЕ И НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ .....	113
Тема 1. Основные параметры резьбы. Классификация резьб .....	114
1.1. Образование резьбы. Основные термины и определения .....	114
1.2. Условное изображение резьбы и резьбового соединения на чертеже .....	114
1.3. Параметры стандартных резьб, их профили и обозначения .....	117
1.4. Классификация резьб.....	119
Тема 2. Стандартные резьбовые детали, их обозначение и область применения .....	120
2.1. Крепежные резьбовые изделия.....	120
2.2. Характеристика и область применения крепежных резьбовых деталей.....	121
Тема 3. Разъемные соединения.....	125
3.1. Виды разъемных соединений. Конструктивное, упрощенное и условное изображение соединений.....	125



3.2. Упрощенное изображение соединений болтом и шпилькой. Детали, входящие в эти соединения .....	125
3.3. Соединение шпонкой. Формы шпонок .....	127
3.4. Шлицевые соединения. Способы центрирования. Примеры чертежей деталей. ....	129
3.5. Штифтовые соединения .....	131
Тема 4. Неразъемные соединения.....	132
4.1. Понятие о неразъемном соединении. Основные виды неразъемных соединений .....	132
4.2. Соединение сваркой. Изображение швов сварных соединений.....	132
4.4. Особенности изображения паяных, клееных и сшивных соединений на чертежах. Примеры условных изображений клепаных соединений .....	135
Вопросы для самопроверки по разделу «Соединения деталей. Изображение и обозначение резьбы» .....	138
<b>IX. РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ И ЭСКИЗЫ ДЕТАЛЕЙ. ИЗОБРАЖЕНИЕ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ, СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ ИЗДЕЛИЙ. ЧЕРТЕЖ ОБЩЕГО ВИДА .....</b>	<b>138</b>
Тема 1. Основные требования к оформлению рабочих чертежей деталей.....	138
1.1. Понятие о чертеже детали. Содержание рабочего чертежа детали .....	138
1.2. Рекомендации по выбору главного изображения детали на чертеже. Обоснование выбора масштаба изображения и формата чертежа .....	140
Тема 2. Эскизы деталей .....	141
2.1. Понятие об эскизе. Содержание чертежа. Подготовительная стадия выполнения эскиза детали с натуры.....	141
2.2. Последовательность выполнения эскиза детали с натуры на основной стадии .....	142
2.3. Выполнение эскизов деталей крана пробкового .....	143
Тема 3. Сборочные чертежи. Чертежи общих видов.....	145
3.1. Понятие о сборочном чертеже. Назначение изображений и размеров на сборочном чертеже.....	145

3.2. Условности и упрощения на сборочном чертеже. Правила штриховки на разрезах и сечениях.....	146
3.3. Правила нанесения номеров позиций составных частей сборочной единицы .....	149
3.4. Понятие о чертеже общего вида. Отличия от сборочного чертежа. Порядок выполнения .....	149
Тема 4. Спецификация. Чтение и детализирование сборочных чертежей .....	151
4.1. Назначение спецификации, ее разделы и последовательность их заполнения .....	151
4.2. Структура таблицы спецификации и правила ее заполнения .....	154
4.3. Детализирование. Последовательность этапов детализирования сборочного чертежа .....	155
Вопросы для самопроверки по разделу «Рабочие чертежи и эскизы деталей. Изображение сборочных единиц, сборочный чертеж изделий. Чертежи общих видов» .....	156
<b>ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ.....</b>	<b>157</b>
1. Теоретические вопросы к экзаменационным билетам (экзамен в 1-м семестре).....	157
2. Теоретические вопросы к экзаменационным билетам (экзамен во 2-м семестре).....	157
3. Задачи экзаменационных билетов по темам .....	158
3.1. Задание геометрических объектов на чертеже .....	158
3.2. Позиционные задачи.....	162
3.3. Метрические задачи.....	170
3.4. Кривые линии и поверхности .....	177
3.5. Аксонометрические проекции .....	180

## ПРЕДИСЛОВИЕ

«Начертательная геометрия и инженерная графика» – одна из фундаментальных дисциплин в подготовке бакалавров и дипломированных специалистов широкого профиля.

Начертательная геометрия служит теоретической основой построения технических чертежей в виде графических моделей конкретных объектов машиностроения. Инженерная графика вырабатывает у студентов умение и навыки понимания по чертежу конструкции изделия и принципа действия изображенного технического объекта.

Изображение и конструирование графических моделей (технических форм) на плоскости познается с помощью абстрактных пространственных форм (фигур). Пространственных форм много. Основные из них – точка, прямая, плоскость, поверхность. Цель и задача изучения дисциплины – приобретение студентами начальных знаний и навыков чтения и разработки чертежей конструкций реально существующих машиностроительных объектов.

В предлагаемом учебном пособии изложение материала ориентировано на базовые знания дидактических единиц дисциплины «Начертательная геометрия и инженерная графика», структура которых разработана Росаккредагентством. Базовые знания являются остаточными знаниями студентов после того, как изучение дисциплины уже закончено. Поэтому для формирования у будущих специалистов компетенций и профессиональных навыков конструирования необходимо изучать дисциплину по классическим учебникам, таким, например, как «Краткий курс начертательной геометрии» А.Д. Посвянского (Тверь: ТвГТУ, 2013, 228 с.); «Машиностроительное черчение и автоматизация выполнения чертежей» В.С. Левицкого (М.: Высшая школа, 2003, 434 с.); «Начертательная геометрия и черчение», 2-е изд., перераб. и доп. (М.: Гуманитарный издательский центр «ВЛАДОС», 2002, 472 с.) и др., а также знать основные положения ЕСКД и справочной литературы.

Компьютерная графика выполнена доцентом кафедры «Инженерная графика» Т.П. Кузнецовой.

### Принятые обозначения и символы

1. Точки, расположенные в пространственной системе координат и их проекции: прописными буквами латинского алфавита – A, B, C, D... или цифрами – 1, 2, 3...

2. Прямые и кривые линии в пространстве и их проекции: строчными буквами латинского алфавита – a, b, c, d...

3. Отрезок прямой, определенной двумя точками: в соответствии с обозначением этих точек – AB, CD, MN...

4. Плоскости и поверхности: прописными буквами русского алфавита – А, Б, В, Г...

5. Углы: строчными буквами греческого алфавита –  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\varphi$ ... или  $\sphericalangle ABC$ ,  $\sphericalangle B$ ...

6. Оси вращения и проецирующие прямые:  $i$ ,  $j$ ,  $k$ ...

7. Прямые уровня и плоскости проекций (уровня):  $h$  – горизонталь,  $f$  – фронталь,  $p$  – профильная прямая;  $\Phi$  или  $\Pi_1$  – фронтальная плоскость,  $\Gamma$  или  $\Pi_2$  – горизонтальная плоскость,  $\Pi$  или  $\Pi_3$  – профильная плоскость;  $\Pi'$  – произвольная плоскость проекций.

8. Знаки:  $//$  – параллельность,  $\perp$  – перпендикулярность,  $\subset$  – принадлежность,  $\cap$  или  $\times$  – пересечение фигур,  $\Delta$  – треугольник,  $\cdot$  – скрещивание,  $=$  – совпадение.

## I. ЗАДАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ЧЕРТЕЖЕ

### Тема 1. Метод проекций, виды проецирования

#### 1.1. Способы проецирования.

##### Аппарат центрального и параллельного проецирования

Все изображения геометрических (машиностроительных) объектов на чертежах получают методом проецирования. Суть метода – проведение проецирующих прямых из какой-либо точки  $S$  через точки заданной фигуры  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ... до пересечения с плоскостью проекций  $\Pi'$  и построение изображения фигуры на плоскости  $\Pi'$  проекциями ее точек  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$ ... (точки пересечения проецирующих прямых с плоскостью  $\Pi'$ ).

Проецирование можно выполнять для любых точек пространства, кроме точек, лежащих в плоскости, проходящей через точку  $S$  и параллельной плоскости  $\Pi'$ . Различают центральное, параллельное, косоугольное и ортогональное (прямоугольное) проецирование.

Проецирование, осуществляемое из некоторой точки пространства  $S$ , не лежащей в плоскости проекций  $\Pi'$ , путем проведения проецирующих прямых через точки заданной фигуры, называется *центральным*. Аппарат центрального проецирования (рис. 1.1) включает плоскость проекций  $\Pi'$ ; центр проецирования – точку  $S$ , не лежащую в плоскости проекций  $\Pi'$ ; прямые  $SA$ ,  $SB$ ,  $SC$ ,  $SD$  – проецирующие прямые; точки  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$ ,  $D'$  – проекции точек  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  на плоскость  $\Pi'$ ; треугольник  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$  – проекцию треугольника  $ABC$  на плоскость  $\Pi'$ .

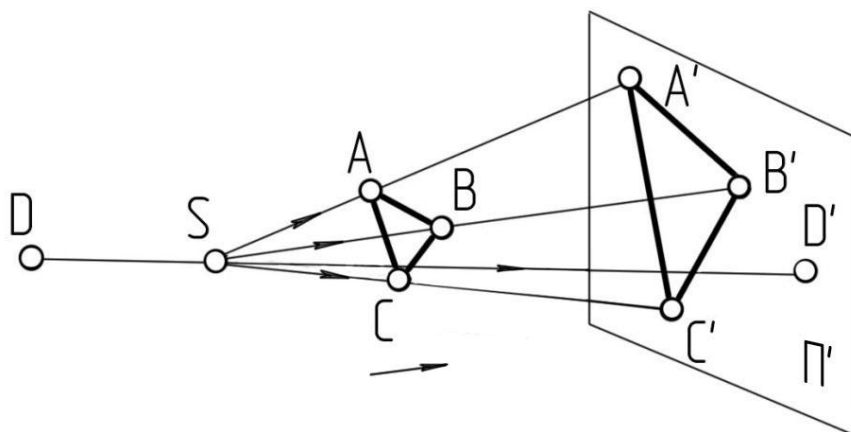


Рис. 1.1. Схема центрального проецирования

Проецирование из бесконечно удаленной точки пространства  $S$  называется *параллельным*. В этом случае все проецирующие прямые, как пересекающиеся в бесконечно удаленной точке  $S$ , будут параллельны некоторому направлению  $m$ . Для того чтобы построить проекции точек  $A, B, C$  (рис. 1.2), через них проводят проецирующие прямые параллельно направлению проецирования  $m$ , а затем находят точки  $A', B', C'$  – пересечения этих прямых с плоскостью  $\Pi'$ .

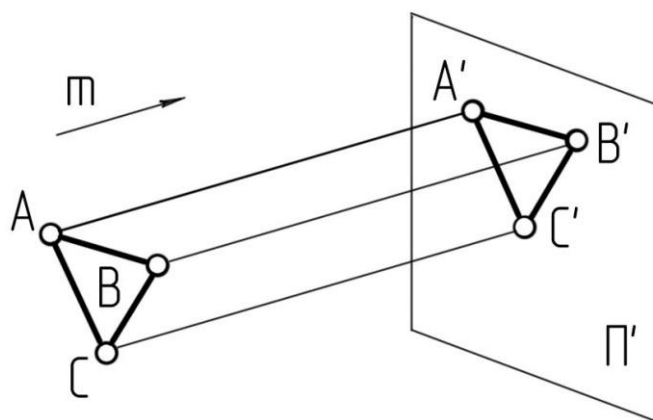


Рис. 1.2. Схема параллельного проецирования

## 1.2. Особенности центрального и параллельного проецирования

Каждая геометрическая фигура представляет собой множество точек. Для построения ее проекции необязательно проецировать все ее точки. Достаточно для прямой линии (или ее отрезка) построить проекции двух ее точек, для плоскости – трех точек, для многоугольника (многогранника) – проекции его вершин.

### 1.3. Суть косоугольного и прямоугольного (ортогонального) параллельного проецирования

Если направление параллельного проецирования  $m$  перпендикулярно плоскости проекции  $\Pi'$ , то проецирование называется *прямоугольным* или *ортогональным*. Во всех остальных случаях параллельное проецирование называется *косоугольным*.

### 1.4. Свойства параллельного проецирования

1.4.1. Проекцией точки является точка.

1.4.2. Проекцией прямой линии является прямая линия (общий случай). Это свойство называют свойством *прямолинейности*.

1.4.3. Проекцией точки, лежащей на некоторой прямой, является точка, лежащая на проекции данной прямой. Это свойство называют свойством *принадлежности*.

1.4.4. Проекциями параллельных прямых являются параллельные прямые (общий случай). Это свойство называют свойством *сохранения параллельности*.

1.4.5. Отношение проекций отрезков, лежащих на параллельных прямых или на одной и той же прямой, равно отношению самих отрезков.

1.4.6. Проекция фигуры (оригинала) не меняется *при параллельном переносе* плоскости проекций или самой фигуры.

### 1.5. Системы изображения в начертательной геометрии и их особенности

В начертательной геометрии при проецировании используют четыре основные системы построения изображений:

*эпюр* (ортогональный или комплексный чертеж). Способ проецирования – ортогональное. Особенность – условное совмещение плоскостей проекций с плоскостью чертежа путем их вращения;

*проекции с числовыми отметками*. Способ проецирования – ортогональное. Особенность – расстояние до плоскости проекций определяется числовой отметкой;

*перспектива*. Способ проецирования – центральное. Особенность – ограничение максимального угла между проецирующими прямыми (лучами);

*аксонометрические проекции*. Способ проецирования – параллельное или центральное. Особенность – проецирование вместе с осями координат.

## **Тема 2. Прямоугольный (ортогональный) чертеж точки на две и три плоскости проекций**

### **2.1. Требования, предъявляемые к проекционному чертежу**

К проекционным чертежам предъявляются следующие основные требования:

- 1) чертеж должен быть наглядным, т. е. вызывать пространственное представление об изображенном предмете;
- 2) чертеж должен точно (единственным образом) определять положение изображаемого предмета, его форму (геометрию) и размеры. Это свойство чертежа называют обратимостью;
- 3) изображение предмета должно быть удобным для чтения размеров;
- 4) процесс построения изображения должен быть простым.

Приведенные на рис. 1.1 и 1.2 схемы центрального и параллельного проецирования на *одну плоскость проекций* не определяют однозначно форму и положение оригинала (предмета) в пространстве (известны две координаты из необходимых трех). Такие чертежи не обладают обратимостью. Для построения обратимых чертежей проекционные чертежи дополняют необходимыми условиями. Наибольшее распространение в практике получили комплексные чертежи в ортогональных проекциях и аксонометрические чертежи.

### **2.2. Получение комплексного чертежа точки А (эпюр Монжа) на две и три фиксированные плоскости проекций**

Три декартовы координаты точки однозначно определяют ее положение в пространстве. Этому соответствует чертеж, составленный из ортогональных проекций оригинала на две или более взаимно перпендикулярные плоскости проекций. Такой чертеж называется *комплексным*.

Принцип образования комплексного чертежа: предмет проецирования (точка, линия, поверхность, форма техническая и т. п.) располагается внутри куба, и рассматриваются его проекции на грани куба изнутри. Проекции называются видами, так как под видом понимают изображение обращенной к наблюдателю видимой части предмета проецирования. Государственный стандарт ЕСКД предусматривает шесть основных видов (ГОСТ 2.305-68).

Образование трехпроекционного (трехкартинного) комплексного чертежа точки А показано на рис. 1.3.

Точка  $A$  (оригинал) проецируется на три фиксированные плоскости проекций:  $\Pi_1$  (фронтальная плоскость проекций –  $\Phi$ ),  $\Pi_2$  (горизонтальная плоскость проекций –  $\Gamma$ ) и  $\Pi_3$  (профильная плоскость проекций –  $\Pi$ ). Линии пересечения плоскостей  $x$ ,  $y$ ,  $z$  называются *осями координат* (осями проекций).  $A_1$  (вид спереди) проекция точки  $A$  на фронтальную плоскость проекций –  $\Phi(\Pi_1)$ ;  $A_2$  (вид сверху) проекция точки  $A$  на горизонтальную плоскость проекций  $\Gamma(\Pi_2)$ ;  $A_3$  (вид слева) проекция точки  $A$  на профильную плоскость проекций  $\Pi(\Pi_3)$ ; высота точки  $h$  – удаление точки  $A$  от горизонтальной плоскости проекций  $\Pi_2(\Gamma)$ ; глубина точки  $f$  – удаление точки  $A$  от фронтальной плоскости проекций  $\Pi_1(\Phi)$ ; широта точки  $p$  – удаление точки  $A$  от профильной плоскости проекций  $\Pi_3(\Pi)$ .

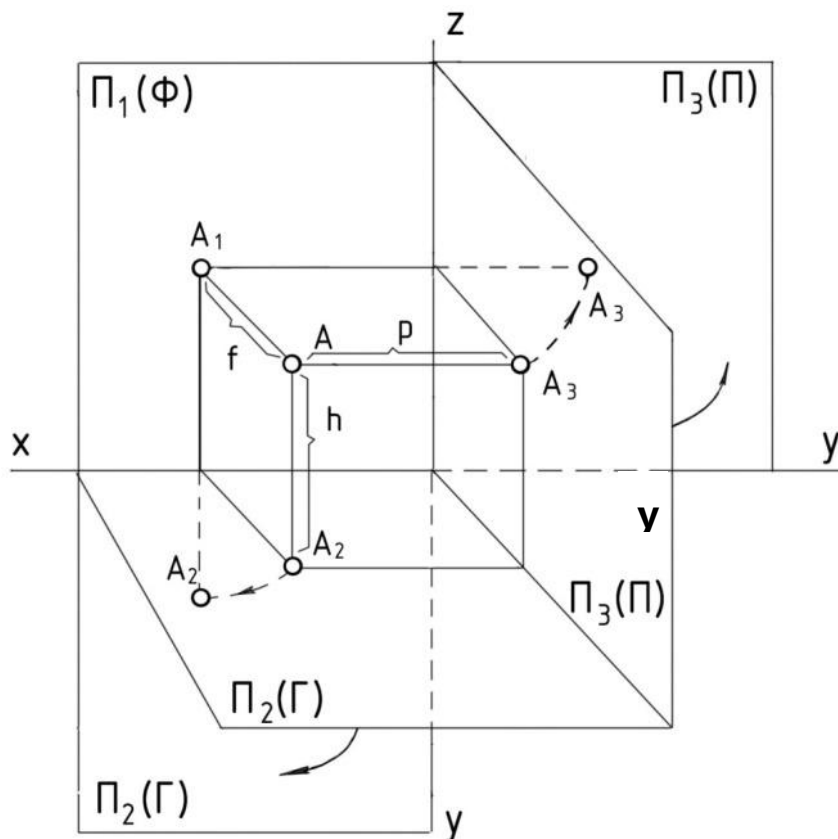


Рис. 1.3. Образование трехпроекционного комплексного чертежа точки  $A$  на фиксированных плоскостях проекций

Для того чтобы получить комплексный чертеж (эпюру Монжа), горизонтальную  $\Pi_2$  и профильную  $\Pi_3$  плоскости проекций совмещают поворотом вокруг осей координат  $x$  и  $z$  с фронтальной плоскостью проекций  $\Pi_1$  (см. рис. 1.3). В результате получают чертеж (рис. 1.4), состоящий из трех проекций точки  $A$ :  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$ .



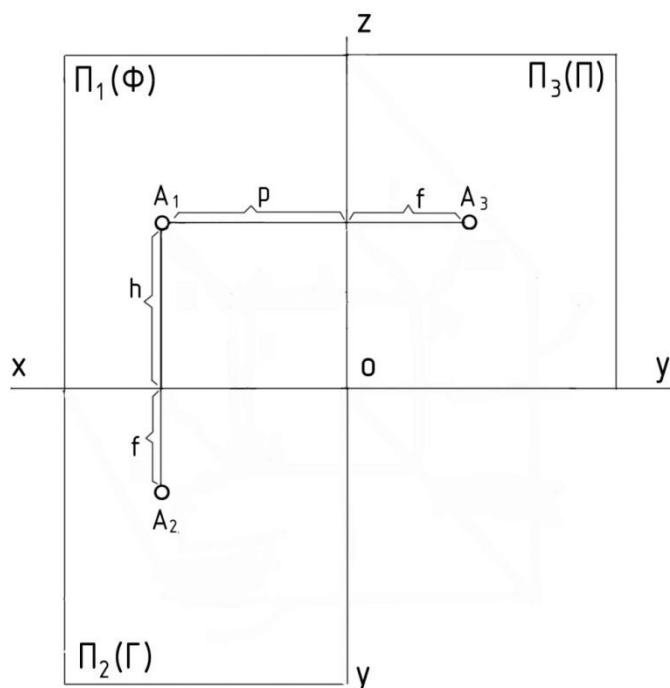


Рис. 1.4. Трехпроекционный чертеж точки  $A$  на фиксированных плоскостях проекций

Линии  $A_1-A_2$ ,  $A_1-A_3$  называются *линиями связи*. Из чертежа следует, что виды спереди и сверху располагаются на вертикальной (перпендикулярно оси  $x$ ), а виды спереди и слева – на горизонтальной (перпендикулярно оси  $z$ ) линиях связи. Общим параметром, связывающим виды спереди и сверху, является ширина  $p$ , виды спереди и слева – высота  $h$ , виды слева и сверху – глубина  $f$ .

Из рис. 1.4 видно, что любые две проекции точки на чертеже ( $A_1-A_2$ ,  $A_1-A_3$ ,  $A_2-A_3$ ) однозначно определяют ее положение в пространстве. В этом случае координаты точки  $x$ ,  $y$ ,  $z$  известны, т. е. по двум проекциям заданной точки всегда можно построить третью, и притом только одну.

Ортогональные чертежи в начертательной геометрии с двумя проекциями (видами) называют двухпроекционными (двухкартинными).

### 2.3. Базовые плоскости и базы отсчета.

#### Чертеж точки $A$ на нефиксированных плоскостях проекций

В технической практике используют чертеж при нефиксированных плоскостях проекций. Основанием этому служит свойство параллельного проецирования (см. п. 1.3.6). Комплексный чертеж точки  $A$  при нефиксированных плоскостях проекций показан на рис. 1.5. В этом случае осей координат нет, а высоты, глубины и широты замеряют от плоскостей, которые называют *базовыми*. Высоты  $h$  замеряют от горизонтальной  $\Pi_2$  ( $\Gamma$ ), глубины  $f$  – от фронтальной  $\Pi_1$  ( $\Phi$ ), широты  $p$  – от профильной базовых

плоскостей. На виде спереди –  $\Gamma$  и  $\Pi$  – проекции линии пересечения базовых плоскостей  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  с фронтальной плоскостью проекций  $\Pi_1$  ( $\Phi$ ); на виде сверху –  $\Phi$  и  $\Pi$  – проекции линий пересечения базовых плоскостей  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  с профильной плоскостью проекций  $\Pi_3$  ( $\Pi$ ).

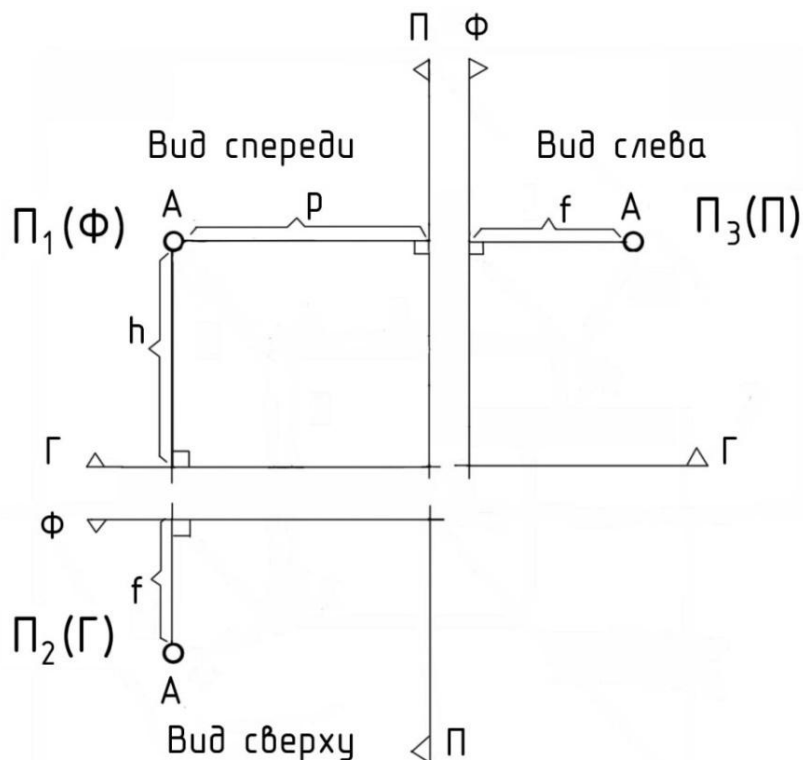


Рис. 1.5\*. Чертеж точки А  
на трех нефиксированных плоскостях проекций

Проекции базовых плоскостей называются *базами отсчета*, которые на чертеже обозначают начальными буквами базовых плоскостей –  $\Phi$ ,  $\Gamma$  и  $\Pi$  или знаком « $\Delta$ » (равносторонний треугольник, см. рис. 1.5). Базы отсчета проводят произвольно, с учетом уменьшения построений и измерений, компактности и наглядности чертежа. Количество баз отсчета зависит от условий задачи. Для удобства чтения чертежа базовую плоскость  $\Gamma$  располагают ниже всех точек оригинала,  $\Phi$  – позади всех точек оригинала,  $\Pi$  – правее.

Реконструирование оригинала по его чертежу, образованному при нефиксированных плоскостях проекций, производят по его виду спереди  $\Pi_1$  ( $\Phi$ ) и измеренным на чертеже глубинам точек оригинала по отношению к фиксированной в произвольном положении базовой плоскости проекций  $\Pi_1$  ( $\Phi$ ) на виде сверху или слева (отмечена знаками « $\Phi$ » и « $\Delta$ »).

\* На рис. 1.5 и всех последующих опущены индексы в обозначениях проекций точек и других оригиналов. Расположение видов на чертеже определяется ГОСТ 2.305-68 ЕСКД.

## Тема 3. Чертеж прямой линии, чертеж плоскости

### 3.1. Способы задания прямой линии на чертеже

В пространстве положение любой прямой определяется положением двух ее точек (рис. 1.6).

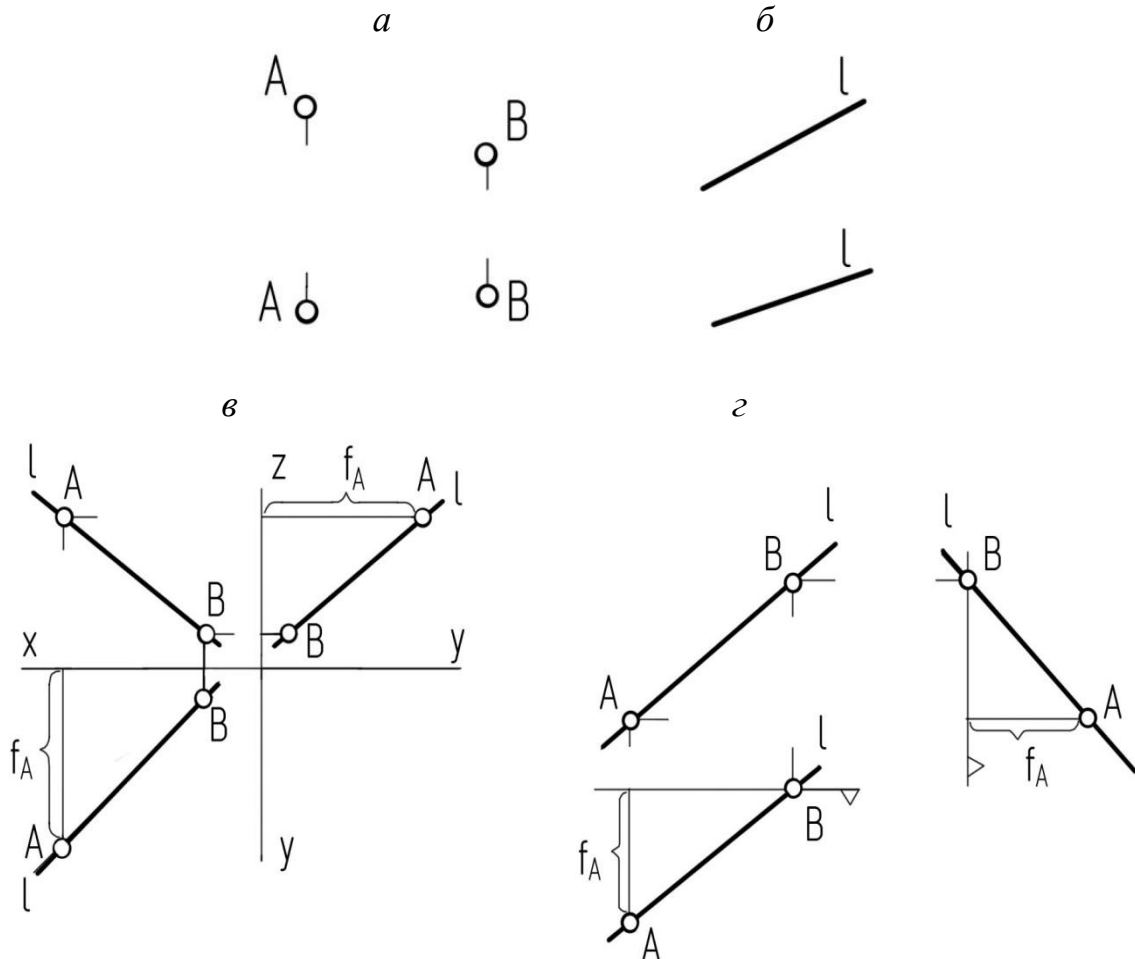


Рис. 1.6. Способы задания прямой  $l$  на чертеже:  
*a* – видами двух точек  $A$  и  $B$ ; *б* – видами этой прямой (на основании свойств прямолинейности); *в* – на фиксированных плоскостях проекций;  
*г* – на нефиксированных плоскостях проекций

### 3.2. Способы задания плоскости на чертеже

В пространстве положение плоскости однозначно определяется пятью вариантами взаимного расположения различных геометрических фигур, представленными на рис. 1.7.

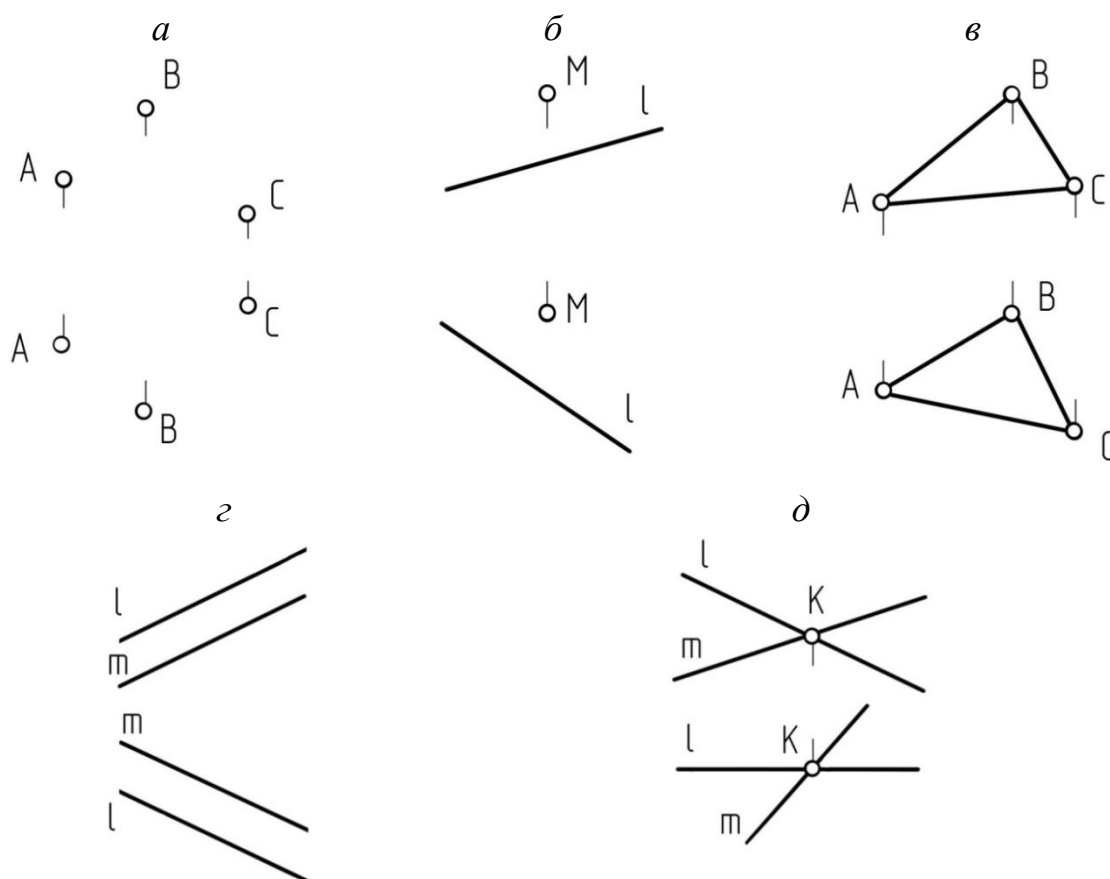


Рис. 1.7. Способы задания плоскости на чертеже:

- a* – проекциями трех точек, не лежащих на одной прямой (A, B, C);
- б* – проекциями прямой и точки, не принадлежащей этой прямой ( $l$ , M);
- в* – отрезком плоскости ( $\Delta ABC$ ); *г* – проекциями двух параллельных прямых ( $l//m$ ); *д* – проекциями двух пересекающихся прямых ( $l \times m$ )

Каждый из представленных на рис. 1.7 способов задания плоскости может быть преобразован один в другой. Кроме отмеченных случаев, в начертательной геометрии плоскость иногда задают проекциями любой плоской фигуры, все точки которой лежат в одной плоскости и ограничены линиями, составляющими контур этой фигуры. К плоским фигурам можно отнести многоугольники, окружности, эллипсы, параболы и другие плоские кривые линии. Наиболее простой фигурой, которой может быть задана плоскость, является треугольник (см. рис. 1.7*в*).

При построении проекции плоской фигуры необходимо убедиться, что все ее точки находятся в одной плоскости. Например, четырехугольник может быть задан двумя проекциями трех его вершин и лишь одной проекцией четвертой вершины (рис. 1.8*а*). Недостающая проекция вершины (проекция точки D на виде спереди) лежит на пересечении линии проекционной связи, проведенной из точки D на виде сверху, и проекции диагонали BD, проходящей, в свою очередь, через точку K пересечения диагоналей (рис. 1.8*б*).

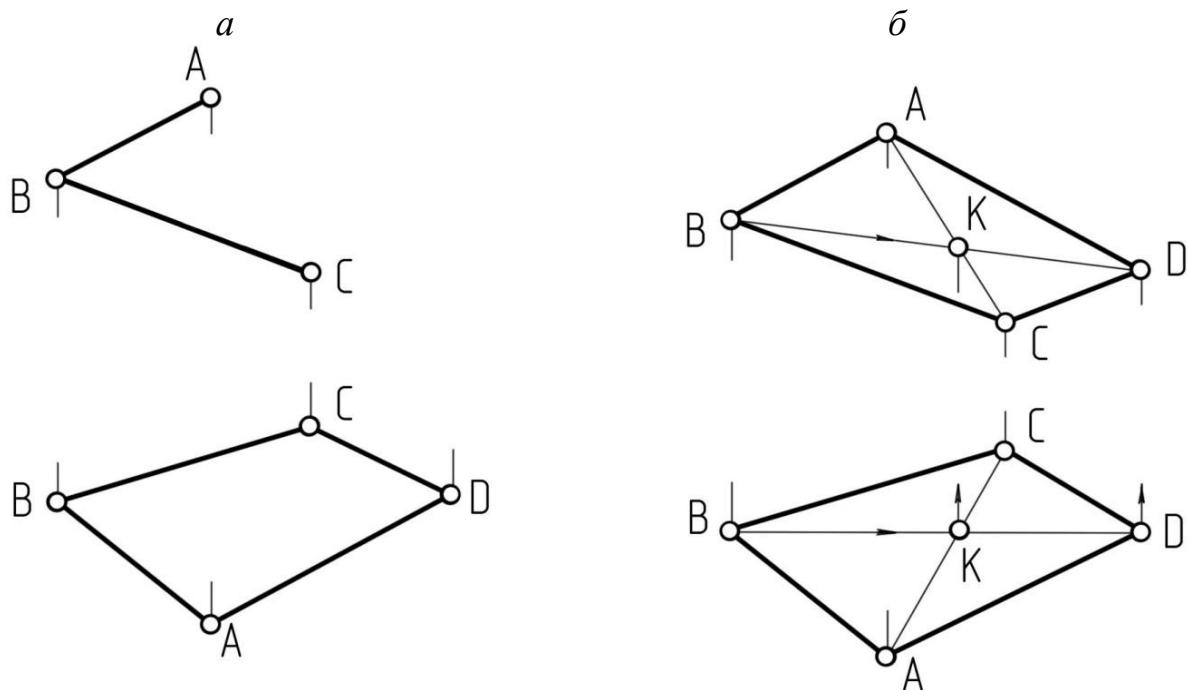


Рис. 1.8. Построение проекций плоскости, заданной четырехугольником:  
*a* – условие задачи; *б* – решение задачи

## Тема 4. Чертеж многогранной поверхности, чертеж поверхности вращения

### 4.1. Понятие о геометрическом теле

Часть *пространства*, ограниченная замкнутой поверхностью, называется *геометрическим телом*. Геометрические тела делятся на тела, ограниченные многогранной поверхностью, и тела, ограниченные кривой поверхностью.

### 4.2. Образование многогранной поверхности и ее изображение на чертеже

В общем случае многогранная, или гранная, поверхность образуется при пересечении двух и более плоскостей. *Многогранник* – это геометрическое тело, замкнутая поверхность которого состоит из отсеков (частей) плоскостей, ограниченных многоугольниками. Эти многоугольники называют *гранями*; общие стороны смежных многоугольников – *ребрами*; вершины многогранных углов, образованных гранями, сходящимися в одной точке, – *вершинами* многогранника; совокупность вершин и соединяющих их ребер – *сеткой* многогранника.

На чертеже построение многогранной поверхности сводится к построению проекции его сетки, т. е. вершин и соединяющих их ребер, с учетом взаимности.

### 4.3. Пирамиды и призмы, их разновидности

*Пирамида* – это выпуклый многогранник (он лежит по одну сторону от плоскости любой его грани; в противном случае многогранник *невыпуклый*), одной из граней которого является многоугольник (основание пирамиды), а другие грани (боковые) – треугольники с общей вершиной, называемой *вершиной пирамиды*.

Пирамида (рис. 1.9) называется *прямой*, если ее вершина  $S$  проецируется в центр тяжести основания, иначе пирамида называется *наклонной*. Прямая пирамида называется *правильной*, если в ее основании лежит правильный многоугольник. Часть пирамиды, заключенная между ее основанием и сечением, параллельным основанию, называется *усеченной пирамидой*.

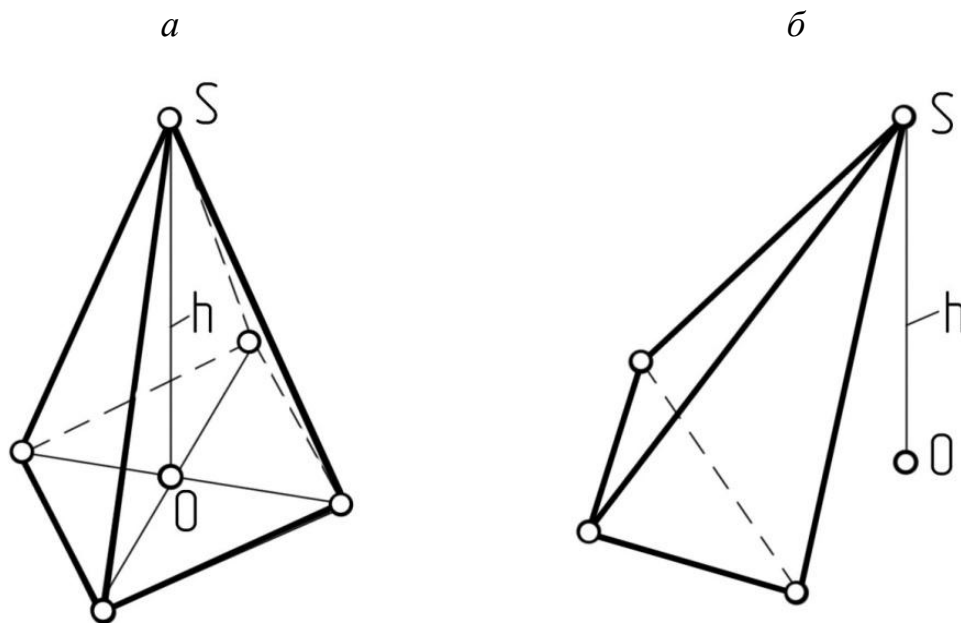


Рис. 1.9. Пирамиды: *a* – прямая; *б* – наклонная

*Призмой* называется выпуклый многогранник, у которого две противоположные грани (*основания призмы*) – равные многоугольники с параллельными сторонами, а остальные боковые грани – параллелограммы. Основания призмы лежат в параллельных плоскостях, а боковые ребра равны и параллельны друг другу. Призма называется *прямой*, если все ее боковые грани перпендикулярны основаниям, иначе призма –

*наклонная* (рис. 1.10). Прямую призму называют *правильной*, если ее основанием является правильный многоугольник.

Часть призмы, рассеченной плоскостью, не параллельной ее основаниям, называется *усеченной призмой*.

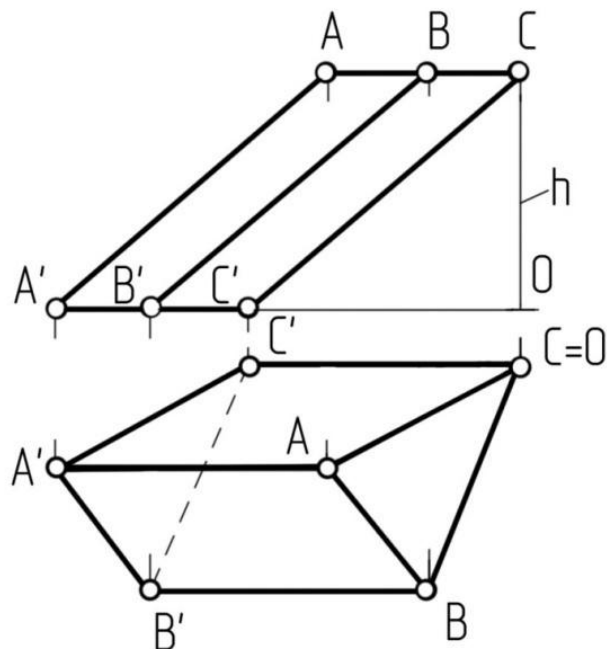


Рис. 1.10. Чертеж наклонной трехгранной призмы на видах спереди и сверху

#### 4.4. Образование поверхности вращения общего вида: параллель, экватор, горло, меридиан, главный меридиан

Существуют два способа формообразования поверхностей – *движением линии или поверхности*.

*Поверхность вращения* общего вида образуется вращением некоторой произвольной линии (образующей) вокруг неподвижной прямой (оси поверхности, называемой направляющей). Поверхность вращения может быть задана образующей и положением оси. Образующая может быть как плоской, так и пространственной кривой. При вращении образующей ABCD (плоская кривая, параллельная  $\Pi_1$ ) каждая ее точка описывает окружность, плоскость которой перпендикулярна оси  $i$  (рис. 1.11). Окружности называются *параллелями*. Наибольшая из параллелей, радиусом OC (вид сверху), называется *экватором*, а наименьшая, радиусом OB, – *горлом*.

Плоскость, проходящую через ось поверхности, называют *меридианальной плоскостью*, а линии, по которым эти плоскости пересекают поверхность вращения, – *меридианами*. Меридиан, параллель-

ный фронтальной плоскости проекций, называют *главным меридианом*. На этой плоскости он изображается без искажения – ABCD на виде спереди.

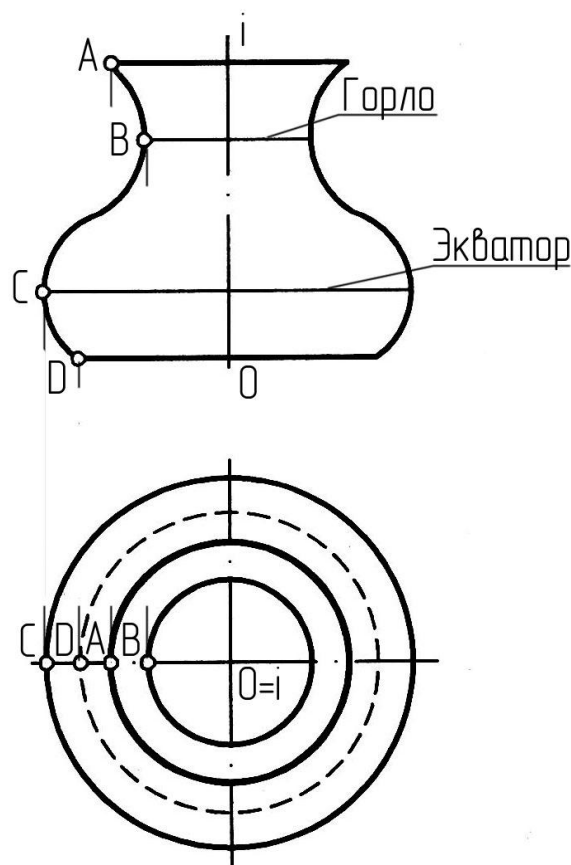


Рис. 1.11. Чертеж поверхности вращения общего вида

#### 4.5. Изображение поверхности вращения на чертеже. Очерк поверхности (контур) и ее определитель

При изображении поверхности вращения на чертеже ее обычно располагают так, чтобы ось поверхности была перпендикулярна к плоскости проекций. Поверхность считается заданной, если на чертеже имеются все элементы, которые позволяют построить любую точку, принадлежащую этой поверхности, т. е. поверхность необходимо задать *определителем*.

Проекция определителя поверхности вращения, как правило, состоит из проекции оси вращения, экватора, горла, верхней и нижней параллелей, главного меридиана. Для придания чертежу большей наглядности на нем обычно строят *очерк (контур) поверхности* – это граница, отделяющая проекцию поверхности от остальной части плоскости проекций.



#### 4.6. Линейчатые поверхности вращения. Закономерные поверхности вращения второго порядка

*Линейчатой поверхностью* называется поверхность, которая описывается какой-либо прямой (образующей) при ее движении в пространстве по какому-нибудь закону (направляющей). В общем случае линейчатая поверхность может быть получена движением прямой линии по трем направляющим.

В технике широкое распространение получили поверхности, образуемые вращением прямой линии: *цилиндр вращения* образуется вращением прямой линии  $\ell$  вокруг параллельной ей оси  $i$ ; *конус вращения* – вращением прямой  $\ell$  вокруг пересекающейся с ней оси  $i$ ; *однополостный гиперboloид вращения* – вращением прямой  $\ell$  вокруг скрещивающейся с ней оси  $i$ .

Названные поверхности являются *закономерными*, так как известен закон их образования и на чертеже они могут быть заданы точно. К закономерным поверхностям относятся также тор, катеноид и такие поверхности второго порядка, которые образуются вращением линии второго порядка вокруг ее действительной или мнимой оси: сфера, эллипсоид вращения, гиперboloид вращения (однополостной и двуполостной), параболоид вращения, круговая цилиндрическая поверхность, круговая коническая поверхность.

#### Вопросы для самопроверки по разделу «Задание геометрических объектов на чертеже»

1. Что такое проецирование?
2. Назовите аппарат центрального проецирования и особенности параллельного проецирования.
3. Какими свойствами обладает параллельное проецирование?
4. В чем суть ортогонального (параллельного) проецирования? Ортогональный чертеж точки на три плоскости проекций.
5. Что такое базовые плоскости проекций и база отсчета? Как их выбирают?
6. Правила построения чертежа точки на нефиксированных плоскостях проекций.
7. Какие требования предъявляются к проекционному чертежу?
8. Как можно построить прямую линию и плоскость на чертеже?
9. Что такое геометрическое тело? Как изображается многогранная поверхность на чертеже?
10. Как образуется поверхность вращения и какие основные ее элементы изображаются на чертеже? Что такое очерк (контур) поверхности и ее определитель?

## II. ПОЗИЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ

### Тема 1. Положение геометрических объектов (фигур) относительно плоскости проекций

#### 1.1. Что такое позиционные задачи?

Задачи, связанные с определением взаимного расположения различных объектов – точек, прямых линий, плоскостей, пространственных фигур, называются *позиционными*.

#### 1.2. Точки общего и частного положения

В зависимости от расположения точки относительно плоскостей проекций различают *точки общего положения*, не принадлежащие плоскостям проекций, и *точки частного положения*, лежащие в плоскостях проекций  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots$ , на осях проекций  $x, y, z$  или в начале координат.

У точки общего положения все три координаты не равны нулю ( $x \neq 0, y \neq 0, z \neq 0$ ). Одна или несколько координат точки частного положения равны нулю.

#### 1.3. Особенности прямой общего положения

Если прямая не параллельна ни одной из плоскостей проекций, то она пересекает все плоскости проекций и не проецируется ни на одну из них в натуральную величину. Такую прямую называют *прямой общего положения*.

Прямые общего положения бывают восходящими и нисходящими. Если по мере удаления от наблюдателя прямая поднимается, то ее называют *восходящей прямой*, и, наоборот, если при удалении от наблюдателя снижается – *нисходящей прямой*. Чтобы определить, какая из прямых изображена на чертеже, анализируется положение ее проекций по отношению друг к другу. Если проекции на видах спереди и сверху ориентированы относительно вертикальных линий связи встречно, то прямая – нисходящая (см. рис. 1.6а, в). Если ориентация видов совпадает, то прямая – восходящая (см. рис. 1.6б, г).

#### 1.4. Признаки прямых частного положения относительно плоскостей проекций

Прямые, перпендикулярные либо параллельные плоскости проекций, называют *прямыми частного положения*.

Прямая, перпендикулярная к горизонтальной плоскости проекций, называется горизонтально-проецирующей, или вертикальной прямой (рис. 2.1а). Все точки этой прямой проецируются на плоскости проекций  $\Pi_2$  ( $\Gamma$ ) в одну точку.

Поскольку проекции точек вертикальной прямой  $i$  (в том числе точки  $A$  и  $B$ ) на виде сверху совпадают, эти проекции называют *конкурирующими*. Из двух точек  $A$  и  $B$  на виде сверху видна проекция той точки, которая расположена выше, т. е. точки  $A$ . Эта прямая на виде спереди параллельна вертикальным линиям связи, а на виде слева – перпендикулярна горизонтальным линиям связи. На видах спереди  $\Pi_1$  и слева  $\Pi_3$  отрезок прямой  $AB$  не искажается, т. е. изображается в натуральную величину (рис. 2.1а).

Прямая  $i$ , перпендикулярная фронтальной плоскости проекций  $\Pi_1$  ( $\Phi$ ), и все точки, на ней лежащие, проецируются на вид спереди в одну точку (фронтально-проецирующая прямая  $i$ , рис. 2.1б).

Прямая  $i$ , перпендикулярная профильной плоскости проекций  $\Pi_3$  ( $\Pi$ ), и все точки, на ней лежащие, проецируются на вид слева в одну точку (профильно-проецирующая прямая, рис. 2.1в).

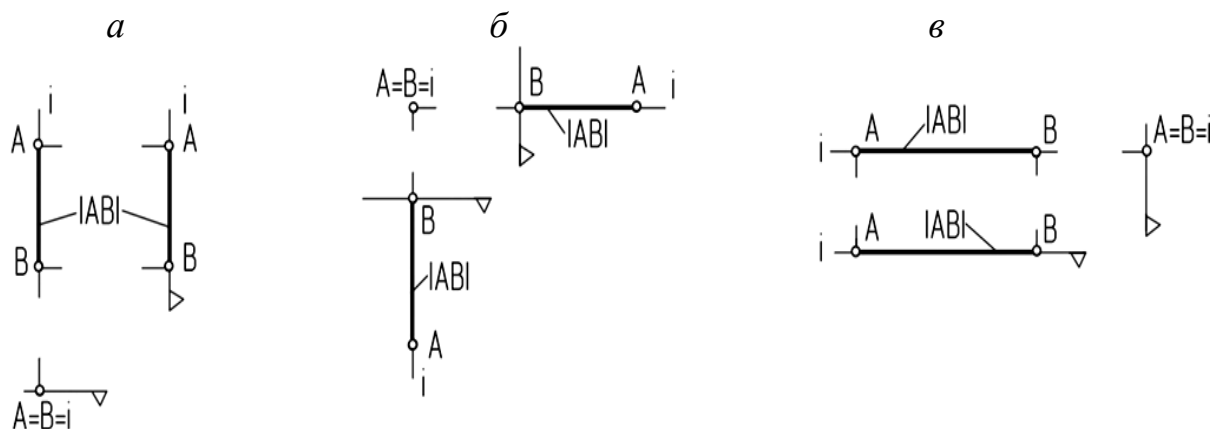


Рис. 2.1. Чертежи проецирующих прямых  $i$  на видах:  
а – сверху; б – спереди; в – слева

Все плоские кривые или прямые линии, параллельные одной плоскости проекций, называются *линиями уровня*. Прямая уровня проецируется на одну плоскость проекций в натуральную величину, т. е. без искажения (рис. 2.2).

Прямая  $h$ , параллельная горизонтальной плоскости проекций, называется *горизонталью*. На виде спереди горизонталь изображается прямой, перпендикулярной вертикальным линиям связи, а на виде сверху она проецируется в натуральную величину (отрезок  $|AB|$ ); здесь же можно отметить углы наклона горизонтали  $h - \alpha$  и  $\gamma$  – к фронтальной и профильной плоскостям проекций соответственно (рис. 2.2а).

Прямая  $f$ , параллельная фронтальной плоскости проекций, называется *фронталью*. На виде спереди фронталь проецируется без искажения. Здесь можно отметить углы наклона фронтали  $f - \beta$  и  $\gamma$ , к горизонтальной и профильной плоскостям проекций соответственно. На виде сверху фронталь изображается прямой, перпендикулярной вертикальным линиям связи (рис. 2.2б).

Прямая  $p$ , параллельная профильной плоскости проекций, называется *профильной прямой*. На видах спереди и сверху ее изображения совпадают по направлению с вертикальной линией связи, а на виде слева она проецируется без искажения. На виде слева можно отложить отрезок  $AB$  в натуральную величину и увидеть углы наклона профильной прямой  $p - \alpha$  и  $\beta$ , к фронтальной и горизонтальной плоскостям проекций соответственно (рис. 2.2в).

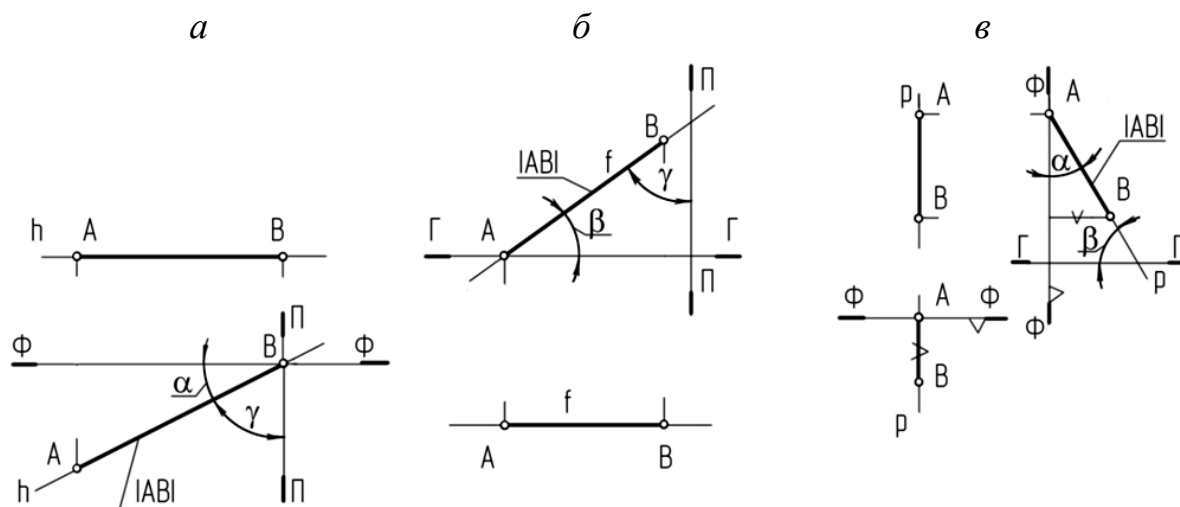


Рис. 2.2. Прямые уровня:  $a$  – горизонталь  $h$ ;  
 $b$  – фронталь  $f$ ;  $v$  – профильная прямая  $p$

### 1.5. Плоскости общего и частного положения

Плоскости, не параллельные и не перпендикулярные основным плоскостям проекций, называются *плоскостями общего положения*. Если плоскость перпендикулярна одной или двум плоскостям проекций, то ее называют *плоскостью частного положения*.

Если плоскость общего положения по мере удаления от наблюдателя поднимается, то ее называют *восходящей*; если снижается – *нисходящей*.

На чертеже (см. рис. 1.7а) оба вида точек А, В, С, которыми задана нисходящая плоскость, имеют разные обходы (вид спереди имеет обход по движению часовой стрелки, а сверху – против движения часовой стрелки). Виды треугольника АВС (см. рис. 1.7в), которыми задана восходящая плоскость, имеют одинаковые обходы (по движению часовой стрелки).

Принято считать, что на чертеже виды трех точек (не лежащих на одной прямой) восходящей плоскости ориентированы одинаково, а нисходящей – противоположно.

Плоскость, перпендикулярная одной плоскости проекций, называется *проецирующей*. Возможно три случая частных положений (рис. 2.3):

плоскость, перпендикулярную горизонтальной плоскости проекций, называют *горизонтально-проецирующей* или *вертикальной* плоскостью. На виде сверху эта плоскость изображается прямой линией, а на видах спереди и слева занимает все поле проекций. Если в плоскости Б лежит какая-либо фигура (например, треугольник АВС), то ее изображение на виде сверху совпадает с изображением плоскости (прямой), а на видах спереди и слева она проецируется с искажением. Углы  $\alpha$  и  $\gamma$  – углы наклона плоскости Б к фронтальной и профильной плоскостям проекций соответственно;

плоскость, перпендикулярная фронтальной плоскости проекций, называется *фронтально-проецирующей* или *наклонной* плоскостью. На виде спереди проекция плоскости Б изображается прямой, а на видах сверху и слева она занимает все поле проекций. Изображение плоской фигуры, лежащей в этой плоскости (например,  $\Delta ABC$ ), совпадает с проекцией плоскости Б (прямой), а на видах сверху и слева она проецируется с искажением. Углы  $\beta$  и  $\gamma$  – углы наклона плоскости Б к горизонтальной и профильной плоскостям проекций соответственно (без искажения);

плоскость, перпендикулярная профильной плоскости проекций, называется *профильно-проецирующей* или *наклонной* плоскостью. На виде слева проекция плоскости Б изображается прямой, а на видах спереди и сверху (не показаны) плоскость Б занимает все поле проекций. Плоская фигура ( $\Delta ABC$ ), лежащая в этой плоскости, на видах спереди и сверху (не показана) проецируется с искажением. Углы  $\alpha$  и  $\beta$  – углы наклона плоскости Б к фронтальной и горизонтальной плоскостям проекций соответственно.

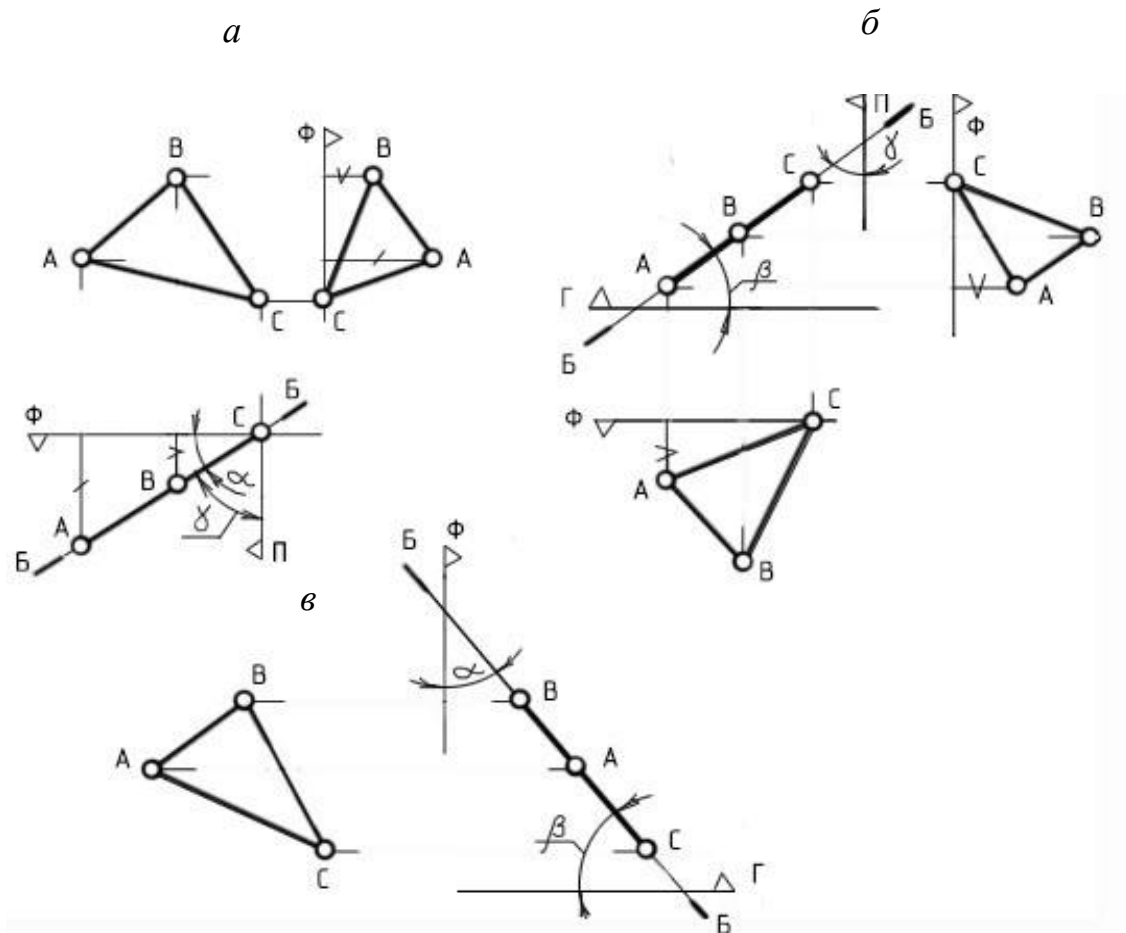


Рис. 2.3. Проецирующие плоскости: *а* – горизонтально-проецирующая (вертикальная); *б* – фронтально-проецирующая (наклонная); *в* – профильно-проецирующая (наклонная)

Если плоскость перпендикулярна двум плоскостям проекций, то она параллельна третьей плоскости проекций. Такие плоскости называют *плоскостями уровня*. Возможны три случая частных положений плоскостей уровня (рис. 2.4):

плоскость, параллельная горизонтальной плоскости проекций, называется *горизонтальной плоскостью уровня*. На виде спереди плоскость  $\Gamma$  изображается горизонтальной прямой, перпендикулярной вертикальным линиям связи. На виде сверху она занимает все поле проекций и всякая фигура, лежащая в этой плоскости, имеет натуральный вид;

*фронтальная плоскость уровня* – плоскость, параллельная фронтальной плоскости проекций. На виде сверху эта плоскость уровня изображается прямой, перпендикулярной вертикальным линиям связи, а на виде спереди она занимает все поле проекций и всякая фигура, лежащая во фронтальной плоскости уровня, изображается без искажения;

*профильная плоскость уровня* – плоскость, параллельная профильной плоскости проекций. На видах спереди и сверху плоскость изображается прямой, совпадающей по направлению с вертикальной линией связи.

На виде слева плоскость занимает все поле проекций, а всякая фигура, лежащая в этой плоскости, изображается в натуральную величину.

Плоская фигура может проецироваться на плоскость проекций в виде отрезка прямой линии только в случае, если плоскость, в которой лежит фигура, перпендикулярна этой плоскости проекций, т. е. плоская фигура лежит в проецирующей плоскости или в плоскости уровня. В этом случае говорят, что проекция фигуры *выродилась* в отрезок прямой ( $\triangle ABC$ , см. рис. 2.3; рис. 2.4).

Рассмотренные плоскости уровня могут приниматься в качестве базовых плоскостей проекций.

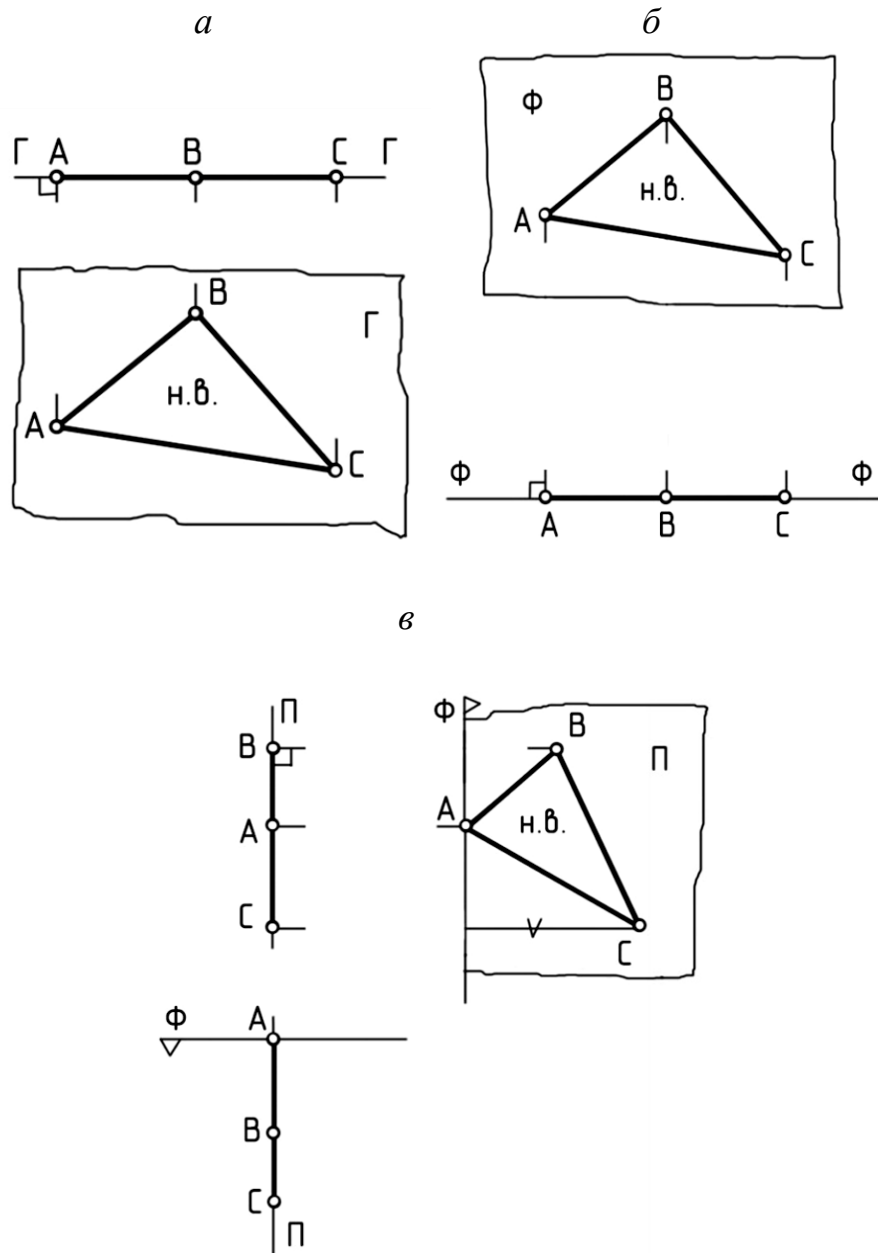


Рис. 2.4. Плоскости уровня: *a* – горизонтальная; *б* – фронтальная; *в* – профильная

## Тема 2. Принадлежность точки и прямой линии плоскости и многогранной поверхности

### 2.1. Условие принадлежности точки прямой линии

Точка принадлежит прямой линии, если проекции точки лежат на одноименных проекциях этой прямой по одной линии связи. Для построения проекции такой точки на чертеже необходимо и достаточно знать положение хотя бы одной ее проекции (рис. 2.5).

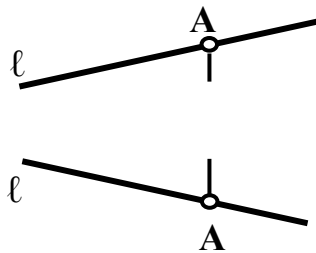


Рис. 2.5. Точка A на прямой  $\ell$

Точка A принадлежит прямой  $\ell$ , так как ее проекции лежат на одноименных проекциях этой прямой и на одной (вертикальной) линии связи.

### 2.2. Условие принадлежности прямой линии плоскости

Прямая линия лежит в плоскости, если проходит через две точки, принадлежащие этой плоскости. На рис. 2.6 прямая d принадлежит плоскости, заданной двумя параллельными прямыми  $\ell$  и m, поскольку точки 1 и 2 принадлежат этой плоскости. Точка 1 лежит на прямой  $\ell$ , а точка 2 – на прямой m.

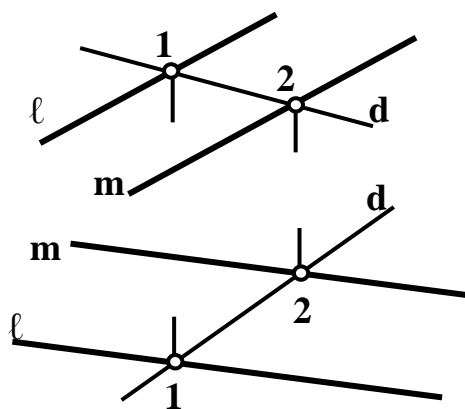


Рис. 2.6. Прямая d в плоскости, заданной двумя параллельными прямыми



### 2.3. Условие принадлежности точки плоскости и многогранной поверхности

Точка лежит в плоскости, если она лежит на прямой, принадлежащей этой плоскости. Для того чтобы в плоскости построить произвольную точку, как правило, необходимо сначала построить некоторую прямую, принадлежащую заданной плоскости, а затем построить на этой прямой точку (рис. 2.7).

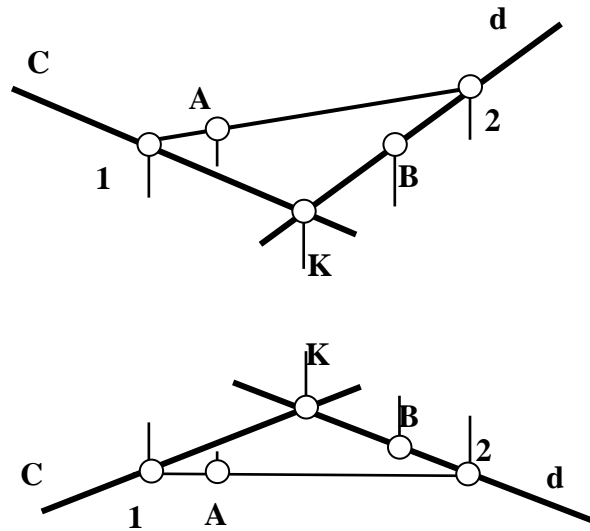


Рис. 2.7. Построение горизонтальной проекции точки А

Пусть плоскость задана двумя пересекающимися прямыми  $c$  и  $d$ , а точка  $A$  – только ее фронтальной проекцией. Известно, что точка  $A$  лежит в заданной плоскости. Для построения проекции точки  $A$  на виде сверху проводим в плоскости на виде спереди через точку  $A$  произвольную прямую  $1-2$ , строим эту прямую на виде сверху и затем по вертикальной линии связи, проведенной из заданной проекции точки  $A$ , определяем положение горизонтальной проекции точки  $A$  на прямой  $1-2$ . Точка  $B$  также принадлежит плоскости, так как ее проекции принадлежат прямой  $d$ , задающей эту плоскость.

Аналогично принадлежности точки или прямой какой-либо плоскости обосновывается принадлежность этих геометрических объектов многогранной поверхности.

Пусть требуется достроить проекцию некоторой точки (например, на виде спереди), лежащей в грани многогранника и заданной на виде сверху. В этом случае на виде сверху через проекцию точки в грани проводят произвольную прямую, строят эту прямую в той же грани на виде спереди и затем по вертикальной линии связи определяют ее положение на виде спереди из условия принадлежности точки прямой.

## 2.4. Понятие о линиях наибольшего уклона плоскости к плоскости проекций. Понятие о линии ската

Линиями наибольшего уклона к плоскостям проекций называются прямые, принадлежащие плоскости и перпендикулярные к прямым уровня этой плоскости – либо горизонталям, либо фронталям, либо профильным прямым. В первом случае линия наибольшего уклона определяет угол наклона плоскости к горизонтальной плоскости проекций, во втором – к фронтальной, в третьем – к профильной.

Линию наибольшего уклона к горизонтальной плоскости проекций называют *линией наибольшего ската* (или просто *линией ската*). Из данного определения следует, что это прямая, лежащая в плоскости и перпендикулярная горизонталям  $h$  этой плоскости. Прямой угол между линией ската плоскости и любой горизонталью этой плоскости проецируется на горизонтальную плоскость проекций (вид сверху) без искажения. Следовательно, горизонтальная проекция линии ската перпендикулярна горизонтальной проекции любой горизонтали.

Построение линии ската  $u$  плоскости  $B$  ( $\triangle ABC$ ), проходящей через точку  $B$ , показано на рис. 2.8. Вначале строим в плоскости общего положения горизонталь  $h$  на виде спереди перпендикулярно вертикальным линиям связи.

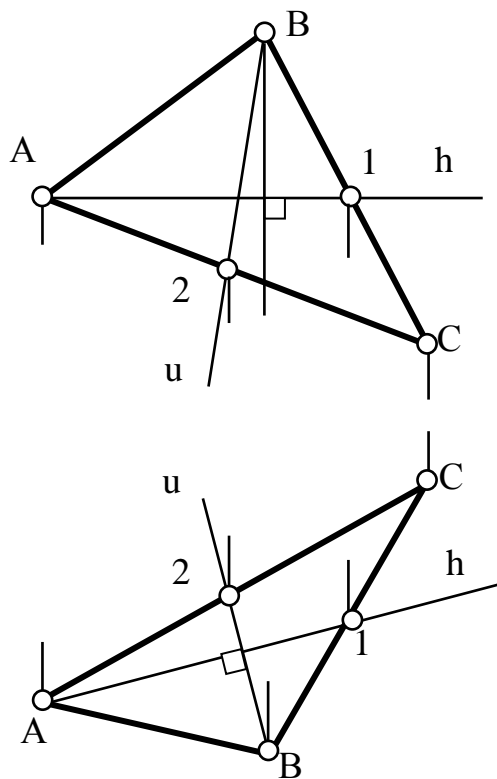


Рис. 2.8. Линия ската  $u$  плоскости, заданной треугольником  $\triangle ABC$

Затем на виде сверху строим линию ската  $u$ , проходящую через точку  $B$  перпендикулярно горизонтали  $h$ . Проекцию линии ската  $u$  на виде спереди находим по точкам  $B$  и  $2$ .

Аналогично можно построить линии наибольшего уклона к другим плоскостям проекций ( $\Phi$  или  $\Pi$ ), выполняя условие их перпендикулярности к соответствующим прямым уровня – фронтали  $f$  или профильной прямой  $p$ .

## 2.5. Возможные положения двух прямых относительно друг друга. Особенности изображения на чертеже

Прямые в пространстве могут совпадать, пересекаться, быть параллельными или скрещивающимися (рис. 2.9).

*Пересекающиеся прямые* имеют одну общую точку  $K$ . Эта точка на чертеже расположена на одной линии связи. Проекции пересекающихся прямых на одном из видов могут совпадать, например на виде спереди (рис. 2.9б). Такие прямые называются *фронтально конкурирующими*.

Если две прямые параллельны, то их одноименные проекции в общем случае на всех видах будут параллельны. Проекции параллельных прямых на одном из видов могут совпадать, например на виде сверху (рис. 2.9г). В этом случае прямые называются *горизонтально конкурирующими*.

Прямые могут быть *скрещивающимися*, т. е. не иметь точек пересечения, но и не быть при этом параллельными (рис. 2.9д). В данном случае точки пересечения проекций прямых на видах не лежат на одной линии связи. Точки 1 и 2, 3 и 4 попарно конкурируют. Точки 1 и 2 конкурируют на виде спереди и являются фронтально конкурирующими, а точки 3 и 4 конкурируют на виде сверху и являются горизонтально конкурирующими.

Для того чтобы определить видимость точек, следует запомнить простые правила:

из двух фронтально конкурирующих точек видна та, которая ближе к наблюдателю (наблюдатель  $\rightarrow$  объект проецирования  $\rightarrow$  плоскость проекций);

из двух горизонтально конкурирующих точек видна та, которая выше (на виде спереди);

из двух профильно конкурирующих точек видна та, которая левее (на виде спереди и сверху).

Из сказанного следует: на виде спереди видим точку 2, на виде сверху – точку 3 (рис. 2.9д); на виде сверху из двух горизонтально конкурирующих прямых  $\ell$  и  $m$  видна прямая  $m$  (рис. 2.9г).

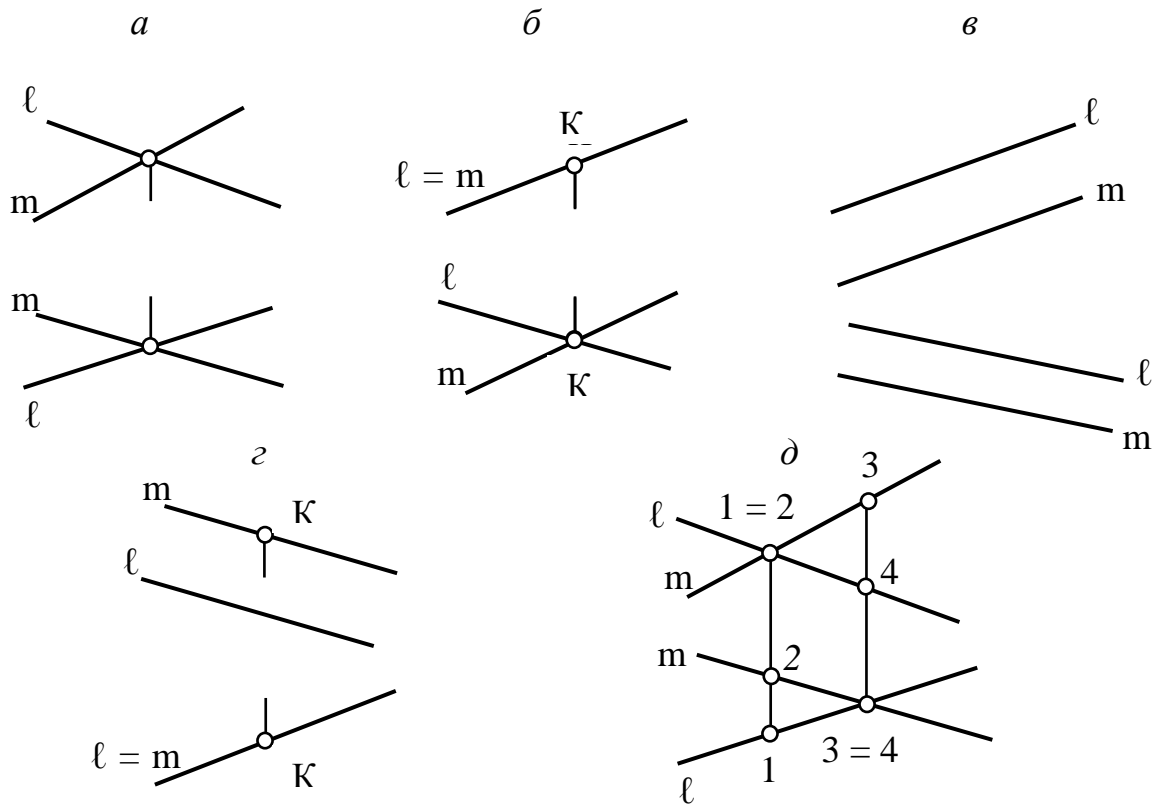


Рис. 2.9. Взаимное расположение двух прямых: *a*, *б* – пересекающиеся; *в*, *г* – параллельные; *д* – скрещивающиеся

## 2.6. Взаимное расположение точки и прямой, точек

Точка может находиться на прямой и вне ее. Пусть точка  $A$  расположена на прямой  $\ell$  (рис. 2.10). Согласно свойству принадлежности при параллельном проектировании проекции точки  $A$  должны принадлежать одноименным проекциям прямой  $\ell$ .

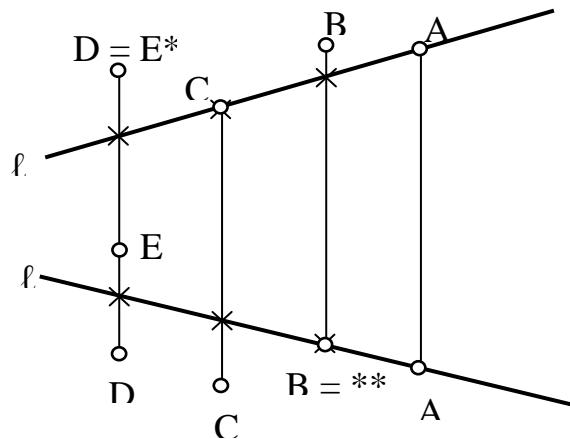


Рис. 2.10. Взаимное расположение точки и прямой, точек

Если точка расположена вне прямой, то хотя бы на одном из видов проекция точки не будет находиться на проекции прямой. Точка В на виде спереди не лежит на прямой  $\ell$ , а находится выше, чем горизонтально конкурирующая точка прямой, отмеченная на чертеже крестиком. Точка С на виде сверху не лежит на прямой  $\ell$ , а находится ближе к наблюдателю, чем фронтально конкурирующая точка прямой, отмеченная крестиком. Следовательно, точка С находится перед прямой; точка D – выше (над) и ближе (перед) прямой; точка E – выше и дальше (за) прямой  $\ell$ .

Взаимное расположение точек относительно друг друга определяют по трем параметрам: на виде спереди – по высоте (выше – ниже), на виде сверху – по глубине (ближе – дальше); на виде спереди или сверху – по широте (левее – правее). Так, точка D относительно точки С выше, дальше и левее. Точка В относительно точки С выше, дальше и правее. Точка С относительно точки В ниже, ближе (к наблюдателю) и левее. Точка E относительно точки D дальше (равные параметры по умолчанию не указывают).

### Тема 3. Пересечение прямой с плоскостью. Пересечение плоскостей

#### 3.1. Взаимное положение прямой относительно плоскости.

##### Условие принадлежности и параллельности прямой и плоскости

Прямая линия по отношению к плоскости может занимать следующие положения: принадлежать плоскости; быть параллельной плоскости; пересекаться с плоскостью (рис. 2.11).

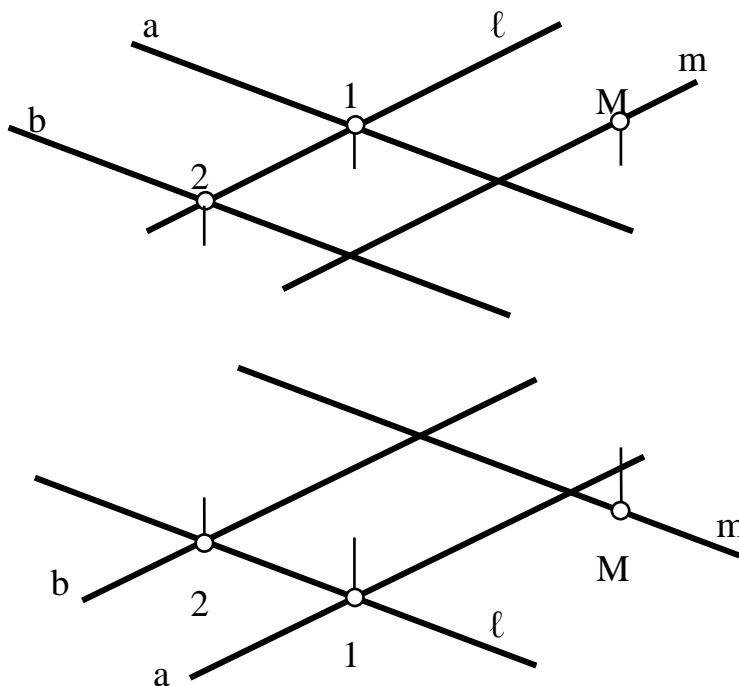


Рис. 2.11. Взаимное расположение прямой и плоскости

Прямая принадлежит плоскости, если две ее точки принадлежат плоскости. Прямая принадлежит плоскости Б ( $a//b$ ), так как точки 1 и 2 лежат в плоскости, а прямая  $\ell$  проходит через них.

Прямая параллельна заданной плоскости, если она параллельна какой-либо прямой данной плоскости. Прямая  $m$ , проходящая через точку М, параллельна прямой  $\ell$ , а  $\ell$  принадлежит плоскости Б, поэтому  $m$  параллельна плоскости Б.

### 3.2. Условие пересечения прямой с плоскостью. Метод конкурирующих прямых

Если прямая пересекает плоскость, то она имеет одну общую точку с плоскостью. Решение задачи сводится к рассмотрению взаимного положения двух прямых: заданной  $\ell$  и некоторой прямой  $m$ , принадлежащей плоскости Б и конкурирующей с  $\ell$  на одном из видов, например на виде сверху (рис. 2.12). После построения прямой  $m$  в плоскости Б на виде спереди по точкам 1 и 2 легко находится точка К пересечения  $\ell$  с  $m$ , т. е. общая точка прямой и плоскости. Затем по вертикальной линии связи находим проекцию точки К на виде сверху.

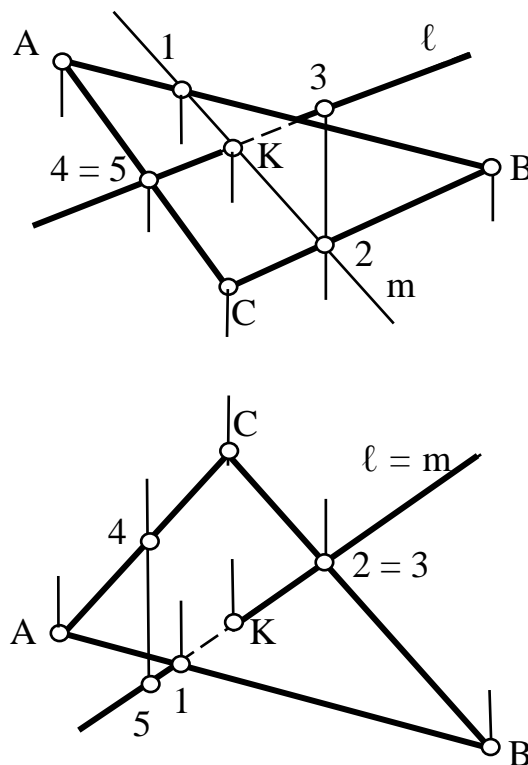


Рис. 2.12. Пересечение прямой с плоскостью

В связи с тем что при решении задачи использовались конкурирующие прямые, такой алгоритм получил название *метода конкурирующих прямых*.

Возможны три варианта взаимного расположения заданной прямой  $\ell$  и конкурирующей с ней прямой плоскости  $m$ : если эти прямые пересекаются в некоторой точке  $K$ , то в этой же точке данная прямая пересекается с плоскостью; если конкурирующие прямые совпадают или параллельны, то данная прямая соответственно принадлежит или параллельна данной плоскости. Если прямая или плоскость занимают частное положение, то решение задачи значительно упрощается.

### 3.3. Определение видимости прямой относительно плоскости

Видимость прямой относительно плоскости на чертеже (см. рис. 2.12) определяется с помощью двух пар конкурирующих точек. На виде сверху видимость определяется с помощью горизонтально конкурирующих точек. Возьмем, например, точки 2 и 3, из которых точка  $2 \in BC$ , а точка  $3 \in \ell$ . Видимой будет точка, имеющая бóльшую высоту. На виде спереди это точка 3. Следовательно, на виде сверху прямая  $\ell$  на участке  $K3$  видима, а на участке  $K1$  – невидима.

Для определения видимости прямой  $\ell$  на виде спереди воспользуемся парой фронтальных конкурирующих точек 4 и 5. Точка  $4 \in AC$ , точка  $5 \in \ell$ . Из двух фронтально конкурирующих точек видна та, которая имеет бóльшую глубину, т. е. точка 5. Следовательно, на виде спереди прямая  $\ell$  левее точки  $K$  будет видима, а правее, за плоскостью, – невидима.

### 3.4. Относительное положение плоскостей. Понятие о линии пересечения двух плоскостей

Две плоскости могут совпадать, быть параллельными или пересекаться. Плоскости совпадают, если три точки, не лежащие на одной прямой какой-либо плоскости, совпадают с тремя точками другой плоскости. Две плоскости параллельны, если две пересекающиеся прямые одной плоскости параллельны двум пересекающимся прямым другой плоскости (рис. 2.13). Плоскости  $B (a//b)$  и  $D (\ell \times m)$  параллельны, так как две пересекающиеся прямые плоскости  $B$  –  $a$  и  $c$  (или  $b$  и  $c$ ) – параллельны двум пересекающимся прямым  $\ell$  и  $m$  плоскости  $D$  ( $\ell//a$  и  $m//c$ ).

Линией пересечения двух плоскостей является прямая, все точки которой принадлежат обеим плоскостям. Для ее нахождения на чертеже достаточно построить две точки, общие для обеих плоскостей. Точки можно получить как результат пересечения линий одной плоскости с соответствующими линиями другой.

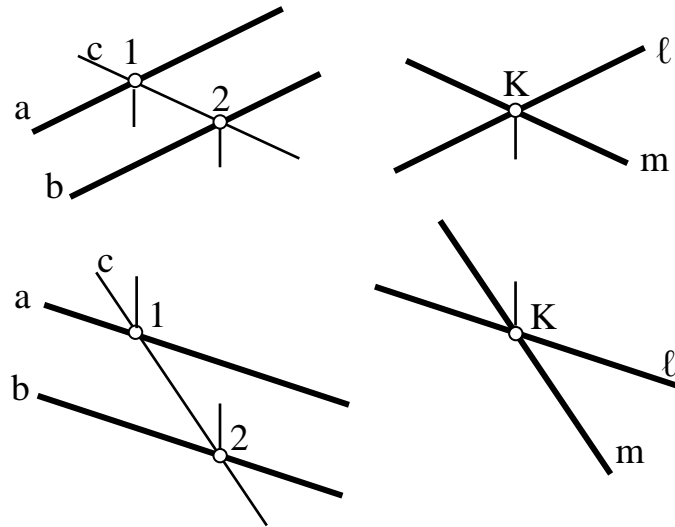


Рис. 2.13. Параллельность плоскостей

Для поиска линий, участвующих в пересечении, удобно использовать вспомогательные проецирующие плоскости. На рис. 2.14 показано построение линии пересечения двух плоскостей общего положения Б ( $a/b$ ) и Д ( $c \times d$ ). Для поиска конкурирующих линий 1-2  $\subset$  плоскости Б и 3-4  $\subset$  плоскости Д использована вспомогательная фронтально проецирующая плоскость Е, а для поиска другой пары конкурирующих линий – плоскость Ж//Е, проходящая через точки 5 и 6.

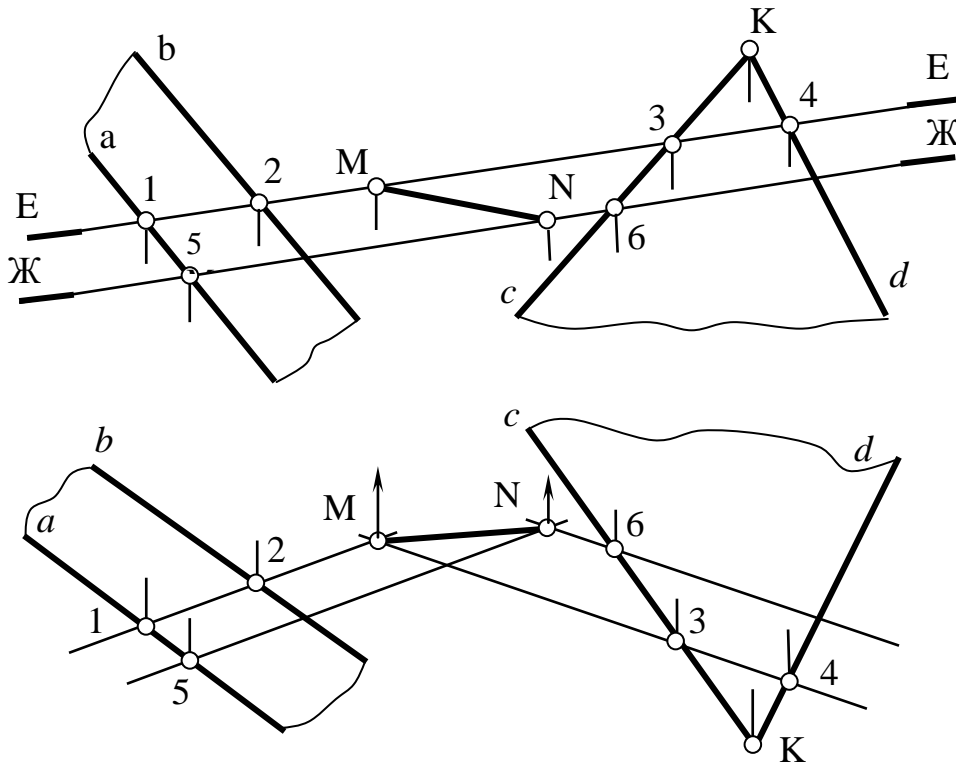


Рис. 2.14. Пересечение двух плоскостей общего положения



Точка М является точкой линии пересечения плоскостей из условия одновременной принадлежности ее трем плоскостям – Б, Д и Е, а точка N – трем плоскостям – Б, Д и Ж.

Если линии пересечения плоскостей общего положения и вспомогательной оказались параллельными, то возможно, что параллельны и плоскости общего положения. Чтобы окончательно убедиться в том, параллельными или пересекающимися являются плоскости, следует взять вторую вспомогательную плоскость, не параллельную первой.

Построение линии пересечения двух плоскостей осуществляется просто, если одна из них проецируется (рис. 2.15). В этом случае на одном из видов сверху линия пересечения MN непосредственно видна. Поэтому для нахождения линии пересечения двух плоскостей общего положения целесообразно одну из них сделать проецирующей на дополнительную плоскость проекций путем преобразования чертежа.

Если две плоскости взаимно перпендикулярны, то каждая из них проходит через перпендикуляр к другой плоскости. В итоге построение взаимно перпендикулярных плоскостей сводится к построению взаимно перпендикулярных прямой и плоскости.

### 3.5. Определение видимости отсеков плоскостей по направлению к плоскостям проекций

Плоскость  $B_1$  на виде сверху (рис. 2.15) вырождается в прямую линию DF, а плоскость  $B_2$  проекциями своего отсека  $\triangle ABC$  видна полностью.

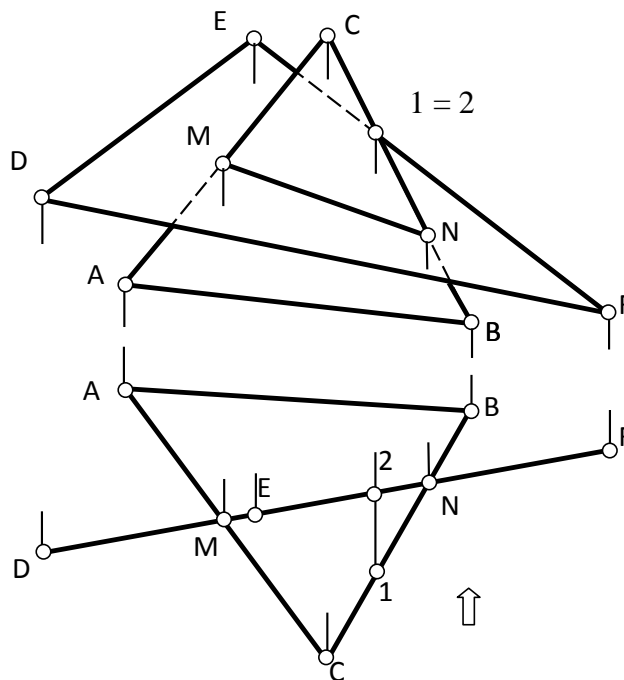


Рис. 2.15. Пересечение горизонтально проецирующей плоскости  $B_1$  ( $\triangle DEF$ ) с плоскостью общего положения  $B_2$  ( $\triangle ABC$ )

Отсек плоскости  $B_2$   $\triangle CMN$  находится перед плоскостью  $B_1$ , т. е. ближе к наблюдателю, поэтому на виде спереди он видим.

Убедиться в том, что часть стороны  $EF$  невидима за плоскостью  $B_2$ , можно также, сравнив пару конкурирующих на виде спереди точек 1 и 2. Точка 1  $\in BC$ , точка 2  $\in EF$ . На виде сверху точка 1 ближе к наблюдателю. Поэтому на виде спереди мы видим  $CN$ , а  $EF$  за плоскостью  $B_2$  не видим.

### **Вопросы для самопроверки по разделу «Позиционные задачи»**

1. Какие задачи называются позиционными?
2. Что такое прямая общего положения? Дайте определение восходящей и нисходящей прямой.
3. Какие признаки на чертеже имеют прямые частного положения относительно плоскостей проекций?
4. Что характерно для плоскостей общего и частного положения? Назовите признаки на чертеже.
5. Какое условие должно выполняться, если точка принадлежит прямой линии, плоскости или многогранной поверхности?
6. Когда прямая линия на чертеже принадлежит плоскости?
7. Что такое линии наибольшего наклона плоскости к плоскостям проекций? Дайте определение линии ската.
8. Какие положения на чертеже могут занимать две прямые относительно друг друга?
9. Как может располагаться прямая относительно плоскости? Сформулируйте условия.
10. Дайте алгоритм решения задачи на пересечение прямой с плоскостью методом конкурирующих прямых.
11. Что называется линией пересечения двух плоскостей? Как определяется видимость отсеков плоскостей по направлению к плоскостям проекций?

### III. МЕТРИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ. СПОСОБЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧЕРТЕЖА

#### Тема 1. Определение натуральной величины отрезка прямой и углов его наклона к плоскостям проекций

##### 1.1. Понятие о метрических задачах

*Метрическими* называются задачи, решение которых связано с определением длин отрезков, размеров углов, расстояний между геометрическими фигурами и других измеряемых величин.

##### 1.2. Определение натуральной величины отрезка прямой и углов его наклона к плоскостям проекций методом прямоугольного треугольника

Ортогональная проекция отрезка прямой общего положения на любую плоскость проекций изображается с искажениями и всегда меньше натуральной (истинной) длины самого отрезка. Для определения натуральной длины отрезка прямой часто применяют метод прямоугольного треугольника (рис. 3.1).

На рис. 3.1а показан в пространстве отрезок прямой  $AB_0$ , точка  $A$  которого принадлежит произвольной плоскости проекций  $\Pi'$ . Из точки  $B_0$  опущен перпендикуляр на плоскость  $\Pi'$ . Тогда  $AB$  есть проекция отрезка  $AB_0$  на плоскости проекций  $\Pi'$ . В прямоугольном треугольнике  $ABB_0$   $AB_0$  – гипотенуза (натуральная величина отрезка);  $AB$  – катет (проекция отрезка  $AB_0$  на плоскость  $\Pi'$ );  $B_0B$  – катет (превышение точки  $B_0$  над точкой  $A$  относительно плоскости проекций  $\Pi'$ ).

На чертеже (рис. 3.1б) с любыми двумя видами отрезка прямой  $AB$  достаточно данных для построения прямоугольного треугольника по двум катетам, аналогично рассмотренному. Для этого, например, на виде спереди к фронтальной проекции  $AB$  (один катет) пристроен второй катет – разность глубин точек  $A$  и  $B$  ( $\Delta f$ ), измеренный на виде сверху (или слева). Гипотенуза  $AB_0$  в этом треугольнике равна натуральной величине отрезка  $AB$ .

В общем виде можно сформулировать правило: для определения натуральной величины отрезка прямой и углов наклона его к плоскостям проекций – фронтальной  $\alpha$ , горизонтальной  $\beta$ , профильной  $\gamma$  – необходимо построить прямоугольный треугольник, приняв в первом случае за один катет вид спереди, во втором – вид сверху, в третьем – вид слева, а за второй катет – разность глубин точек  $A$  и  $B$  ( $\Delta f$ ), разность высот ( $\Delta h$ ), разность широт ( $\Delta p$ ) соответственно. Гипотенуза является натуральной величиной

отрезка, угол между гипотенузой и соответствующим видом (проекцией) отрезка – искомым углом наклона отрезка к плоскости проекций (фронтальной  $\alpha$ , горизонтальной  $\beta$  или профильной  $\gamma$ ).

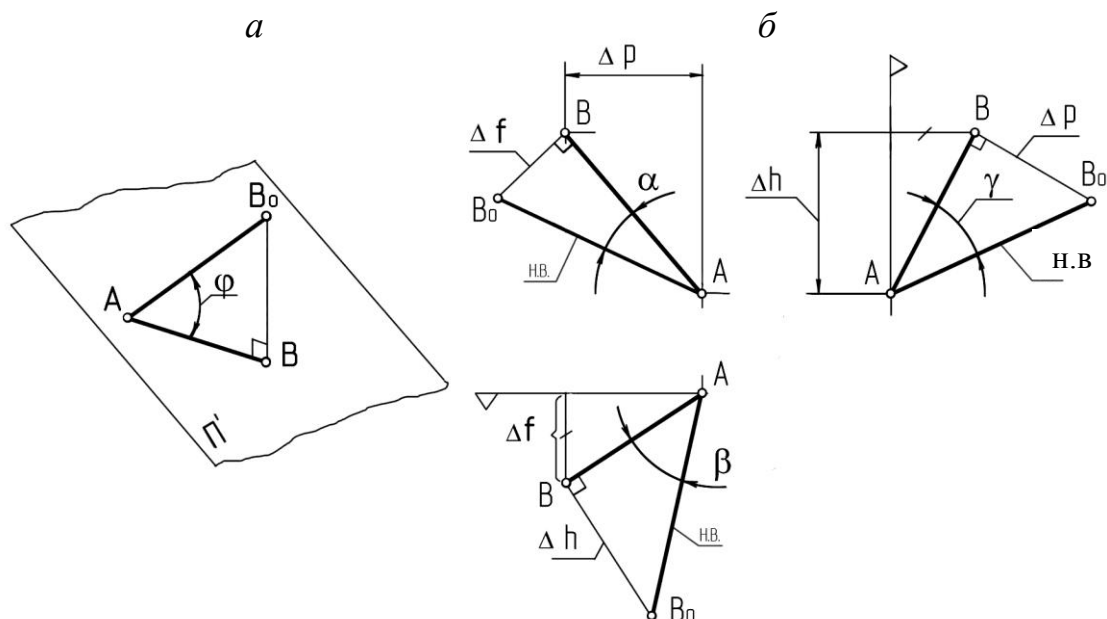


Рис. 3.1. Иллюстрация метода прямоугольного треугольника:  
*a* – в пространстве; *б* – на чертеже

**Внимание!** Натуральную величину отрезка прямой можно определить из прямоугольного треугольника, построенного на любом виде. Однако угол между гипотенузой и соответствующей проекцией отрезка равен углу наклона этой прямой к данной плоскости проекций. Например, чтобы найти угол  $\gamma$ , следует воспользоваться треугольником, построенным на виде слева;  $\alpha$  – на виде спереди;  $\beta$  – на виде сверху (см. рис. 3.1).

### 1.3. Свойство ортогональной проекции прямого угла

Во многих случаях для решения метрических задач требуется построение на чертеже перпендикуляра к прямой, к плоскости или иной поверхности. Для выяснения условий перпендикулярности этих оригиналов рассмотрим свойство ортогональной проекции прямого угла.

Если одна из сторон прямого угла параллельна плоскости проекций, а другая не перпендикулярна ей, то прямой угол на эту плоскость проекций проецируется без искажений (рис. 3.2).

Дано:  $\angle ABC = 90^\circ$ ;  $AB \parallel \Pi'$ ;  $BB' \perp \Pi'$

Доказать:  $\angle A'B'C' = 90^\circ$ .

Из условия ортогонального проецирования  $BB' \perp \Pi'$ . Поскольку  $AB \parallel \Pi'$ , то  $\angle ABB' = 90^\circ$ . Отсюда прямая  $AB \perp BB'$  и  $AB \perp BC$  (по условию)

лежат в проецирующей плоскости  $VCC'V'$  и, следовательно,  $AB \perp VCC'V'$ , а так как  $A'B' \parallel AB$ , то и  $A'B' \perp V'C'$ , т. е.  $\angle A'B'C' = 90^\circ$ .

Доказанное свойство справедливо как для пересекающихся, так и для скрещивающихся взаимно перпендикулярных прямых.

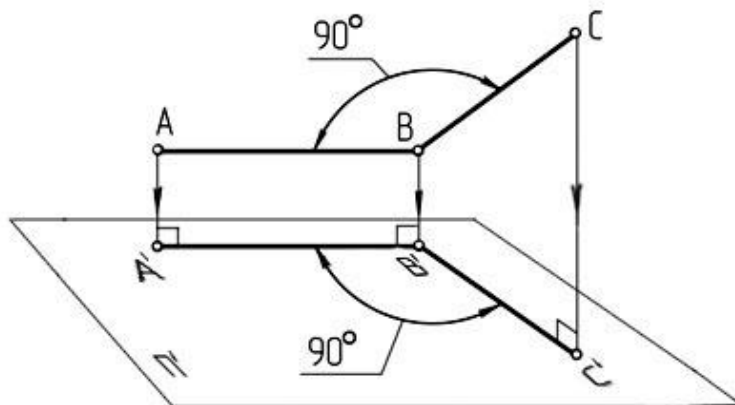


Рис. 3.2. Свойство ортогональной проекции прямого угла

### 1.3. Условие перпендикулярности двух прямых, прямой и плоскости

Для суждения о перпендикулярности двух прямых на чертеже необходимо, чтобы одна из них была прямой уровня, т. е. параллельной какой-либо плоскости проекций. В этом случае на виде спереди прямой угол сохраняется *только с фронталью*  $f$  (рис. 3.3а); на виде сверху – *только с горизонталью*  $h$  (рис. 3.3б); на виде слева – *только с профильной прямой*  $p$  (рис. 3.3в).

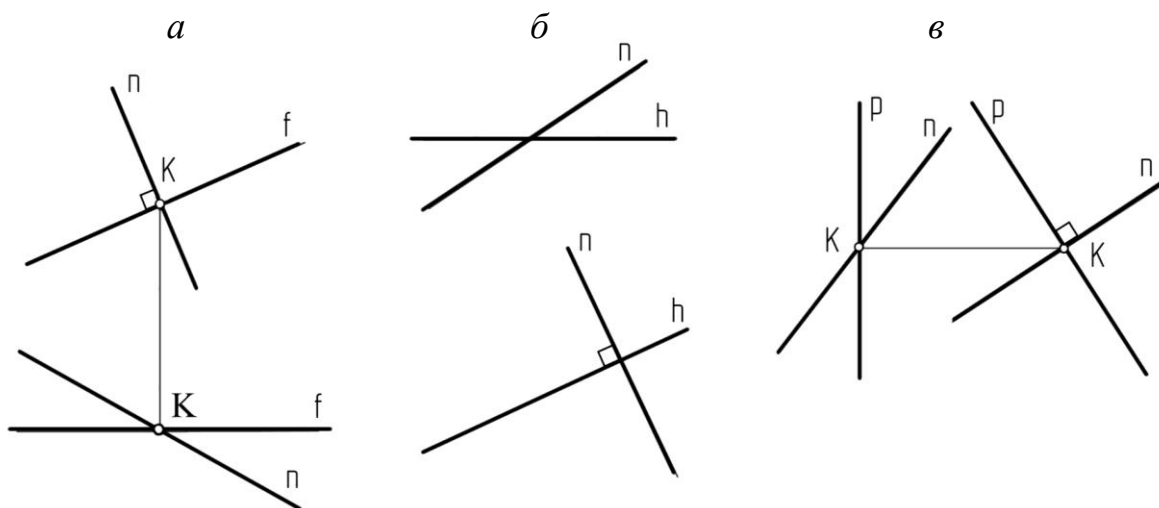


Рис. 3.3. Перпендикулярность прямых на видах: *а* – спереди  $n \perp f$  (пересекаются); *б* – сверху  $n \perp h$  (скрещиваются); *в* – слева  $n \perp p$  (пересекаются)

Если прямая перпендикулярна плоскости, то она перпендикулярна всякой прямой, принадлежащей этой плоскости. На чертеже, как следует из свойства ортогональной проекции прямого угла, перпендикулярность будет сохраняться на виде спереди только с фронталью, а на виде сверху – только с горизонталью данной плоскости. Поэтому, если прямая  $n$  перпендикулярна плоскости  $B$  (рис. 3.4), то на виде спереди  $n \perp f$ , а на виде сверху  $n \perp h$ . Справедливо и обратное утверждение: если проекции прямой  $n$  перпендикулярны одноименным проекциям соответствующих прямых уровня плоскости, то такая прямая перпендикулярна плоскости.

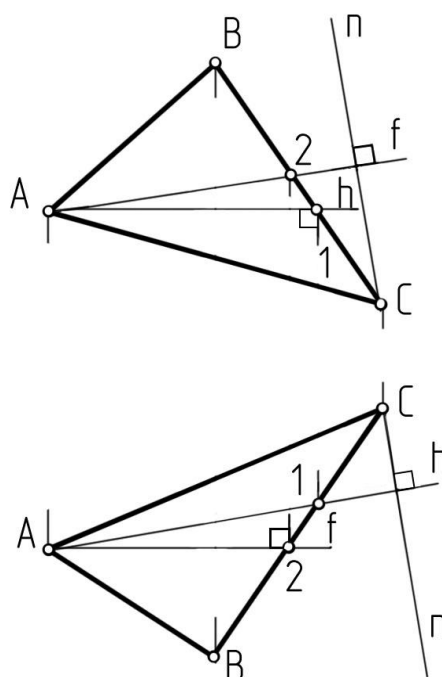


Рис. 3.4. Построение перпендикуляра  $n$  к плоскости  $B$  ( $\triangle ABC$ )

## Тема 2. Способы преобразования чертежа

### 2.1. Цель преобразования чертежа.

**Суть способов замены плоскостей проекций (дополнительные виды) и плоскопараллельного перемещения (вращения)**

Решения позиционных и метрических задач значительно упрощаются, когда геометрические элементы занимают частное положение. Поэтому в технической практике на чертеже графический оригинал по отношению к стандартным плоскостям проекций располагают так, чтобы его наиболее важные элементы находились на прямых или плоскостях частного положения и изображались на каком-либо виде без искажения. Если этого

не удастся выполнить ко всем элементам оригинала, то чертеж преобразуют обычно двумя основными способами: способом замены плоскостей проекций (дополнительные виды) и способом плоскопараллельного перемещения (вращения).

*Способ дополнительных видов* (или замены плоскостей проекций) основан на введении одной или нескольких дополнительных плоскостей проекций *при неизменном положении оригинала (фигуры) в исходных стандартных плоскостях проекций.*

*Способ вращения* (или плоскопараллельного перемещения) основан на изменении положения геометрической фигуры в пространстве путем ее вращения вокруг одной или нескольких осей *при неизменном положении стандартных плоскостей проекций.*

## **2.2. Преобразование прямой общего положения в прямую уровня и проецирующую прямую способом дополнительных видов**

Как было отмечено, суть способа дополнительных видов заключается в том, что положение фигуры (оригинала) в пространстве остается неизменным, а в стандартную систему плоскостей проекций ортогонально вводится новая (дополнительная) плоскость проекций, по отношению к которой заданная фигура будет занимать частное положение.

Пусть задана прямая общего положения  $\ell$  и две ее точки  $A$  и  $B$  в стандартной системе плоскостей проекций  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  (рис. 3.5). Для преобразования  $\ell$  в прямую уровня (первая задача) введем дополнительную (новую) плоскость  $\Pi_7$ , перпендикулярную  $\Pi_2$  и параллельную прямой  $\ell$ . В итоге имеем три поля плоскостей проекций –  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  и  $\Pi_7$ , совмещенных с плоскостью чертежа. Расстояния от точек  $A$  и  $B$  ( $\Delta A$  и  $\Delta B$ ) до плоскости проекций  $\Pi_2$  в старой  $\Pi_1/\Pi_2$  и новой  $\Pi_2/\Pi_7$  системах плоскостей проекций одинаковы, поскольку  $\Pi_1$  и  $\Pi_7$  перпендикулярны к  $\Pi_2$ . Вид прямой  $\ell$  на  $\Pi_2$  в старой и новой системах также не меняется. Виды точек  $A$  и  $B$  на  $\Pi_2$  и  $\Pi_7$  лежат на линиях связи, перпендикулярных базовой (новой) плоскости проекций  $\Pi_7$ .

Поскольку по отношению к  $\Pi_7$  прямая  $\ell$  является прямой уровня, то на  $\Pi_7$  видим натуральную величину отрезка  $|AB|$  и угол наклона  $\beta$  прямой к  $\Pi_2$ , т. е. к горизонтальной плоскости проекций.

Для того чтобы прямую общего положения  $\ell$  сделать проецирующей прямой (вторая задача), необходимо сначала преобразовать прямую  $\ell$  в прямую уровня (поле плоскостей проекций  $\Pi_2/\Pi_7$  на рис. 3.5), а затем второй заменой плоскости  $\Pi_2$  на плоскость  $\Pi_8$ , перпендикулярную к прямой  $\ell$ , сделать прямую уровня  $\ell$  проецирующей прямой. На поле проекций  $\Pi_8$  прямая  $\ell$  изобразится точкой  $\ell = A = B$ .

При построении дополнительных видов следует помнить, что каждый раз, когда производят замену, рассматривают только три поля проек-

ций: два старых – заменяемое ( $\Pi_1$ ) и незаменяемое ( $\Pi_2$ ) – при решении первой задачи и новое ( $\Pi_7$ ), которое строится взамен  $\Pi_1$ . Незаменяемое поле ( $\Pi_2$ ) связано с заменяемым ( $\Pi_1$ ) и новым ( $\Pi_7$ ) полями старыми и новыми линиями связи соответственно. Высоты или глубины заменяемого поля, измеренные от базы этого поля, перпендикулярной к старым линиям связи, должны быть равны соответствующим высотам или глубинам нового поля, измеренным от базы нового поля, перпендикулярной к новым линиям связи.

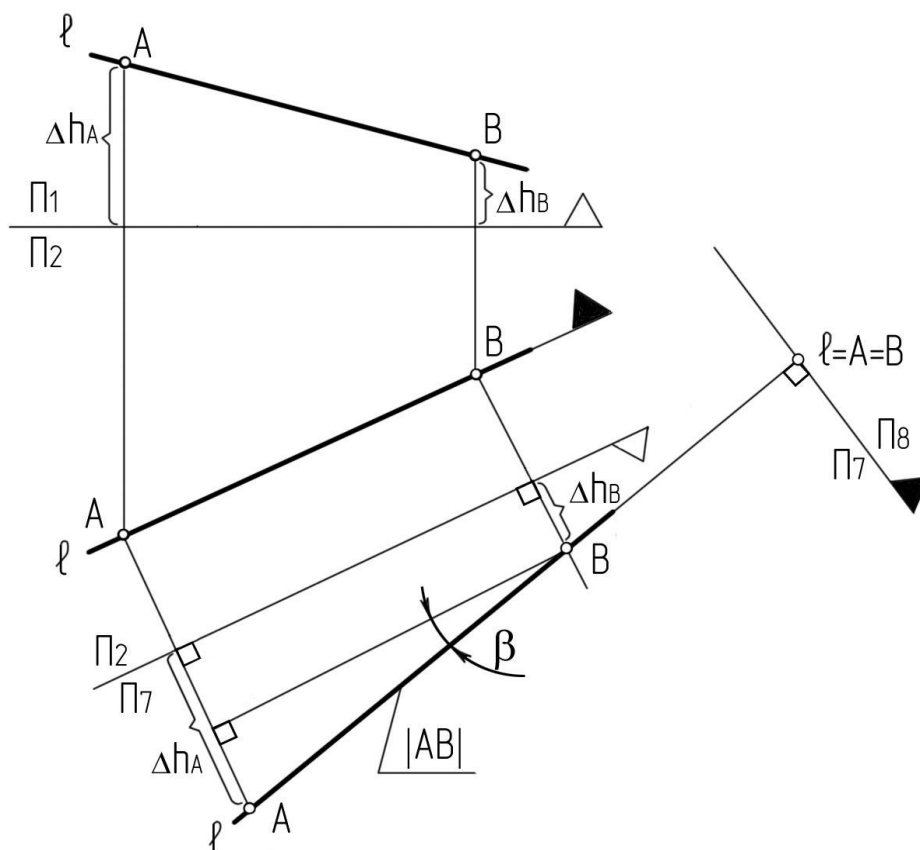


Рис. 3.5. Преобразование способом дополнительных видов прямой общего положения в прямую уровня и проецирующую прямую

### 2.3. Преобразование плоской фигуры (треугольника) общего положения в проецирующую плоскость и плоскость уровня способом дополнительных видов

Преобразование плоской фигуры общего положения в проецирующую плоскость (третья задача) сводится к следующему. Если провести в заданной плоскости  $B(\Delta ABC)$  какую-нибудь линию уровня, например фронталь  $f$  (рис. 3.6), то, заменяя плоскость  $\Pi_2$  на плоскость  $\Pi_7$ , перпендикулярную к этой фронтали, сделаем фронталь, а значит, и данную плос-



кость  $B$  проецирующими. На поле  $\Pi_7$  проекция плоскости представляет собой прямую  $B-B$ .

Угол  $\alpha$ , образованный проекцией  $B-B$  с базой  $\Pi_7$ , дает натуральную величину наклона плоскости  $B(\triangle ABC)$  к плоскости  $\Pi_1$  (к фронтальной плоскости проекций).

Для преобразования плоскости общего положения в плоскость уровня (четвертая основная задача), следует сначала сделать плоскость проецирующей (предыдущая задача), а затем второй заменой плоскости  $\Pi_1$  на плоскость  $\Pi_8$  (рис. 3.6), параллельную плоскости  $B$  (прямой линии  $B-B$ ) и перпендикулярную к плоскости проекций  $\Pi_7$  переведем плоскость  $B$  в плоскость уровня. Проекция  $\triangle ABC$  на  $\Pi_8$ , которым задана плоскость  $B$ , определяет натуральную величину этого треугольника.

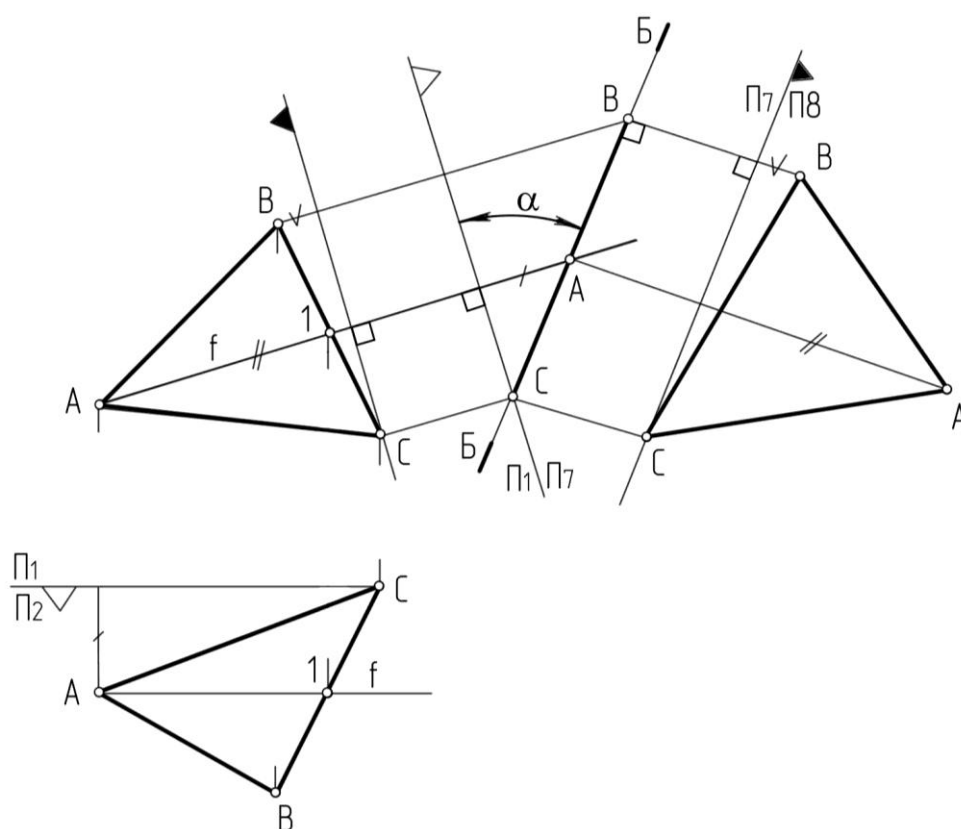


Рис. 3.6. Преобразование плоской фигуры (треугольника) в проецирующую плоскость и плоскость уровня

#### 2.4. Особенности вращения фигуры вокруг оси, перпендикулярной плоскости проекций, и вокруг оси, параллельной плоскости проекций (вокруг прямой уровня)

При вращении оригинала *вокруг любой неподвижной прямой* (оси вращения) траекторией перемещения каждой точки вращаемой фигуры является окружность, плоскость которой перпендикулярна оси вращения,

а радиус вращения равен перпендикуляру, опущенному из вращаемой точки на ось вращения. Плоскости (окружности) перемещения любых точек фигуры параллельны друг другу. Точки, расположенные на оси вращения, не изменяют своего положения в пространстве.

Ось вращения может быть задана или выбрана. Условно выделяют три основных способа вращения:

- плоскопараллельное перемещение;
- вращение вокруг оси, перпендикулярной плоскости проекций (проецирующей прямой);
- вращение вокруг оси, параллельной плоскости проекций (прямой уровня).

*Плоскопараллельное перемещение* – это частный случай способа вращения фигуры вокруг оси, перпендикулярной плоскости проекций  $\Pi_1$  или  $\Pi_2$  (рис. 3.7), при котором на чертеже не изображается ось вращения и не устанавливается радиус вращения. Это делается для того, чтобы избежать наложения на чертеже исходных и дополнительных проекций. Новые проекции допускается перемещать на свободное поле чертежа. При этом одна из исходных проекций рассматриваемой фигуры перемещается в требуемое положение, не изменяя своего вида и размера (рис. 3.7а – вид спереди; рис. 3.7б – вид сверху).

В результате преобразования отрезка прямой АВ общего положения в горизонталь или фронталь на чертеже легко определить его натуральную величину, а также углы наклона  $\alpha$  и  $\beta$  к фронтальной и горизонтальной плоскостям проекций соответственно.

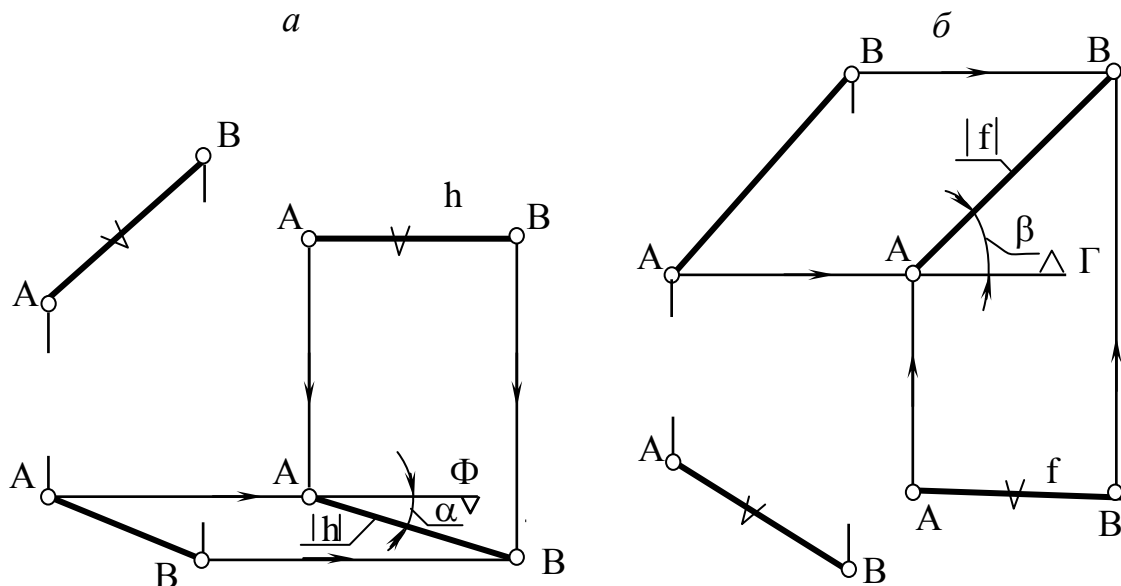


Рис. 3.7. Плоскопараллельное перемещение отрезка прямой АВ:

- а – в горизонтальное положение (h);
- б – во фронтальное положение (f)

При вращении фигуры вокруг оси, перпендикулярной одной из плоскостей проекций, проекция каждой точки на эту плоскость перемещается по дуге окружности радиуса, равного радиусу вращения. Проекция этой точки на другую плоскость проекций перемещается по прямой, перпендикулярной оси вращения.

Рассмотрим примеры решения основных задач способом вращения вокруг проецирующих прямых. При этом последовательно решаются две задачи: повернуть прямую общего положения  $\ell$  до положения линии уровня, а затем повернуть до положения проецирующей прямой (рис. 3.8).

Через произвольную точку прямой  $\ell$ , например точку  $O$ , проведем фронтально проецирующую прямую  $i$ , вокруг которой повернем прямую  $\ell$  до горизонтального положения. После поворота проекция  $\ell$  на виде спереди займет положение  $\bar{\ell}$ , перпендикулярное вертикальным линиям связи, а на виде сверху ее горизонтальная проекция займет положение  $\bar{\ell}$ , и любой отрезок прямой  $\bar{\ell} = |h|$ , например  $O\bar{B}$ , здесь изображается без искажения. Угол  $\alpha$ , образованный проекцией  $|\bar{\ell}|$  с базовой плоскостью  $\Phi(\Pi_1)$ , дает натуральную величину угла наклона прямой к фронтальной плоскости проекций ( $\Pi_1$ ). Повторным вращением  $\bar{\ell}$  вокруг горизонтально проецирующей прямой  $j$  поворачиваем  $\ell$  в положение фронтально проецирующей прямой  $\bar{\bar{\ell}}$ .

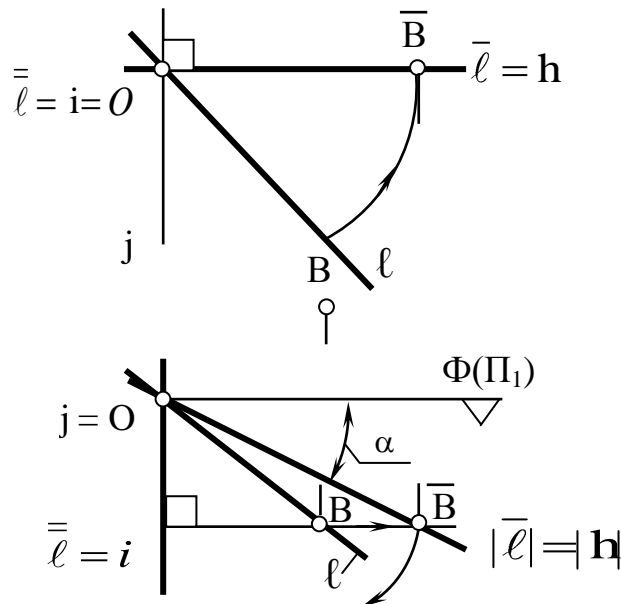


Рис. 3.8. Вращение прямой общего положения  $\ell$  вокруг проецирующих прямых  $i$  и  $j$

Третья и четвертая основные задачи относятся к повороту вокруг проецирующих прямых плоскости общего положения до положения проецирующей плоскости и затем до положения плоскости уровня.

Повернем плоскость Б ( $\triangle ABC$ ) вокруг фронтально проецирующей прямой  $j$ , проходящей через точку В, так, чтобы ее фронталь  $f$  стала горизонтально проецирующей прямой (рис. 3.9:  $f$  совпадает с линиям связи). После поворота плоскость Б займет горизонтально проецирующее положение. Горизонтальные проекции ее точек А, В и С будут лежать на одной прямой. На виде сверху представлена натуральная величина угла наклона  $\alpha$  плоскости Б к фронтальной плоскости проекций.

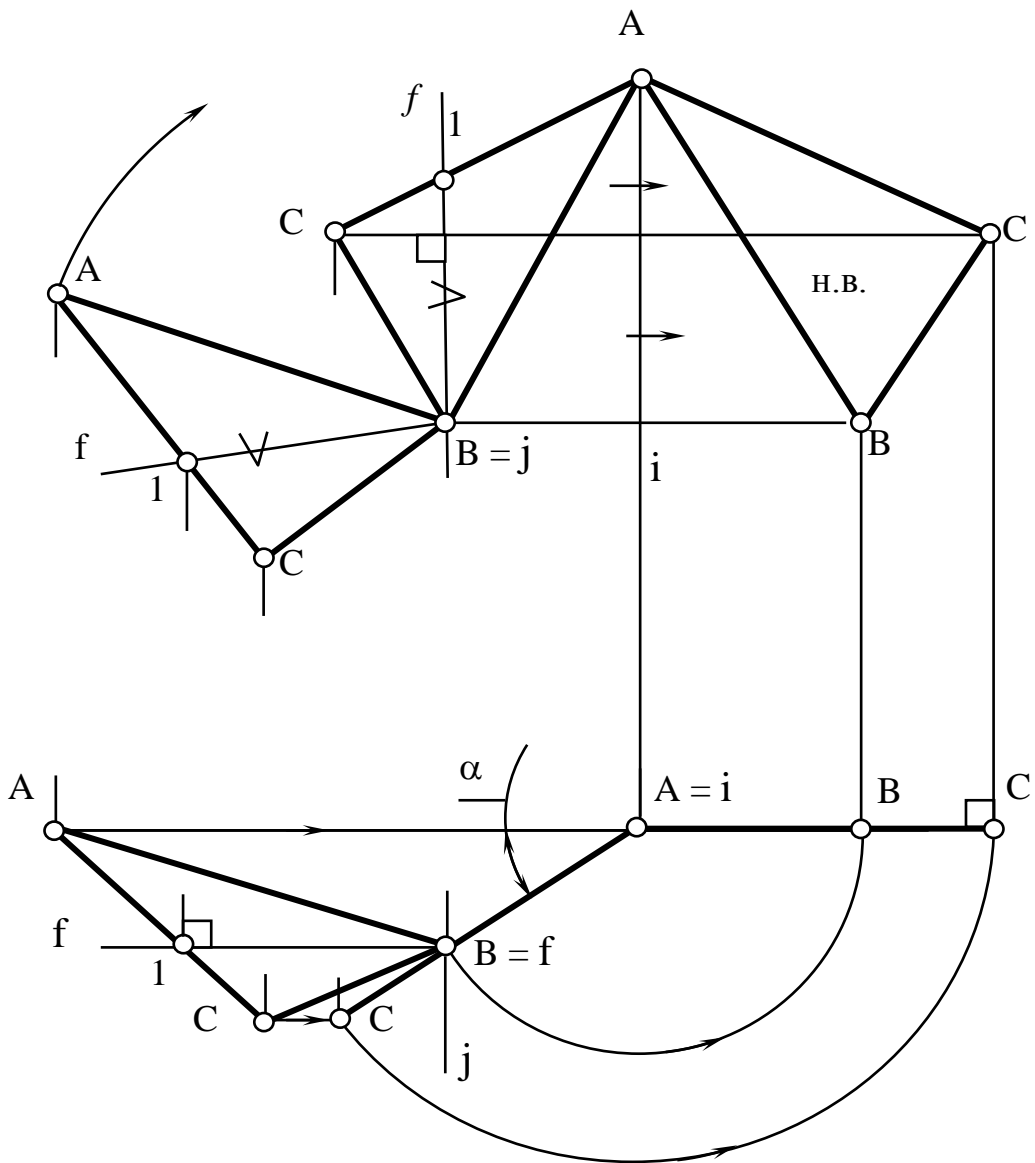


Рис. 3.9. Вращение плоскости общего положения вокруг проецирующих прямых  $j$  и  $i$

Из горизонтально проецирующего положения плоскость Б вторым вращением вокруг горизонтально проецирующей прямой  $i$ , проходящей через точку А, повернем до фронтального положения. При этом горизонтальная проекция плоскости Б в ее фронтальном положении будет перпендикулярна к вертикальным линиям связи, а фронтальная проекция даст натуральный вид треугольника АВС, определяющего плоскость Б.

*Цель вращения плоской фигуры общего положения вокруг оси, параллельной плоскости проекций (прямой уровня), – совмещение заданной плоской фигуры с соответствующей плоскостью проекций. В результате можно определить истинные размеры геометрических элементов фигуры и ее форму. Совмещением можно решать и обратные задачи, например, строить проекцию геометрической фигуры по ее истинным размерам в плоскости уровня и переносить изображение в проекции заданной плоскости общего положения.*

Совмещение плоскости общего положения Б ( $\Delta ABC$ ) с горизонтальной плоскостью проекций путем вращения вокруг ее горизонтали  $h$  показано на рис. 3.10. В нашем случае точки В и 1 неподвижны, так как принадлежат оси вращения  $h$ , а горизонтальная плоскость уровня Г проходит через горизонталь  $h$  (на виде сверху она занимает все поле проекций).

На виде сверху вращением построено совмещение точки А с плоскостью Г. Для этого через точку А проведена прямая, перпендикулярная к  $h$  (след плоскости вращения точки А вокруг оси  $h$ ), на которой отложена от точки О натуральная величина радиуса вращения  $O\bar{A}$ , предварительно найденная с помощью прямоугольного треугольника  $OAA^*$ .

Совмещение  $\bar{C}$  точки С определено в пересечении прямой  $\bar{A}\bar{1}$  с вырожденным видом плоскости Д, в которой точка С вращается вокруг  $h$ , прямой Д-Д.

В результате совмещения плоскости общего положения Б ( $\Delta ABC$ ) с горизонтальной плоскостью проекций (уровня) на виде сверху  $\Delta\bar{A}\bar{B}\bar{C}$  дает натуральный вид и размеры треугольника  $\Delta ABC$ , определяющего плоскость Б.

Важно отметить, что при вращении какой-либо плоской фигуры вокруг ее прямой уровня необходимо определить радиус вращения для построения совмещения только одной точки. Совмещение остальных точек можно построить, не определяя их радиусы вращения, а используя неподвижные точки прямых, на которых находятся эти точки.

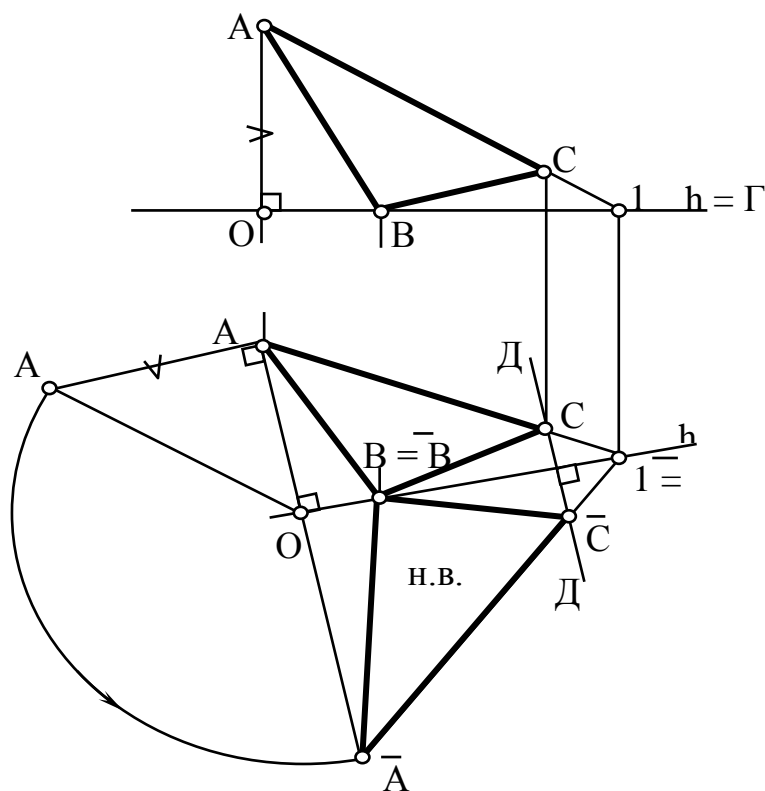


Рис. 3.10. Совмещение плоскости общего положения Б ( $\triangle ABC$ ) с горизонтальной плоскостью уровня  $\Gamma$  вращением вокруг горизонтали  $h$

### Вопросы для самопроверки по разделу «Метрические задачи. Способы преобразования чертежа»

1. Какие задачи называются метрическими?
2. В чем суть и назначение метода прямоугольного треугольника?
3. Сформулируйте свойство ортогональной проекции прямого угла и условие перпендикулярности на чертеже двух прямых, прямой и плоскости, плоскостей.
4. Какие способы применяют для преобразования чертежа? Цель преобразования чертежа.
5. Составьте алгоритм преобразования на чертеже прямой общего положения в прямую уровня и в проецирующую прямую методом вращения.
6. То же, но способом дополнительных видов.
7. Как преобразуют на чертеже плоскую фигуру общего положения в проецирующую плоскость и плоскость уровня способом дополнительных видов?

## IV. КРИВЫЕ ЛИНИИ И ПОВЕРХНОСТИ

### Тема 1. Плоские кривые линии

#### 1.1. Понятие о кривых линиях. Плоские и пространственные кривые линии; плавные (гладкие) кривые линии. Закономерные и незаконмерные кривые линии

Линия, не имеющая прямолинейных отрезков, называется *кривой линией*. Расстояние между любыми двумя точками кривой линии меньше длины дуги, ограниченной этими точками.

Кривые линии делятся на *плоские*, все точки которых лежат в одной плоскости, и в противном случае – на *пространственные*. Положение кривой линии в пространстве однозначно определяется двумя проекциями. Все секущие плоской кривой лежат в одной плоскости и по отношению друг к другу являются параллельными или пересекающимися прямыми.

Кривая линия называется *плавной* (или *гладкой*), если во всех своих точках она имеет одну непрерывно изменяющуюся касательную. Если касательная к кривой линии при перемещении не меняет своего направления, то кривая линия является *выпуклой*, а ее точки – *регулярными* (*правильными, обыкновенными*).

Кривые линии делятся на *закономерные*, т. е. образованные по определенному закону, и *незакономерные*, образование которых связано с экспериментом. Закономерные кривые линии могут быть заданы аналитически и графически, незаконмерные – только графически.

#### 1.2. Алгебраические и трансцендентные кривые линии

Закономерные кривые линии могут быть *алгебраическими*, если в прямоугольных координатах кривая линия описывается алгебраическим уравнением, и *трансцендентными*, если она задается неалгебраическим (тригонометрическим) уравнением.

К алгебраическим кривым относятся линии:

*второго порядка* (кубическая и полукубическая парабола, трезубец, локон Аньези и др.);

*четвертого порядка* (декартов овал, улитка Паскаля, кардиоида, канна, кривая Персея и др.);

*высших порядков* (кривая Ламе, астроида, синусоидальная спираль).

К трансцендентным кривым линиям относятся:

*графики тригонометрических функций* (синусоида, тангенсоида, узорная кривая и др.);

графики показательной и логарифмической функций (экспоненциальная кривая, логарифмическая кривая);

спирали (архимедова, гиперболическая и параболическая, логарифмическая, Галилея и др.);

циклические кривые линии (циклоида, гипоциклоида, эпициклоида, трохоида и др.).

Главным отличием алгебраических кривых линий является их *порядок*, за который принимают максимальное количество пересечений кривой линии с секущей прямой.

Основные свойства ортогональных проекций плоской кривой:

кривая линия в лучшем случае проецируется в виде кривой;

если плоскость, в которой лежит кривая линия, перпендикулярна плоскости проекций, то кривая линия проецируется на эту плоскость проекций прямой линией (отрезком прямой);

проекция алгебраической кривой  $n$ -го порядка в общем случае сохраняет тот же порядок (эллипс и окружность проецируются в эллипс или в окружность, проекция гиперболы – гипербола, проекция параболы – парабола).

### 1.3. Графическое определение длины дуги кривой линии

Определение длины кривой линии (плоской и пространственной) основано на *аппроксимации кривой линии ломаной*, вписанной в эту кривую. Такой графический способ получил название *способа хорд*. На рис. 4.1 дуга кривой линии АВ разбита на малые дуги (части) точками 1, 2, 3. Дуги заменены хордами (прямыми отрезками).

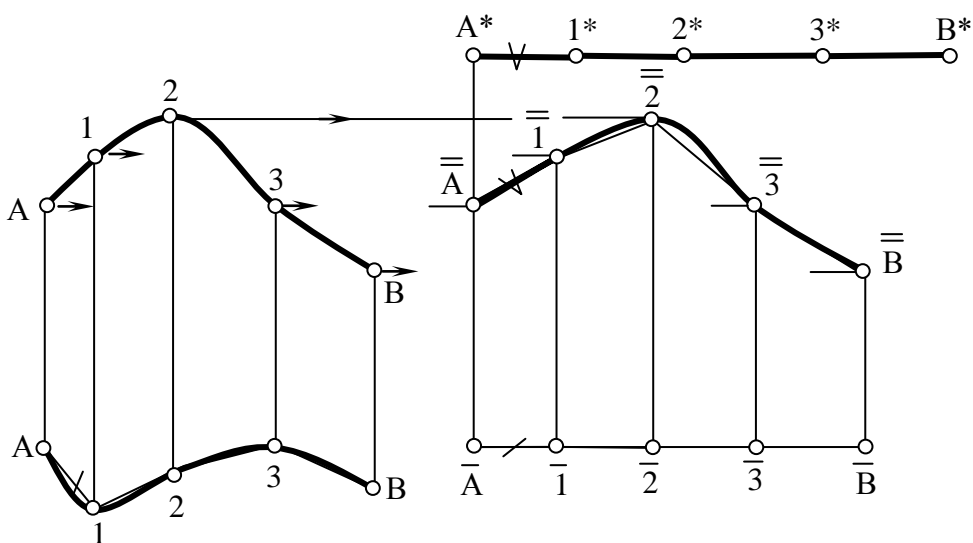


Рис. 4.1. Графическое определение длины кривой линии АВ способом хорд



Методом плоскопараллельного перемещения определена ломаная линия последовательным соединением отрезков:  $A-1-1-2-2-3-3-B$ . Из построенных точек  $A, \bar{1}, \bar{2}, \bar{3}, B$  проведены вертикальные линии связи до пересечения с горизонтальными линиями связи, проведенными из фронтальных проекций точек  $A, 1, 2, 3, B$ . Полученная ломаная линия  $\overline{A-1-1-2-2-3-3-B}$  спрямлена в прямую  $A^*B^*$ , длина которой с достаточной точностью будет равна длине кривой линии  $AB$ .

#### 1.4. Образование эллипса, параболы и гиперболы при пересечении прямого кругового конуса плоскостью

В сечении прямого кругового конуса (конуса вращения) получаются все виды кривых второго порядка (конические сечения) в зависимости от угла наклона секущей плоскости к оси вращения.

Признаки, обеспечивающие получение той или иной кривой, показаны на рис. 4.2. Так, если угол наклона образующей конуса к его оси обозначить через  $\varphi$ , то при  $\psi > \varphi$  (рис. 4.2а) в сечении получается *эллипс* (при  $\psi = 90^\circ$  – *окружность*). В этом случае секущая плоскость пересекает все образующие конуса. При  $\psi = \varphi$  (рис. 4.2б) в сечении получается *парабола*, а секущая плоскость проходит параллельно одной образующей конуса. Если секущая плоскость параллельна двум образующим конуса (рис. 4.2в) – в сечении *гипербола* ( $\psi < \varphi$ ). В частности, если секущая плоскость проходит через вершину конуса, то в сечении получается *пара пересекающихся прямых*.

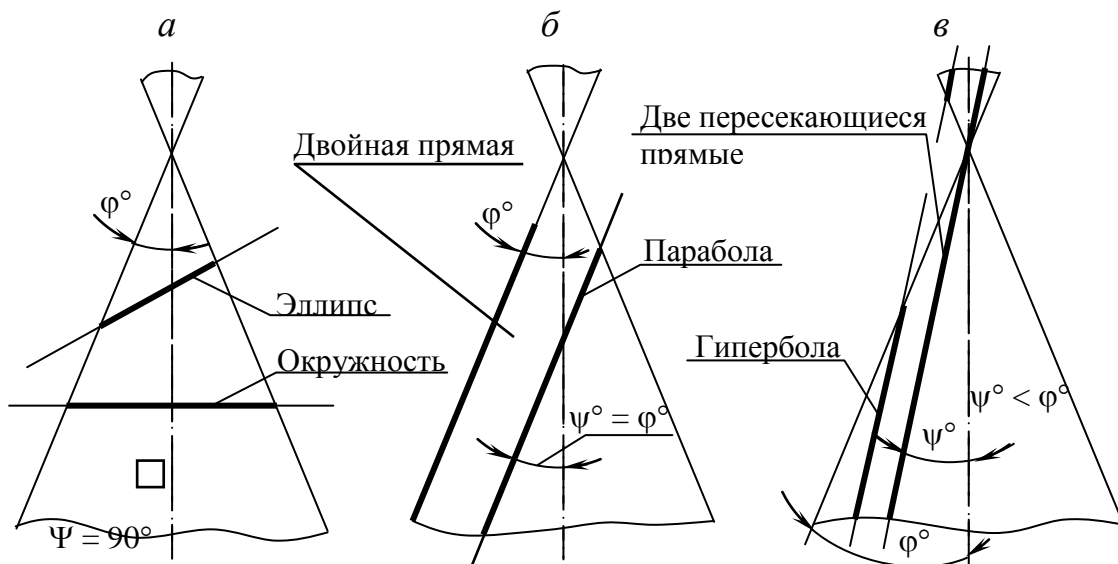


Рис. 4.2. Фронтальные проекции поверхности конуса вращения и следы секущих фронтально проецирующих плоскостей:

- а – плоскости пересекают обе образующие конуса;
- б – плоскости параллельны одной образующей конуса;
- в – плоскости параллельны двум образующим конуса

## Тема 2. Пространственные кривые линии

### 2.1. Понятие о пространственной кривой линии. Основной признак на чертеже

Кривые линии, точки которых не лежат в одной плоскости, относятся к пространственным кривым линиям. На чертеже вид кривой линии (пространственной или плоской) можно установить с помощью секущих прямых. Секущие АВ и СД на рис. 4.3 являются скрещивающимися прямыми, т. е. они не имеют общих точек. Значит, кривая линия  $\ell$  является *пространственной*.

Проекцией пространственной кривой линии является плоская кривая.

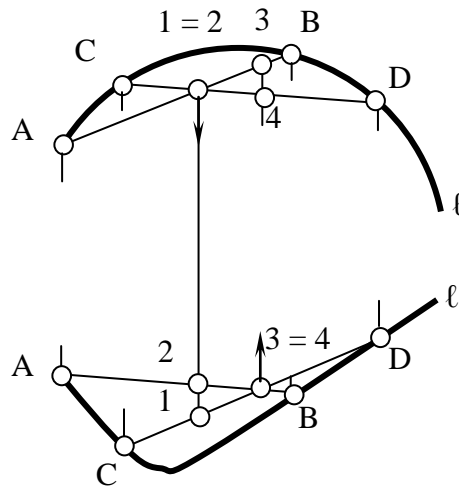


Рис. 4.3. Пространственная кривая линия

### 2.2. Закономерные и не закономерные пространственные кривые линии. Винтовые линии

Пространственные кривые линии, так же как и плоские кривые, могут быть закономерными (алгебраическими или трансцендентными) и не закономерными. Порядок алгебраической пространственной кривой определяется как число точек ее пересечения с произвольной плоскостью.

К наиболее важным трансцендентным пространственным кривым относятся винтовые линии. *Винтовой линией* называется пространственная кривая, являющаяся траекторией движения точки, которая равномерно вращается вокруг неподвижной оси (прямой) винтовой линии и одновременно поступательно перемещается вдоль этой оси.

Винтовая линия может быть с правым ходом (правой) и с левым ходом (левой). *Правой* называется винтовая линия, которая при подъеме за-

кручивается в направлении против движения часовой стрелки; в противном случае винтовая линия является *левой*.

Перемещение точки вдоль оси винтовой линии, соответствующее одному полному обороту вокруг оси, называется *шагом*, а длина дуги, соответствующая полному обороту точки вокруг оси, – *витком*. Угол наклона касательной, проведенной в какой-либо точке винтовой линии, к плоскости, перпендикулярной оси вращения, называется *углом подъема* винтовой линии. В зависимости от вида поверхности, по которой происходит перемещение точки, винтовые линии подразделяются на цилиндрические и конические.

### 2.3. Образование цилиндрической винтовой линии

В технической практике среди пространственных кривых наиболее часто встречаются цилиндрические винтовые линии. Цилиндрическая винтовая линия, или *гелиса*, образуется при движении точки по поверхности кругового цилиндра (рис. 4.4). Диаметр цилиндра  $D$  и размер шага  $h$  являются основными параметрами винтовой линии. При равномерном перемещении точки по поверхности цилиндра она совершает вращательное движение вокруг неподвижной оси и поступательное движение, параллельное той же оси, т. е. при повороте на некоторый угол точка  $A$  перемещается в точку  $A_1$ . При этом ее горизонтальная проекция будет перемещаться по окружности, а фронтальная – по синусоиде.

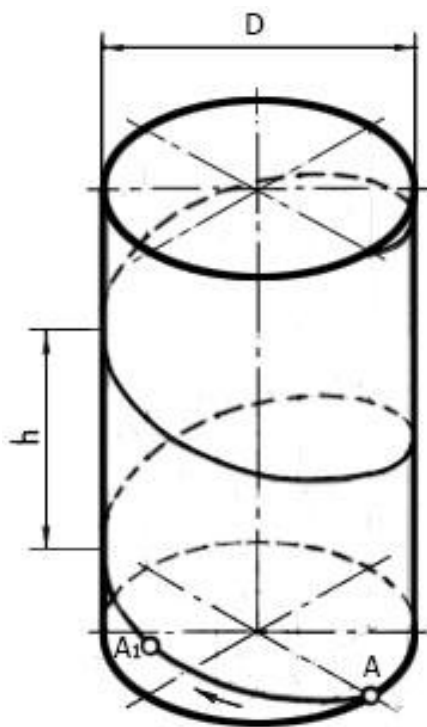


Рис. 4.4. Цилиндрическая винтовая линия

## Тема 3. Кривые поверхности

### 3.1. Понятие о поверхности и кинематическом способе ее образования. Образующие и направляющие линии поверхности. Линейчатые и нелинейчатые поверхности

Поверхность – это множество точек, имеющее два измерения вдоль двух каких-либо линий этой поверхности. В математике под поверхностью подразумевают непрерывное множество точек, определяемое многочленом  $n$ -й степени.

В начертательной геометрии принят *кинематический способ образования поверхностей*. В этом случае под поверхностью понимается совокупность всех последовательных положений некоторой перемещающейся в пространстве линии, называемой *образующей* (или производящей). Если образующая при определенных условиях в пространстве перемещается по другой линии, то ее принято называть *направляющей*. В зависимости от формы образующей линии кривые поверхности подразделяются на *линейчатые*, которые могут быть образованы движением прямой линии, и *нелинейчатые*.

### 3.2. Способы задания кривых поверхностей

Любую кривую (нелинейчатую) поверхность можно получить в результате перемещения изменяющейся образующей по изменяющимся направляющим линиям. При этом роли линий могут изменяться (линии  $a$  и  $b$ , рис. 4.5).

Представленное семейство линий поверхности принято называть *каркасом*.

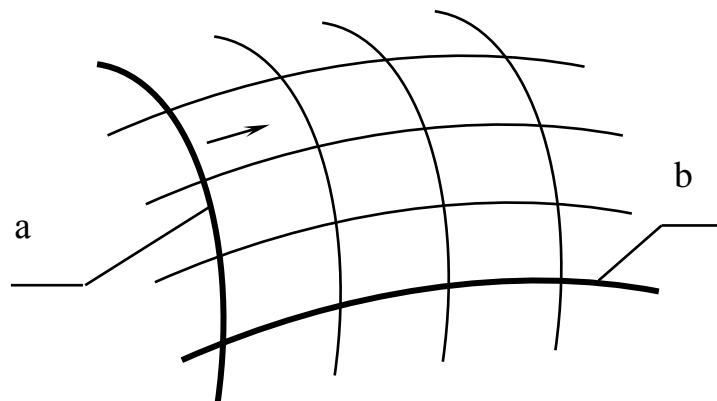


Рис. 4.5. Образование кривой поверхности:  $a$  – образующая;  
 $b$  – направляющая

Если образующая линия перемещается в пространстве по какому-либо закону, то кривая поверхность называется *закономерной*, в противном случае образуется *незакономерная* кривая поверхность.

Одна и та же кривая поверхность может быть образована перемещением различных линий с выполнением заданных условий, которым должна подчиняться в своем перемещении образующая линия. В этом случае, если кривая поверхность может быть образована по нескольким законам, то из них выбирают тот, который наиболее прост для ее изображения в каждой конкретной задаче.

Способы задания кривых поверхностей многообразны. Например, линейчатые поверхности второго порядка (однополостный гиперболоид, гиперболический параболоид, цилиндрическая и коническая поверхности) задаются вращением линии вокруг некоторой оси; поверхности с плоскостью параллелизма (цилиндроид, коноид, гиперболический параболоид) – движением прямой линии параллельно заданной плоскости; поверхности с ребром возврата – движением прямой, являющейся касательной к некоторой кривой линии.

### **3.3. Эллипсоид вращения. Получение поверхности сжатого и вытянутого эллипсоидов вращения**

Эллипсоид представляет собой замкнутую поверхность второго порядка и может быть получен в результате движения деформирующегося эллипса. Поверхности *сжатого* и *вытянутого* эллипсоидов вращения получаются в результате вращения эллипса вокруг его осей – малой и большой соответственно. В этом случае эллипсоид можно рассматривать как поверхность вращения. В сечении эллипсоида любой секущей плоскостью получается эллипс или в частном случае окружность.

### **3.4. Получение поверхности параболоида и гиперболоида. Поверхности, образуемые вращением окружности**

*Параболоид* является незамкнутой поверхностью второго порядка. Существует два типа параболоида: *эллиптический* и *гиперболический* (или косяя плоскость). Эти поверхности получаются при движении одной (подвижной) параболы вдоль другой (неподвижной), таком, что вершина подвижной параболы скользит по неподвижной, а плоскость и ось подвижной параболы все время остаются параллельными самим себе. *Эллиптический параболоид* образуется, если обе параболы обращены вогнутостью в одну сторону, *гиперболический параболоид* – если параболы обращены вогнутостью в разные стороны (он имеет вид седла).

Гиперболический параболоид может быть также образован при движении прямолинейной образующей по двум скрещивающимся прямым

(направляющим) параллельно некоторой плоскости. Поэтому гиперболический параболоид является линейчатой поверхностью, через любую точку которой можно провести две прямые, принадлежащей ей.

*Параболоид вращения* является частным случаем эллиптического параболоида, образуемого в результате вращения параболы вокруг своей оси.

*Гиперболоид* – незамкнутая центральная поверхность второго порядка. Может быть образована перемещением деформирующегося эллипса в направлении, перпендикулярном его плоскости. Гиперболоид может быть получен в результате вращения гиперболы (образующей) вокруг ее мнимой или действительной оси. В первом случае образуется *одноплостный* гиперболоид вращения, во втором – *двуплостный*. Одноплостный гиперболоид относится к линейчатым поверхностям, так как может быть получен вращением прямой линии вокруг скрещивающейся с ней неподвижной оси. Через любую точку одноплостного гиперболоида можно провести две прямолинейные образующие, полностью лежащие на его поверхности и составляющие его каркас.

Вращением окружности вокруг ее диаметра получают поверхность *сферы*. Если окружность вращается вокруг оси, лежащей в плоскости окружности, но не проходящей через ее центр, то образуется *тор*. При этом если ось проходит вне окружности, то тор называют *кольцом* (или *открытым тором*), если внутри окружности – тор считается *закрытым*.

### 3.5. Получение в общем случае цилиндрической и конической поверхности

*Цилиндрическая поверхность* в общем случае образуется движением прямой линии (образующей) параллельно заданному направлению и проходящей через все точки некоторой плоской кривой линии (направляющей). Цилиндрическая поверхность относится к линейчатым. Если направляющая цилиндрической поверхности – линия второго порядка, то образуемая поверхность является цилиндрической поверхностью второго порядка. Так, если направляющая – эллипс (окружность), то цилиндрическая поверхность называется *эллиптической* (круговой); если направляющая – парабола, то цилиндрическая поверхность называется *параболической*; если направляющей является гипербола – *гиперболической*; если направляющая – ломаная линия, то поверхность называется *призматической*; если направляющая является произвольной – поверхностью *общего вида*.

Геометрическое тело, ограниченное замкнутой боковой цилиндрической поверхностью и двумя секущими ее параллельными плоскостями (основаниями), называется *цилиндром*. Если боковая поверхность цилиндра является эллиптической цилиндрической поверхностью, то цилиндр называется *эллиптическим* (в частном случае *круговым*, если нормальное сече-

ние – окружность). Прямая линия, соединяющая центр оснований эллиптического (кругового) цилиндра, называется его осью. Если цилиндр пересекается плоскостью, не параллельной основанию, то образуется *усеченный цилиндр*.

*Коническая поверхность* в общем случае образуется движением прямой линии (образующей), проходящей через неподвижную точку пространства и все точки некоторой плоской кривой линии (направляющей). Если направляющая линия является кривой второго порядка, то такая поверхность относится к поверхностям второго порядка и называется или эллиптической, или гиперболической, или параболической. Круговая коническая поверхность может рассматриваться как поверхность вращения. Если направляющей служит произвольная геометрическая линия, то поверхность называется конической поверхностью *общего вида*.

Геометрическое тело, ограниченное замкнутой конической поверхностью (боковой поверхностью) и секущей ее плоскостью (основанием), называется *конусом*. Конус (эллиптически или круговой), вершина которого ортогонально проецируется в центр основания, называется *прямым*, в ином случае – *наклонным*. При пересечении конуса плоскостью, параллельной его основанию образуется *усеченный конус*. Линия, соединяющая вершину конуса с центром его основания, называется *осью конуса*.

### **3.6. Образование циклической поверхности. Каналовые и трубчатые поверхности**

Кривая поверхность, получаемая движением окружности постоянного или переменного диаметра (образующая), центр которой перемещается по произвольной кривой линии (образующей), называется циклической поверхностью. Если плоскость окружности переменного диаметра в каждом ее положении перпендикулярна направляющей линии, то такая цилиндрическая поверхность называется *каналовой*.

При постоянном диаметре образуется так называемая *трубчатая поверхность*. В случае если направляющей линией трубчатой поверхности является винтовая линия, получается *винтовая трубчатая поверхность*.

### **3.7. Винтовая поверхность. Прямой и косой геликоид**

*Винтовая поверхность* – это кривая поверхность, получаемая образующей линией, которая, равномерно вращаясь вокруг неподвижной прямой (*оси винтовой поверхности*), одновременно совершает поступательное движение вдоль этой же оси. Все точки образующей перемещаются по винтовой линии. Перемещение образующей вдоль оси цилиндрической винтовой линии, соответствующее одному полному обороту, называется *шагом*. Если поступательное перемещение образующей вдоль оси винто-

вой поверхности прямо пропорционально угловому перемещению, то образуется винтовая поверхность с *равномерным шагом*. В противном случае получается винтовая поверхность с *переменным шагом*.

Образующая линия может пересекать или не пересекать ось винтовой поверхности. В первом случае получается *закрытая*, во втором – *открытая* винтовая поверхность. Наибольшее распространение в практике нашли закрытые линейчатые винтовые поверхности – *геликоиды*, у которых образующей служит прямая линия. При этом образующая во всех своих положениях пересекает ось поверхности под постоянным углом. Когда образующая прямая пересекает ось под прямым углом, то геликоид называется *прямым*; в противном случае получается косою (наклонный) геликоид.

## **Тема 4. Развертки поверхностей**

### **4.1. Понятие о развертывании поверхности.**

#### **Алгебраический и графический способы получения разверток**

Если рассматривать поверхность как гибкую нерастяжимую оболочку (пленку), то некоторые поверхности путем преобразования можно совместить с плоскостью без складок и разрывов. Поверхности, допускающие такое преобразование, называются *развертываемыми*, а фигура на плоскости, в которую преобразуется поверхность, – *разверткой поверхности*.

Применяют два подхода к построению разверток поверхностей: *алгебраический* и *графический*. При алгебраическом способе геометрические размеры развертки (длины линий фигуры, величины некоторых углов между этими линиями) определяют путем вычислений. В начертательной геометрии предпочтительным является *графический способ*. Он основан на построении фигуры на плоскости по ее натуральным размерам.

### **4.2. Развертываемые и неразвертываемые поверхности.**

#### **Построение развертки многогранной поверхности**

Поверхности, в зависимости от того, допускают ли они совмещение с плоскостью чертежа без складок и разрывов, делятся на *развертываемые* и *неразвертываемые*. К развертываемым относятся все поверхности многогранников, а также некоторые кривые поверхности, относящиеся к линейчатым. Это цилиндрические, конические и торсы, у которых касательная плоскость касается поверхности во всех точках ее прямолинейной образующей. Все остальные кривые поверхности являются *неразвертываемыми*. Для построения их разверток необходимо разбить поверхность на ма-



лые криволинейные участки, чтобы затем каждый можно было аппроксимировать (заменить) такими плоскими фигурами, которые требуют для построения своей природы только замеров. Развертки неразвертываемых кривых поверхностей являются приближенными.

Разверткой многогранной поверхности является плоская фигура, состоящая из всех граней, изображенных в натуральную величину. Построение развертки такой поверхности сводится к определению натуральной величины ее отдельных граней, представляющих собой треугольники или многоугольники. Треугольники строят по известному правилу – по трем сторонам. Если грань является  $n$ -угольником, то его разбивают на треугольники, число которых составляет  $(n - 2)$ . В связи с этим данный метод называется *способом треугольников (триангуляции)*. Триангуляцию применяют при построении разверток пирамидальных, конических и других линейчатых поверхностей, исключая призматические и цилиндрические.

Для построения разверток призматических гранных поверхностей применяют, как правило, *способ нормального сечения* или *способ раскатки*. Способ раскатки целесообразно использовать в том случае, когда основание призмы параллельно одной плоскости проекций, а ее ребра параллельны другой плоскости проекций.

#### 4.3. Развертка поверхности прямого кругового цилиндра и прямого кругового конуса

На практике при построении развертки прямого кругового цилиндра или конуса обычно не пользуются графическим способом. Для построения развертки боковой поверхности цилиндра вычисляют длину окружности и строят прямоугольник со сторонами  $H$  (высота цилиндра) и  $L = \pi D$ .

Разверткой поверхности прямого кругового конуса является сектор, радиус которого равен длине образующей конуса  $L$ , а угол сектора  $\varphi = 180^\circ D/L$  ( $D$  – диаметр основания конуса) (рис. 4.6).

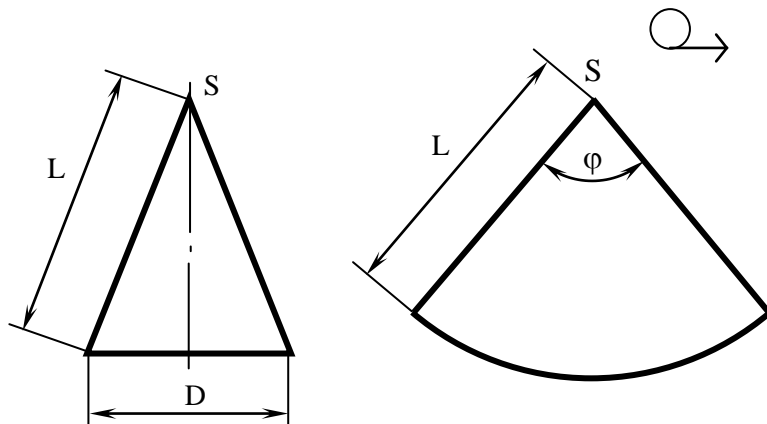


Рис. 4.6. Построение развертки боковой поверхности прямого кругового конуса

#### 4.4. Построение развертки наклонного цилиндра и наклонного конуса

При разворачивании боковой поверхности наклонного с круговым основанием цилиндра (эллиптического цилиндра) образуется фигура, ограниченная двумя кривыми линиями (синусоидами), концы которых соединены отрезками прямых (образующими цилиндра). В общем случае развертка такой поверхности строится путем замены (аппроксимации) кривой поверхности цилиндра поверхностью вписанной в него призмы. Получаемая развертка является приближенной. Она будет тем точнее, чем больше граней у вписанной в цилиндр призмы.

Развертка боковой поверхности эллиптического цилиндра способом нормального сечения построена на рис. 4.7. Поскольку поверхность имеет плоскость симметрии А-А, для сокращения графической работы строят, как правило, развертку только половины поверхности. Поэтому для определения расстояний между параллельными образующими на  $\Pi_7$  построена проекция половины нормального сечения. Размеры образующих (фронталей)  $L$  видим на  $\Pi_1$  без искажения.

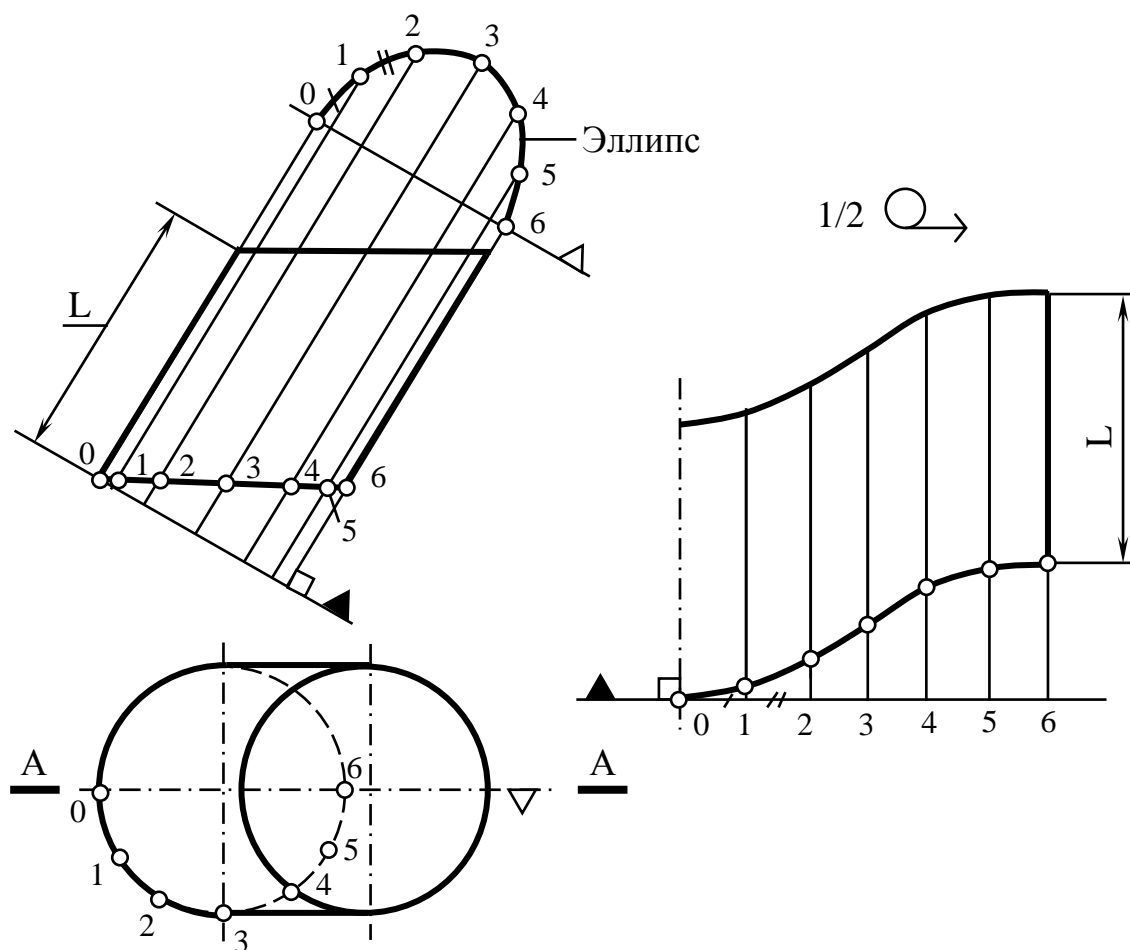


Рис. 4.7. Построение развертки боковой поверхности наклонного цилиндра

В данном случае поверхность представляет собой поверхность переменной кривизны. Следовательно, точность построения зависит не только от размеров отрезков 1, 2, 3, 4..., но и от относительной длины этих отрезков. Поэтому для большей точности, чем больше кривизна поверхности, тем более узкими должны быть параллелограммы.

В общем случае для построения развертки боковой поверхности наклонного конуса с круговым основанием (эллиптического конуса) в него вписывают гранную поверхность – пирамиду, ребра которой равны отрезкам образующих конуса, и строят развертку поверхности этого многогранника. Построенные на развертке вершины основания пирамиды соединяют плавной кривой линией, а крайние точки соединяют с вершиной конуса прямыми линиями. Развертка будет тем точнее, чем больше граней у пирамиды, вписанной в конус.

На рис. 4.8 в наклонный конус с круговым основанием вписана двенадцатиугольная пирамида (хорды не показаны).

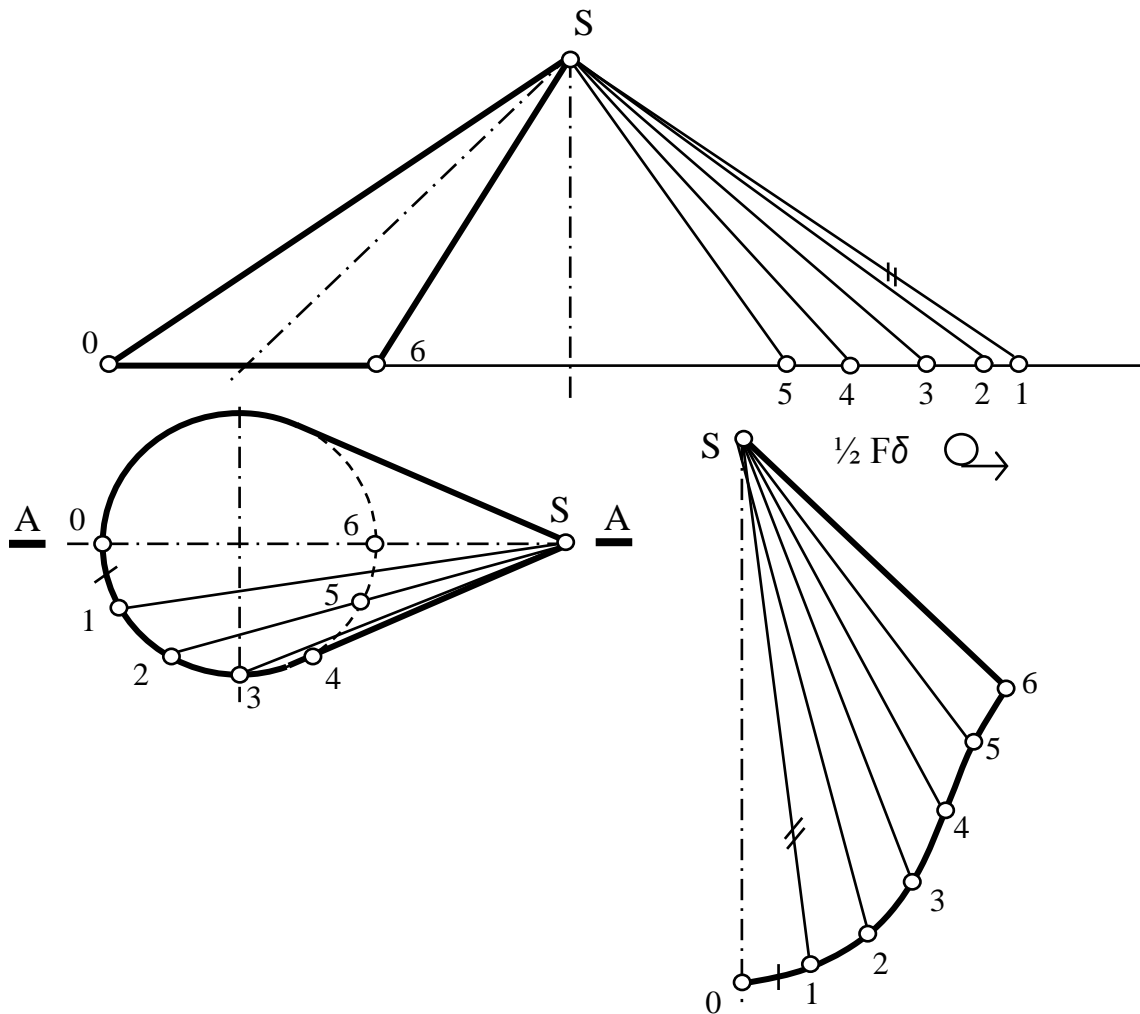


Рис. 4.8. Построение развертки боковой поверхности наклонного конуса

Способом прямоугольного треугольника определены натуральные величины ребер  $S_1, S_2, \dots, S_5$  пирамидального многогранника. Методом триангуляции построена половина развертки поверхности пирамиды (другая половина симметрична относительно  $S_0$  благодаря плоскости уровня А-А). Через полученные на развертке точки 0, 1, 2, ..., 6 проведена плавная кривая линия, концы которой соединены прямыми с вершиной S.

Аппроксимацией подобные разворачиваемые линейчатые криволинейные поверхности, как правило, разворачиваются приближенно. Однако таким приемом можно получить приближенную развертку также неразворачиваемой поверхности. Например, поверхность тора, сферы и др. можно приближенно заменить разворачиваемыми поверхностями, состоящими из плоских, цилиндрических и конических отсечков.

### **Вопросы для самопроверки по разделу «Кривые линии и поверхности»**

1. Какие бывают кривые линии?
2. Приведите алгоритм графического определения длины дуги кривой линии.
3. Что называется пространственной кривой линией? Основной признак на чертеже.
4. Какие кривые линии относятся к закономерным?
5. В чем состоит кинематический способ образования поверхности?
6. Какие способы задания кривых поверхностей приняты в начертательной геометрии?
7. Назовите поверхности вращения тел, наиболее часто встречающихся в технике.
8. Что называется разверткой поверхности?
9. В чем суть алгебраического и графического способов построения разверток?

## V. АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

### Тема 1. Сущность аксонометрических проекций

#### 1.1. Понятие об аксонометрической проекции предмета.

##### Прямоугольные и косоугольные аксонометрические проекции

*Аксонометрическая проекция (аксонометрия)* представляет собой наглядное *изображение предмета на одной плоскости*, получаемое путем проецирования предмета вместе с осями прямоугольных (декартовых) координат, к которым отнесен этот предмет. Обычно аксонометрические проекции строят путем параллельного проецирования, причем направление проецирования не совпадает с направлением ни одной из осей координатного пространства предмета. Слово *аксонометрия* переводится как *осеизмерение*.

Если направление проецирования перпендикулярно плоскости чертежа, то аксонометрическая проекция называется *прямоугольной*, в противном случае – *косоугольной*. Проекции на плоскость декартовых осей координат называются *аксонометрическими осями*. Помимо наглядности, аксонометрический однопроекторный чертеж обладает также свойством *обратимости*.

#### 1.2. Изометрические, диметрические и триметрические аксонометрические проекции

Отношение длины отрезка, расположенного на аксонометрической оси, к натуральной величине этого отрезка называется *коэффициентом искажения* –  $K$  (численно он равен косинусу угла наклона координатной оси к плоскости проекций, на которой строится аксонометрия). В зависимости от соотношения между координатами, искажения по осям аксонометрические проекции делятся на *изометрические*, когда все три коэффициента искажения равны между собой ( $K_x = K_y = K_z$ ); *диметрические*, когда два коэффициента искажения равны между собой, а третий не равен им (например,  $K_x = K_z \neq K_y$ ); *триметрические*, когда все три коэффициента искажения различны ( $K_x \neq K_y \neq K_z$ ).

## Тема 2. Стандартные аксонометрические проекции

### 2.1. Задание аксонометрических осей и коэффициентов искажения по ГОСТ 2.317-69. Виды аксонометрических проекций

В общем случае количество параллельных проекций предмета на плоскость вместе с системой координат, к которой отнесен предмет, бесконечное множество. Однако по ГОСТ 2.317-69 с целью максимальной наглядности используют пять комбинаций направления аксонометрических осей и коэффициентов искажения: две комбинации прямоугольной и три – косоугольной аксонометрической проекции.

Положение аксонометрических осей в *прямоугольной (ортогональной) изометрии* показано на рис. 5.1а. Действительный коэффициент искажения по осям равен 0,82. Для упрощения построение аксонометрии, как правило, выполняют без искажения, т. е. принимают  $K_x = K_y = K_z = 1$  (приведенный коэффициент искажения).

Положение аксонометрических осей *прямоугольной (ортогональной) диметрической проекции* приведено на рис 5.1б. Диметрическую проекцию, как правило, выполняют без искажения по осям  $x$  и  $z$  ( $K_x = K_z = 1,0$ ) и с коэффициентом искажения по оси  $y$  –  $K_y = 0,5$ .

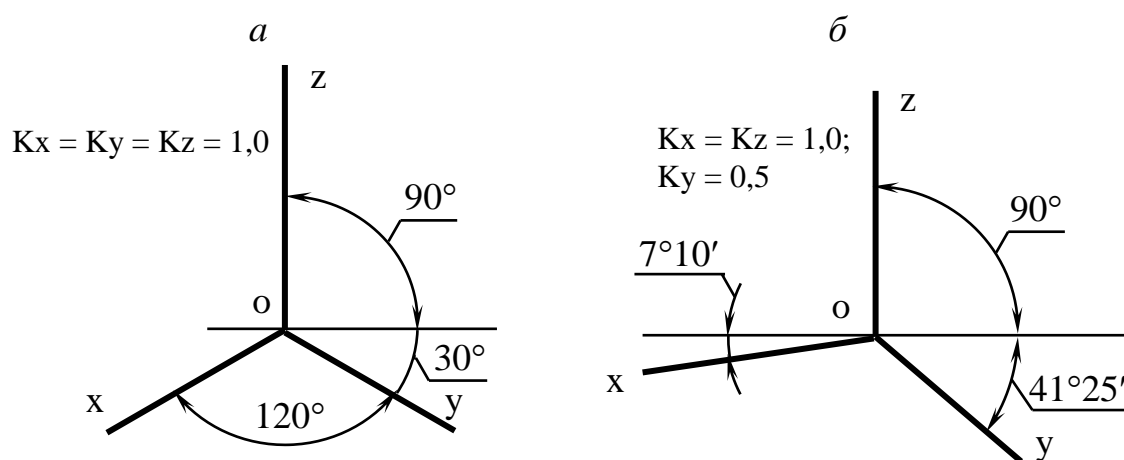


Рис. 5.1. Положение аксонометрических осей в прямоугольной проекции: а – изометрическая проекция; б – диметрическая проекция

При построении прямоугольной аксонометрической проекции все три координатные плоскости, к которым отнесен предмет, подвергаются искажению. На практике бывает полезным построение такой аксонометрической проекции, в которой хотя бы одна из координатных плоскостей не искажается. Ортогональным проецированием этого достичь невозможно. Поэтому, чтобы изображение не было лишено наглядности, применяют косоугольное проецирование.

Комбинации косоугольных аксонометрических проекций и значения коэффициентов искажения по аксонометрическим осям приведены на рис. 5.2. Допускается применять фронтальные изометрические и диметрические проекции с углом наклона оси  $y$ , равным  $30^\circ$  или  $60^\circ$ ; горизонтальную изометрическую проекцию с углом наклона оси  $y$ , равным  $45^\circ$  или  $60^\circ$ .

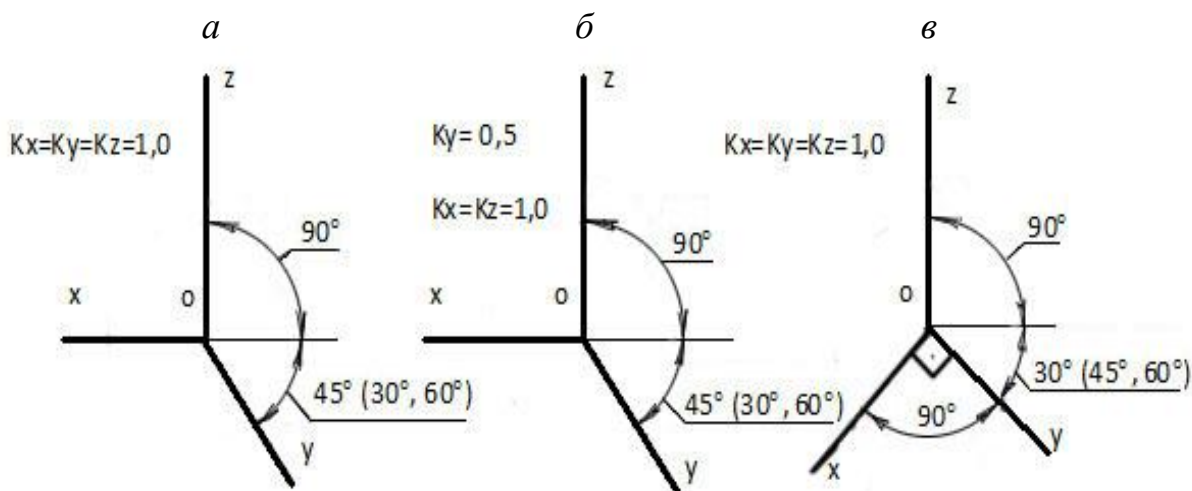


Рис. 5.2. Положение аксонометрических осей в косоугольной проекции:  
*a* – фронтальная изометрическая; *б* – фронтальная диметрическая;  
*в* – горизонтальная изометрическая

## 2.2. Аксонометрия плоских геометрических фигур: точка, отрезок прямой, плоскость, правильный шестиугольник, окружность

В технической практике наибольшее распространение получили прямоугольные (ортогональные) аксонометрические проекции. Они в большей степени, нежели косоугольные, удовлетворяют условию наглядности изображения.

Аксонометрия плоских геометрических объектов в прямоугольной изометрической проекции приведена на рис. 5.3–5.11.

*Точка.* Для ее построения определяют координаты по ортогональным проекциям на плоском чертеже и наносят их значения на аксонометрические оси без искажения ( $K_x = K_y = K_z = 1,0$ ) (рис. 5.3).

*Отрезок прямой.* Для построения аксонометрической проекции отрезка прямой АВ нужно по ортогональному чертежу (рис. 5.4*а*) определить координаты точек А и В, нанести их значения на аксонометрические оси, построить проекции точек, а затем соединить прямой (рис. 5.4*б*).

*Плоскость.* Чтобы построить аксонометрический чертёж плоскости, например общего положения, заданной на ортогональном (комплексном) чертеже треугольником  $ABC$  (рис. 5.5а), следует измерить координаты точек  $A, B, C$  и отложить их без искажения по аксонометрическим осям ( $A_x, A_y, A_z, B_x, \dots, C_z$ ), после чего, соединив аксонометрические проекции точек, получим аксонометрический чертёж плоскости (рис. 5.5б).

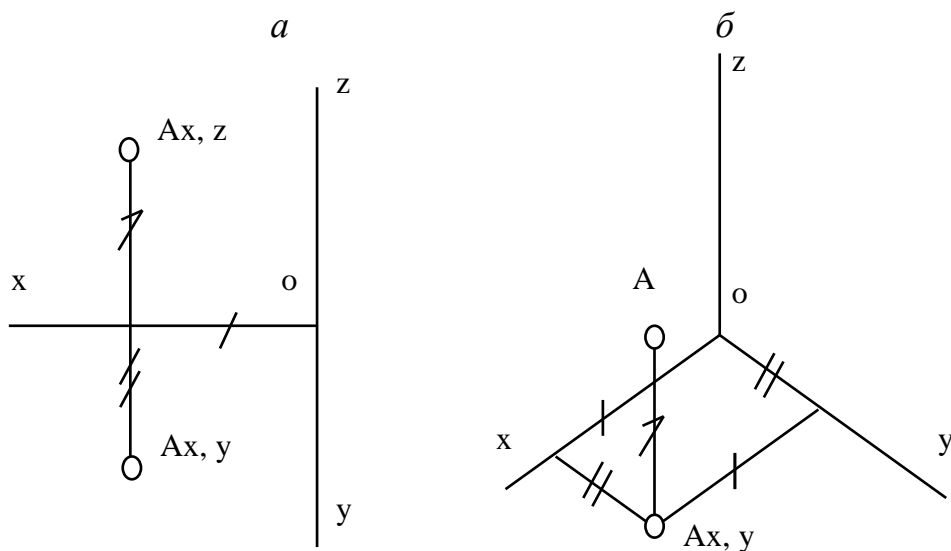


Рис. 5.3. Точка  $A$ :  $a$  – на ортогональном чертеже;  $\bar{b}$  – в прямоугольной изометрической проекции

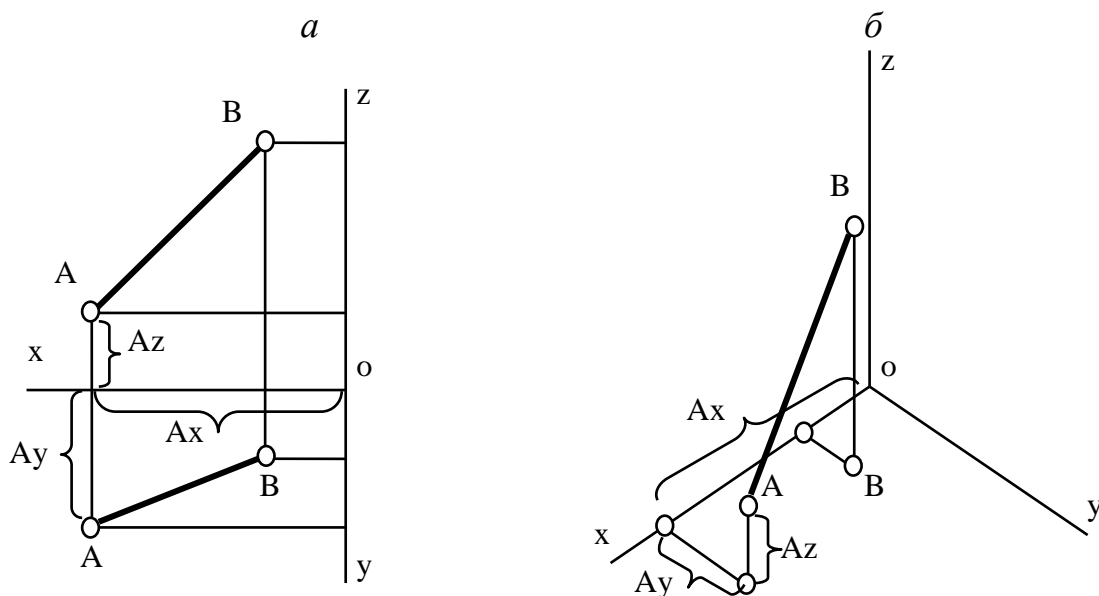


Рис. 5.4. Отрезок  $AB$ :  $a$  – на ортогональном чертеже;  $\bar{b}$  – в прямоугольной изометрической проекции



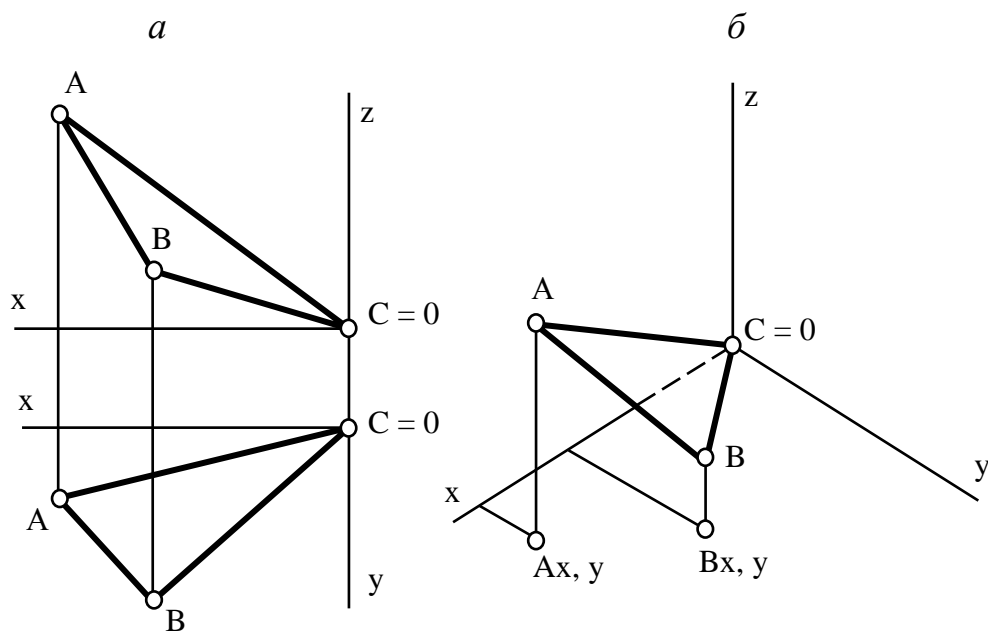


Рис. 5.5. Плоскость общего положения: *a* – на комплексном чертеже; *б* – в прямоугольной изометрической проекции

*Правильный шестиугольник.* Построение прямоугольной изометрической проекции правильного шестиугольника  $ABCDEF$ , расположенного во фронтальной плоскости уровня, показано на рис. 5.6. На аксонометрическом чертеже нанесены координаты центра  $O'$ , измеренные на ортогональном чертеже (рис. 5.6*a*). Через  $O'$  проведены оси симметрии  $BE$  и  $1-2$  параллельно аксонометрическим осям  $Oz$  и  $Ox$  соответственно.

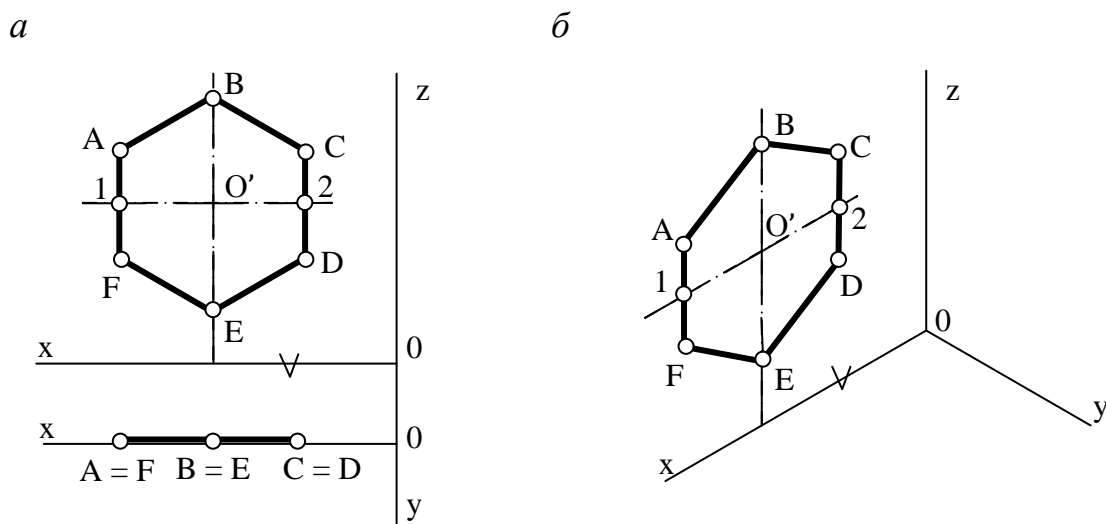


Рис. 5.6. Правильный шестиугольник: *a* – ортогональный чертеж; *б* – аксонометрический чертеж (прямоугольная изометрия)

На осях симметрии отмечены отрезки  $O'В$ ,  $O'Е$  и  $O'1$ ,  $O'2$ . Через точки 1 и 2 проведены прямые параллельно оси  $z$ , на которых отложены отрезки  $АF$  и  $СД$ , равные стороне шестиугольника. Соединив построенные точки прямыми, получим аксонометрический чертеж правильного шестиугольника (см. рис. 5.6б), принадлежащего фронтальной плоскости  $xOz$ .

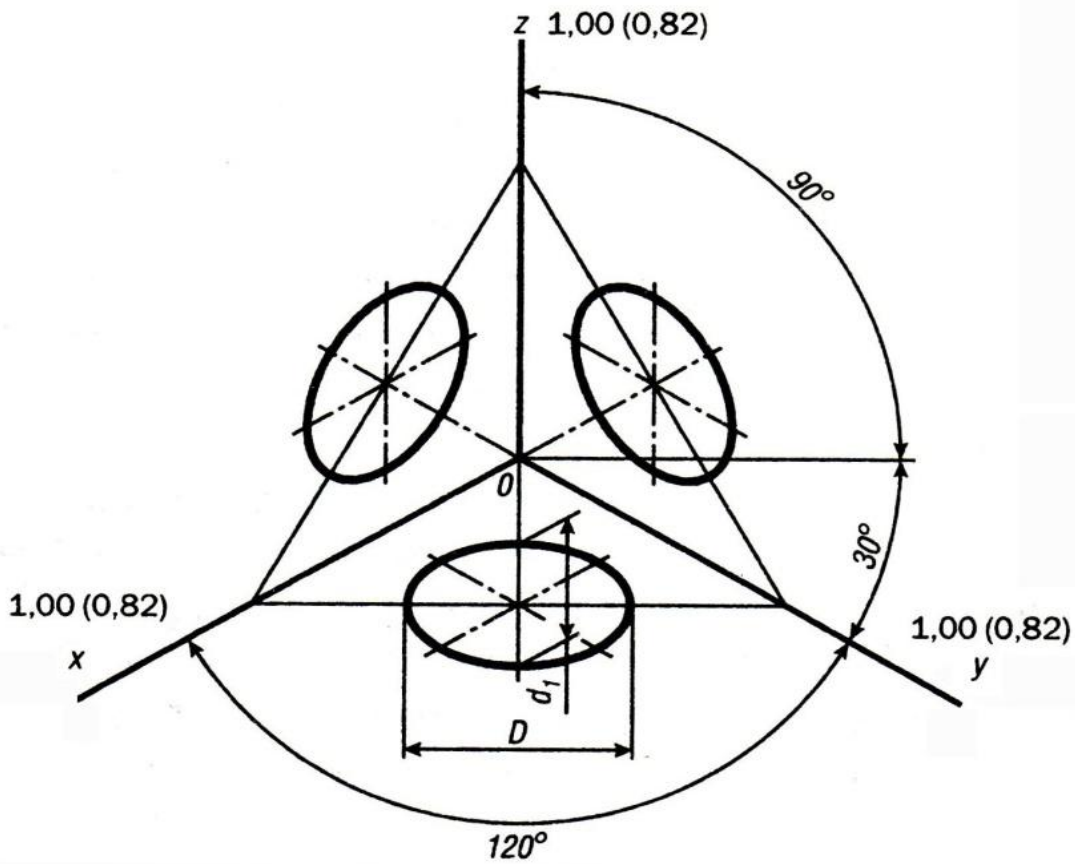
Аналогично строятся аксонометрические изображения фигур, лежащих в других плоскостях проекций ортогонального чертежа.

*Окружность.* В прямоугольной изометрической и диметрической проекциях окружности, расположенные в плоскостях, параллельных плоскостям проекций, проецируются в виде эллипсов. Большие оси эллипсов перпендикулярны аксонометрической оси, отсутствующей в данной плоскости (например, если строится эллипс во фронтальной плоскости проекций, то его большая ось перпендикулярна оси  $u$  и т. п.).

На рис. 5.7 содержатся сведения о прямоугольной изометрии, а на рис. 5.8 – о прямоугольной диметрии: положение аксонометрических осей, приведенные и действительные (в скобках) коэффициенты искажения по осям, размеры большой и малой осей эллипсов, если аксонометрический чертеж строится в условном масштабе (при приведенных коэффициентах искажения).

В случае если проекции окружностей лежат не в координатных плоскостях, эллипсы, как правило, строят по сопряженным диаметрам.

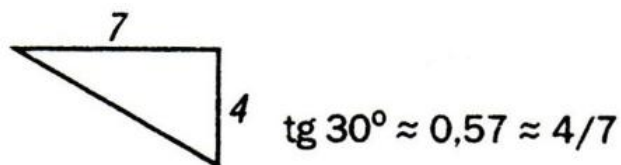
При построении прямоугольной аксонометрии все три натуральные (ортогональные) координатные плоскости подвергаются искажению. Однако на практике часто бывает полезным построение такой аксонометрической проекции, в которой хотя бы одна из координатных плоскостей не искажается. Это достигается применением косоугольного проецирования. Построение косоугольной аксонометрической проекции аналогично построению прямоугольной, т. е. необходимо знать аксонометрическое направление осей и показатели искажения по этим осям.



$$D = 1,22d$$

$$d_1 = 0,71d$$

Размеры осей эллипсов при  
приведенных коэффициентах  
искажения



У осей указаны приведенные  
и действительные (в скобках)  
коэффициенты искажения

Рис. 5.7. Прямоугольная изометрическая проекция окружности



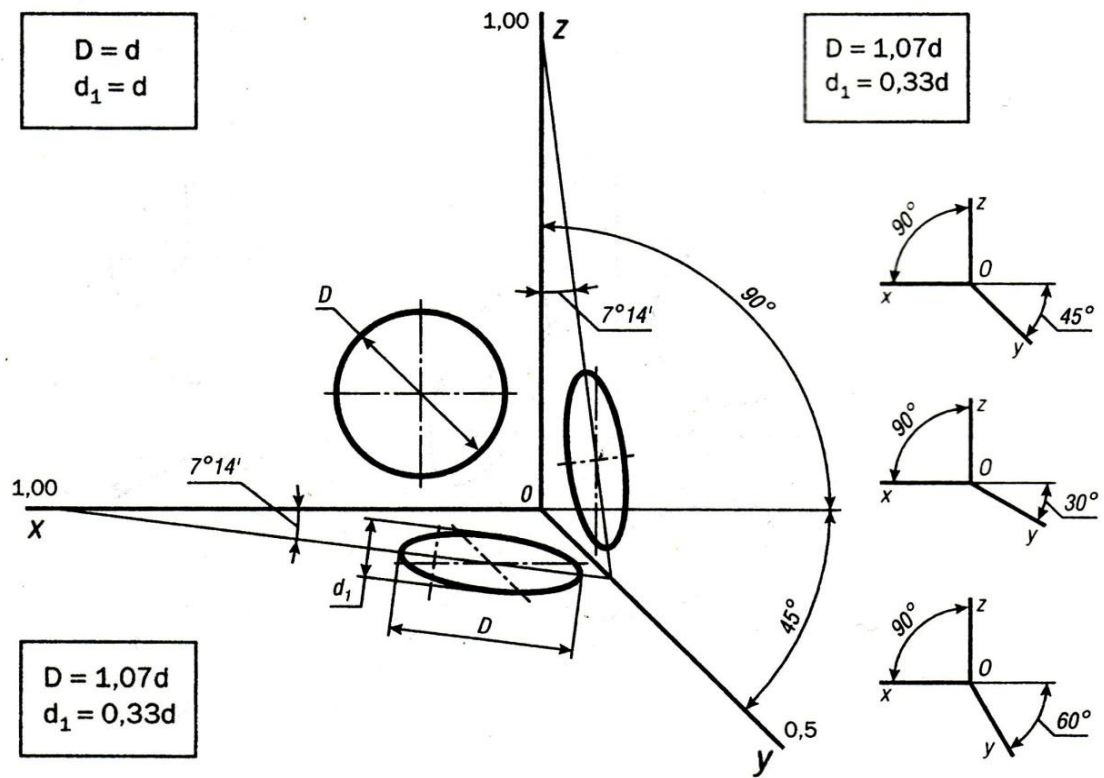


Рис. 5.10. Косоугольная фронтальная диметрическая проекция окружности

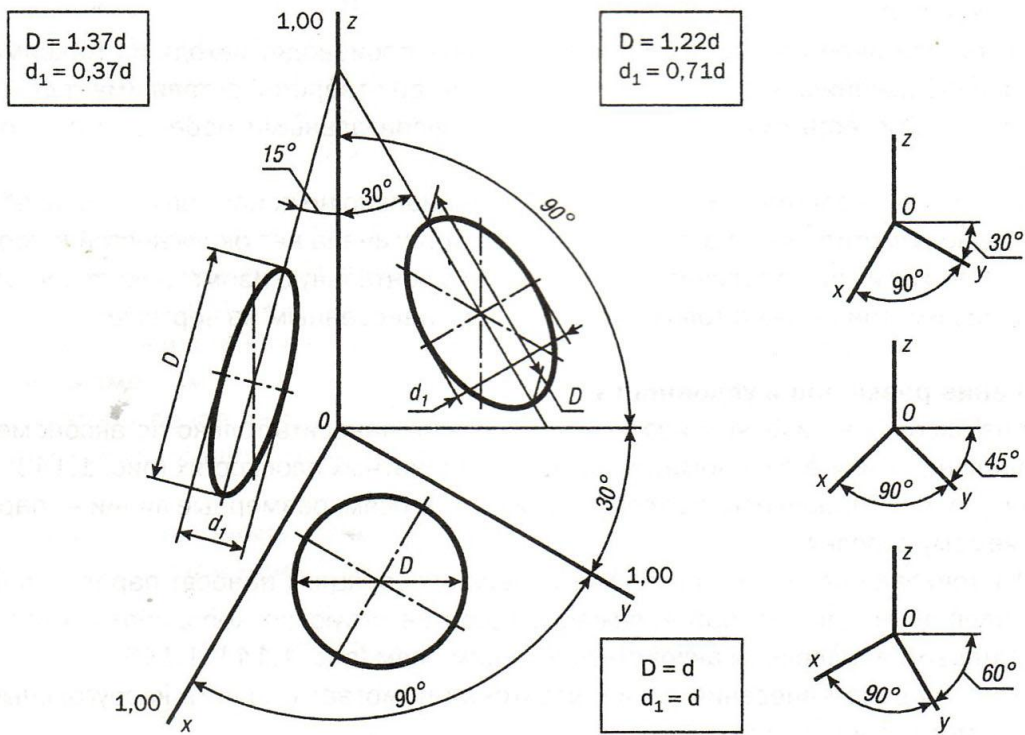


Рис. 5.11. Косоугольная горизонтальная изометрическая проекция окружности

### 2.3. Аксонометрия пространственных геометрических фигур. Нанесение размеров и штриховки

Переход от ортогонального (комплексного) чертежа геометрической фигуры (оригинала) к аксонометрическому изображению рекомендуется осуществлять в такой последовательности:

1. На ортогональном чертеже намечают оси прямоугольной системы координат, к которой относят данную фигуру. Оси ориентируют так, чтобы они допускали удобное измерение координат характерных элементов фигуры (точек, отрезков прямых и др.). Например, при построении аксонометрии тела вращения одну из координатных осей целесообразно совместить с осью тела.

2. На ортогональном чертеже оригинала намечают характерные элементы фигуры, необходимые для построения аксонометрического чертежа.

3. Строят аксонометрические оси таким образом, чтобы обеспечить наилучшую наглядность изображения и видимость тех или иных элементов оригинала.

Хорошие результаты по наглядности дают прямоугольные изометрия и диметрия. Из косоугольных аксонометрических проекций широко применяются фронтальная диметрия ( $\Pi'//\Pi_1$ ) и горизонтальная изометрия ( $\Pi'//\Pi_2$ ) благодаря простоте их построения. Фронтальная диметрия не искажает вида спереди, а горизонтальная изометрия сохраняет без изменения все контуры на виде сверху.

4. Используя натуральные (ортогональные) координаты характерных элементов фигуры, строят их аксонометрические проекции.

5. Полученное изображение характерных элементов фигуры дополняют аксонометрическими проекциями других линий.

6. Обводят аксонометрический чертеж требуемыми линиями, соблюдая правила их начертания по ГОСТ 2.303-68.

Ортогональные проекции многогранника заданы на рис. 5.12а. Выбранное расположение осей прямоугольной системы координат: на виде спереди –  $xOz$ , на виде слева –  $yOz$ . Характерными элементами многогранника являются его вершины и ребра. На ортогональном чертеже измерены натуральные величины координат вершин многогранника и построены проекции вершин многогранника в аксонометрии. Затем построенные вершины соединены отрезками – ребрами многогранника (рис. 5.12б).

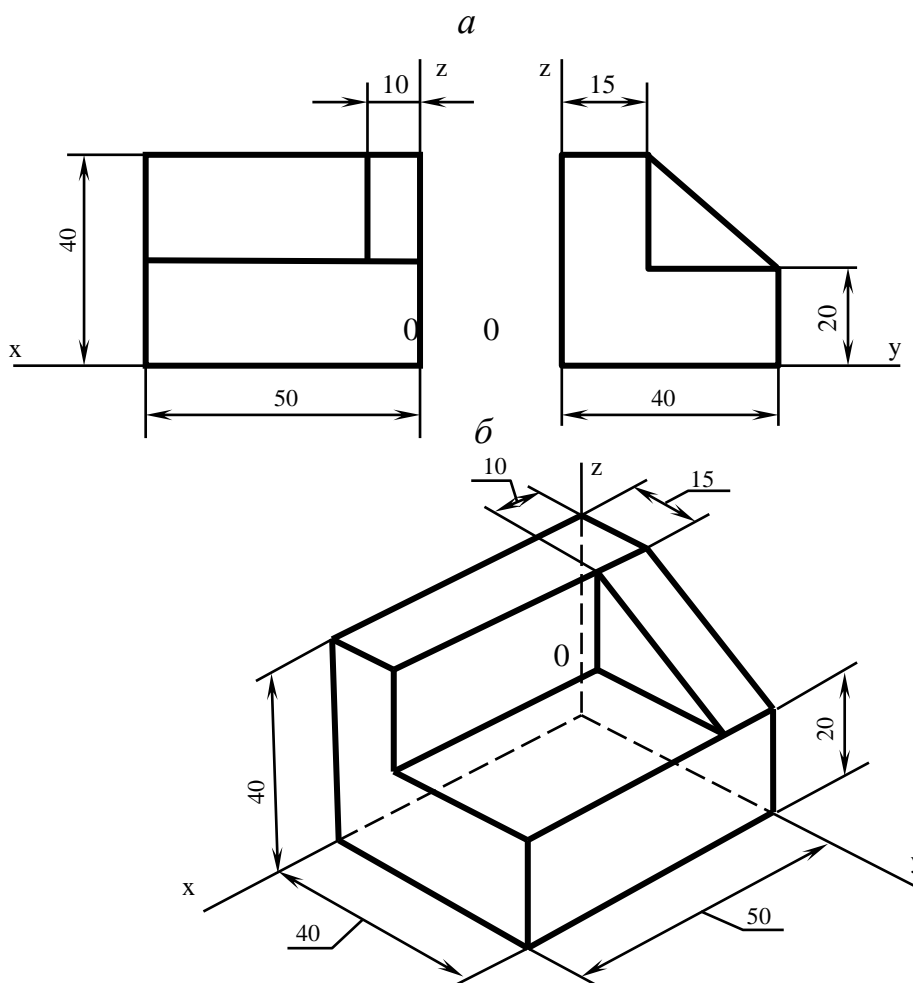


Рис. 5.12. Чертежи многогранника: *a* – ортогональный;  
*б* – аксонометрический (прямоугольная изометрия)

При построении косоугольных фронтальных или горизонтальных проекций, как отмечалось выше, геометрические фигуры следует располагать по отношению к плоскостям проекций таким образом, чтобы сложные плоские элементы, окружности, дуги плоских кривых находились в плоскостях, параллельных плоскости  $\Pi_1$  или  $\Pi_2$ . Тогда их построение упрощается, так как они изображаются в этом случае без искажений.

Заданы ортогональные проекции технической формы, выбрано расположение осей прямоугольной системы координат (рис. 5.13*a*). Характерными элементами оригинала являются вершины и ребра четырехгранника, а также ось, диаметр и глубина отверстия. По ортогональному чертежу и характерным элементам оригинала построен аксонометрический чертеж в косоугольной фронтальной изометрии.

Размеры на аксонометрическом изображении можно наносить только по аксонометрическим направлениям или в аксонометрических координатных плоскостях (см. рис. 5.12б). Выносные линии проводят параллельно аксонометрическим осям, размерные линии – параллельно измеряемому отрезку (рис. 5.14).

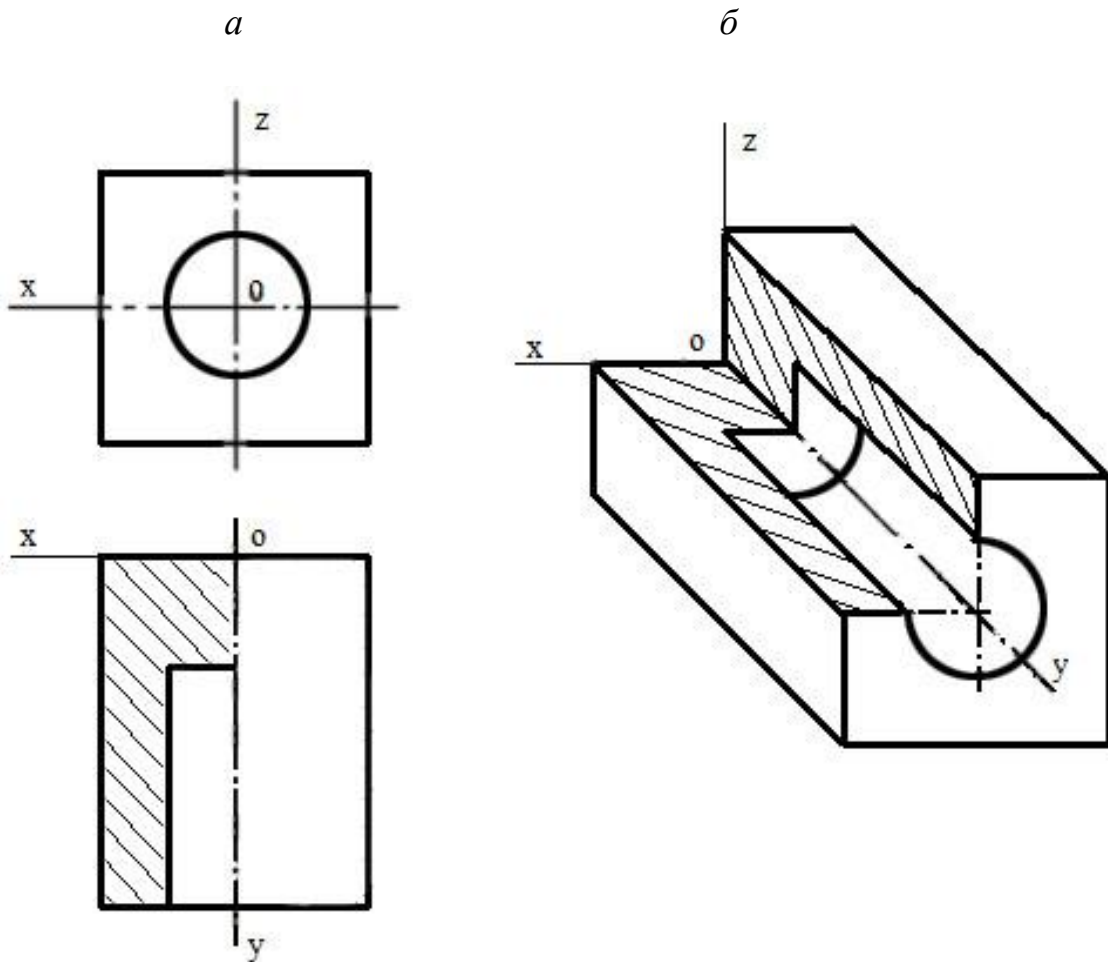


Рис. 5.13. Чертеж технической формы: *a* – ортогональный; *б* – фронтальная изометрия ( $K_x = K_y = K_z = 1,0$ )

Линии штриховки сечений в аксонометрических проекциях наносят параллельно одной из диагоналей проекции квадратов, лежащих в соответствующих координатных плоскостях, стороны которых параллельны аксонометрическим осям (см. рис. 5.13; рис. 5.15).

Принятое правило нанесения линий штриховки сечений помогает различить косоугольные фронтальные изометрию и диметрию.



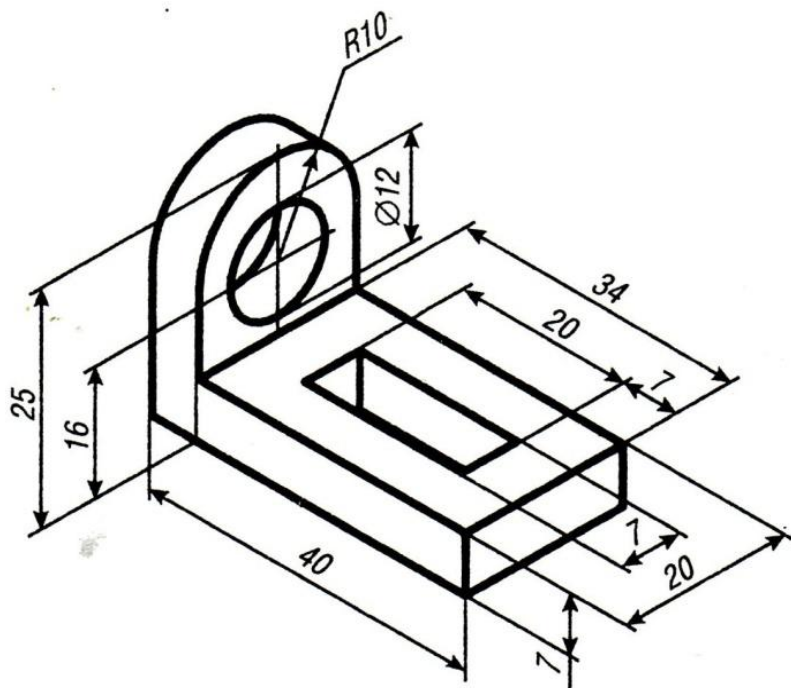


Рис. 5.14. Нанесение линейных размеров на аксонометрическом чертеже

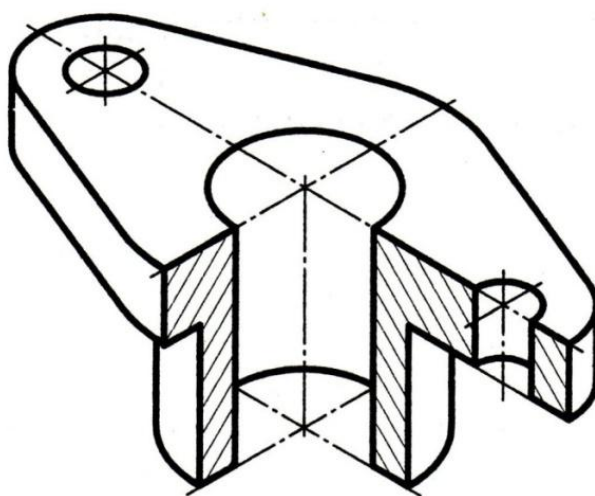


Рис. 5.15. Нанесение линий штриховки сечений на аксонометрическом чертеже

Масштабы ортогонального и аксонометрического чертежа могут быть различными. Так, при построении прямоугольной диметрии фигуры ( $K_x = K_z = 1,0$ ;  $K_y = 0,5$ ) все линейные размеры ее вдоль осей  $x$  и  $z$  могут быть увеличены или уменьшены в  $n$  раз, но тогда размеры вдоль оси  $y$  должны быть соответственно увеличены или уменьшены в  $0,5n$  раз.

## Вопросы для самопроверки по разделу «АксонOMETрические проекции»

1. Что такое прямоугольное и косоугольное аксонOMETрическое проецирование?
2. Что понимается под коэффициентом искажения?
3. Какие бывают аксонOMETрические проекции и чему равны коэффициенты искажения по аксонOMETрическим осям?
4. Как располагаются аксонOMETрические оси в стандартных прямоугольной изOMETрической и диметрической проекциях?
5. Для чего используют косоугольное проецирование?
6. Покажите расположение аксонOMETрических осей в косоугольной фронтальной диметрической проекции. Чему равны коэффициенты искажения по осям?
7. В какие линии проецируются окружности в аксонOMETрических проекциях?
8. Как направлены большие и малые оси эллипсов в прямоугольной изOMETрии и диметрии? Назовите их размеры.
9. Как штрихуются разрезы на аксонOMETрическом чертеже в различных плоскостях?
10. Какие правила необходимо соблюдать при нанесении размеров на аксонOMETрическом изображении?
11. Можно ли строить аксонOMETрический чертеж в масштабе, отличающемся от масштаба ортогонального чертежа?

## VI. КОНСТРУКТОРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ И ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ ПО ЕСКД

### Тема 1. Виды изделий и конструкторских документов

#### 1.1. Что понимается под изделием?

##### Изделия основного и вспомогательного производства

Любой предмет или набор предметов производства, изготовленный предприятием (заводом, фабрикой и т. п.), принято называть *изделием*. Виды изделий при выполнении конструкторских документов регламентирует ГОСТ 2.101-68.

В зависимости от их назначения выделяют изделия *основного производства* и изделия *вспомогательного производства*. Первые предназначены для поставки (реализации) внешним потребителям продукции, а вторые

используются только для собственных нужд предприятия, изготавливающего эти изделия.

## 1.2. Неспецифицированные и специфицированные изделия. Виды изделий и их структура

В зависимости от наличия или отсутствия в изделиях составных частей, их делят на *неспецифицированные* (детали) – не имеющие составных частей, и *специфицированные* (сборочные единицы, комплексы, комплекты) – состоящие из двух и более составных частей.

Установлены следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты (рис. 6.1).

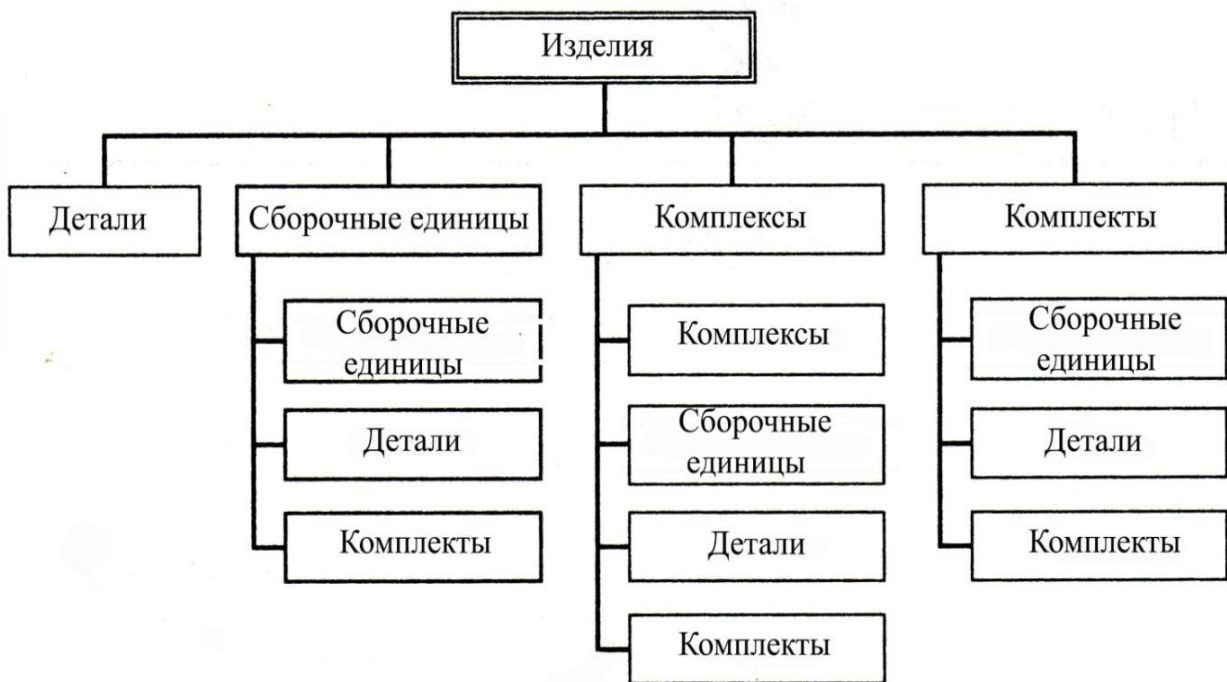


Рис. 6.1. Виды изделий

*Деталь* – это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций.

Изделие, состоящее из двух и более деталей, называется *сборочной единицей*. Сборочная единица может включать не только детали, но и сборочные единицы. Например, сборочная единица автомобиль наряду с отдельными деталями содержит такие сборочные единицы, как двигатель, кузов, коробка передач и др.

К *комплексам* относят, в частности, такие изделия, как поточная линия станков, завод-автомат, корабль и т. п. Комплекс состоит из двух и более сложных изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями. Каждое из изделий, входящих в комплекс, служит

для выполнения одной или нескольких функций, установленных для всего комплекса.

К *комплектам* относятся два и более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие собой набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (например, комплект инструмента для экскаватора и т. п.).

В промышленности используется также понятие *продукция* (промышленная продукция). По классификационному признаку продукция – это изделия и материалы. *Материал* – исходный предмет труда, потребляемый для изготовления изделия (ГОСТ 3.1109-82).

### **1.3. Основные виды конструкторских документов.**

#### **Графические и текстовые документы**

К конструкторским документам относят графические и текстовые документы, которые определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для этапов его жизненного цикла: разработки и изготовления, контроля, приемки, эксплуатации, ремонта и утилизации. ГОСТ 2.102-68 устанавливает виды конструкторских документов на изделия.

#### ***Основные графические конструкторские документы***

*Чертеж детали.* Документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля.

*Сборочный чертеж* (код документа – СБ). Документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля. К сборочным чертежам относят также чертежи, по которым выполняют гидро- и пневмомонтаж.

*Чертеж общего вида* (код – ВО). Документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его составных частей и поясняющий принцип работы изделия.

*Габаритный чертеж* (код – ГЧ). Документ, содержащий контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами.

*Монтажный чертеж* (код – МЧ). Документ, содержащий контурное (упрощенное) изображение изделия и данные, необходимые для его установки (монтажа) на месте применения. К монтажным чертежам относятся также чертежи фундаментов, специально разрабатываемых для установки изделия.

*Схема* (по ГОСТ 2.701-84). Документ, на котором в виде условных изображений или обозначений показаны составные части изделия и связи между ними.

К основным текстовым конструкторским документам относятся спецификация, ведомость спецификаций, пояснительная записка, технические условия, таблица, расчет, инструкция.

*Спецификация* (кода нет). Документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекса, комплекта.

*Ведомость спецификаций* (код – ВС). Документ, содержащий перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их количества и входимости.

*Пояснительная записка* (код – ПЗ). Документ, содержащий описание устройства и принципа действия разрабатываемого изделия, а также обоснование принятых при его разработке технических и технико-экономических решений.

*Технические условия* (код – ТУ). Документ, содержащий требования (совокупность всех показателей, норм, правил и положений) к изделию, его изготовлению, контролю, приемке и поставке, которые целесообразно указывать в других конструкторских документах.

*Таблица* (код – ТБ). Документ, содержащий в зависимости от его назначения, соответствующие данные, сведенные в таблицу.

*Расчет* (код – РР). Документ, содержащий расчеты параметров и величин. Например, расчет на прочность, расчет производительности и т. п.

*Инструкция* (кода нет). Документ, содержащий указания и правила, используемые при изготовлении и эксплуатации изделия (сборке, регулировке, контроле, приемке и т. п.).

В зависимости от способа выполнения и характера использования конструкторские документы подразделяются на оригиналы, подлинники, дубликаты и копии.

## **Тема 2. Форматы. Масштабы**

### **2.1. Понятие о формате чертежа. Оформление формата. Основные и дополнительные форматы. Основная надпись**

Чертежи выполняются на листах бумаги определенных прямоугольных форматов, размеры которых устанавливает ГОСТ 2.301-68 (т. е. формат – это лист чертежной бумаги стандартного размера).

Формат листа определяется размерами *внешней рамки*, выполненной тонкой линией, по которой производится его обрезка. *Внутренняя рамка*, ограничивающая поле чертежа, проводится сплошной основной линией на расстоянии 20 мм от левой стороны внешней рамки и на расстоянии 5 мм от остальных сторон.

Форматы подразделяются на *основные* и *дополнительные*. Обозначения и размеры форматов, принятых за основные, приведены далее:

Обозначение	АО	А1	А2	А3	А4
Размеры сторон, мм	841×1 189	594×841	420×594	297×420	210×297

Формат АО принят за *исходный*, остальные получают делением предыдущего формата на две равные части параллельно меньшей его стороне.

Если неудобно применение основных форматов, используют *дополнительные форматы*, которые получают увеличением меньшей стороны основного формата на значение, кратного его размеру. Например, А4×4 (297×841).

В правом нижнем углу формата, вплотную к рамке, располагается основная надпись, а над ней, если необходимо, указываются технические требования. Форму, размеры и порядок оформления основной надписи для всех чертежей и схем устанавливает ГОСТ 2.104-68. На листах формата А4 основную надпись располагают только вдоль короткой стороны. На листах больших форматов основную надпись можно располагать как вдоль короткой, так и вдоль длинной стороны.

Для оформления чертежно-конструкторской документации предусмотрены три формы основных надписей: для первого листа чертежей и схем – форма 1 (рис. 6.2); для первого листа текстовых конструкторских документов – форма 2; для последующих листов чертежей, схем и текстовых конструкторских документов – форма 2а.

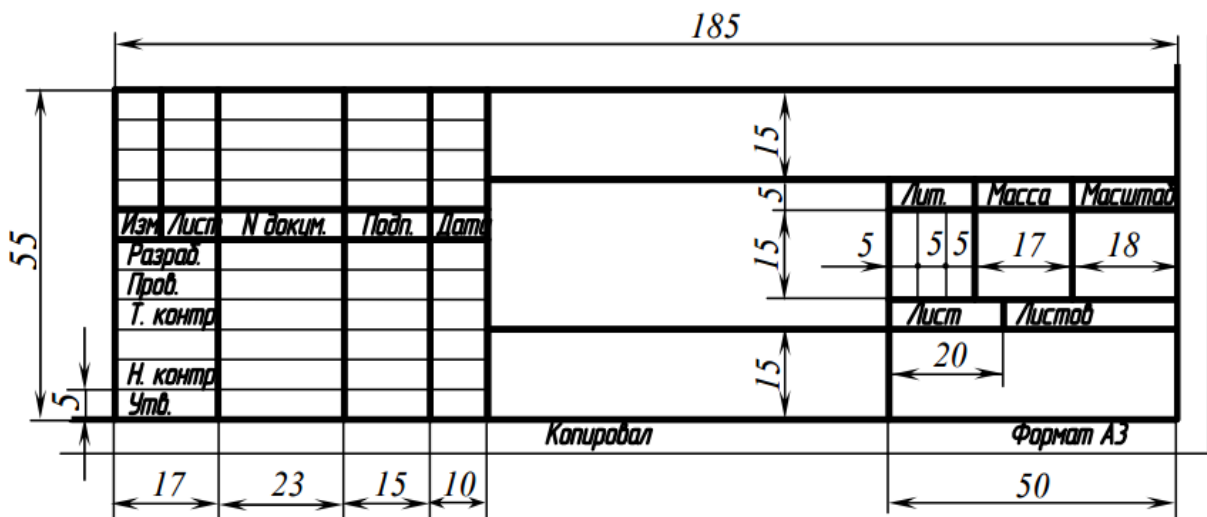


Рис. 6.2. Основная надпись по форме 1

## 2.2. Понятие о масштабе. Масштабы изображений на чертежах по ГОСТ 2.302-68. Обозначение масштаба

Детали, сборочные единицы и другие объекты на чертеже в зависимости от их сложности и размеров могут изображаться либо в натуральную величину, либо с увеличением, либо с уменьшением.

*Масштаб* – это отношение линейных размеров изделия на чертеже к его действительным линейным размерам. Масштабы, согласно ГОСТ 2.302-68, подразделяются на три группы:

Масштабы уменьшения	1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40
Натуральная величина	1:1
Масштабы увеличения	2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1

Не масштабируются угловые размеры.

Наиболее наглядным изображением предмета является его вычерчивание в натуральную величину, т. е. в масштабе 1:1. Очень крупные или простые по форме предметы, как правило, вычерчивают в масштабе уменьшения. Мелкие предметы или предметы сложной формы вычерчивают в масштабе увеличения.

*Обозначение* масштаба состоит из прописной буквы «М» и масштабного соотношения: М1:1; М1:4; М5:1 и т. д. При занесении масштаба в основную надпись чертежа и при обозначении выносного элемента, дополнительного вида и других изображений, выполненных в другом масштабе, чем указанный в основной надписи, буква «М» не ставится. Над изображением помещают надписи типа А(5:1) – для вида; Б-Б (1:4) – для разреза или сечения.

Следует *помнить*, что при любом масштабе на чертеже указывают истинные размеры предмета, а не те, которые изображение имеет на чертеже.

## Тема 3. Линии, шрифты чертежные, графическое обозначение материалов в разрезах и сечениях

### 3.1. Типы линий, их начертание, толщина и назначение

При оформлении чертежно-графической конструкторской документации используются различные линии, назначение и начертание которых устанавливает ГОСТ 2.303-68 (таблица).

## Типы линий, их начертание и назначение

Наименование	Начертание	Толщина линии	Назначение
Сплошная толстая основная		$s$ (0,5...1,4 мм)	Линии видимого контура, линии перехода видимые
Сплошная тонкая		$s/3... s/2$	Линии выносные и размерные, линии штриховки, линии-выноски и др.
Сплошная волнистая		$s/3... s/2$	Линии обрыва, линии разграничения вида и разреза
Штриховая		$s/3... s/2$	Линии невидимого контура, линии перехода невидимые
Штрихпунктирная тонкая		$s/3... s/2$	Линии осевые и центровые. Линии сечений, являющиеся осями симметрии для наложенных или вынесенных сечений
Штрихпунктирная утолщенная		$s/2... 2/3 s$	Линии, обозначающие поверхности, подлежащие обработке или покрытию и др.
Разомкнутая		$s ... 1,5 s$	Линии сечений
Сплошная тонкая с изломами		$s/3... s/2$	Длинные линии обрыва
Штрихпунктирная с двумя точками тонкая		$s/3... s/2$	Линии сгиба на развертках, линии для изображений изделий в крайних положениях и др.

В зависимости от размера (формата) чертежей и их сложности толщина сплошной толстой основной линии «S» принимается от 0,5 до 1,4 мм. На учебных чертежах, выполняемых карандашом, рекомендуемая толщина основной линии должна быть не менее 1 мм. При выполнении чертежа на компьютере назначается  $S \approx 0,7$  мм.

Предпочтительная толщина разомкнутой линии (линии сечения или разреза) в 1,5 раза больше толщины основной линии на чертеже. Толщина всех типов остальных линий устанавливается в 2...3 раза меньше основной. Толщина линии одного типа должна быть одинаковой для всех изображений одного чертежа, вычерчиваемых в одинаковом масштабе.

Величина штрихов в штриховых и штрихпунктирных линиях выбирается в зависимости от величины изображения: чем больше длина, тем



длиннее штрих. Штрихпунктирные линии, применяемые в качестве центровых линий, должны пересекаться между собой длинными штрихами. Центровые и осевые штрихпунктирные линии должны выходить за контуры фигуры на 2...5 мм. Вычерчивание симметричных изображений начинается обычно с проведения осевых линий (линий симметрии).

### 3.2. Шрифты чертежные

ГОСТ 2.304-81 определяет форму и размеры букв и цифр, с помощью которых дают поясняющие надписи и размерные числа на чертеже (рис. 6.3).

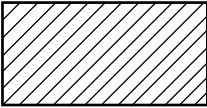
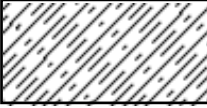
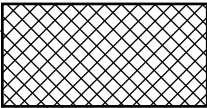
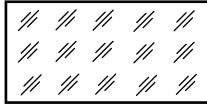
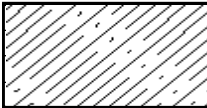
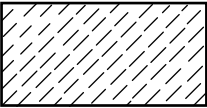
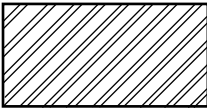


Рис. 6.3. Шрифт типа Б

Размер (номер) шрифта определяется высотой  $h$  прописных букв и цифр в миллиметрах;  $d$  – толщина линий шрифта. Этот стандарт устанавливает шрифты: тип А ( $d = h / 14$ ) и тип Б ( $d = h / 10$ ) без наклона и с наклоном  $75^\circ$ . Установлены следующие номера шрифта: 1,8; 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40. Высота строчных букв каждого размера шрифта составляет  $7/10$  высоты прописных букв того же размера. Расстояние между буквами в слове –  $2d$ , между словами – не менее  $6d$ , между основаниями строк – не менее  $17d$ . Основная ширина букв –  $(5...7)d$ .

На учебных чертежах рекомендуется: размер шрифта при нанесении размерных чисел – номера 3,5 и 5, технических условий – номер 7.

### 3.3. Графическое обозначение материалов в разрезах и сечениях

Обозначение	Материал	Обозначение	Материал
	Общее обозначение независимо от вида материала. Металлы и твердые сплавы		Бетон
	Неметаллические материалы, в том числе волокнистые, монолитные и прессованные		Стекло и другие светопрозрачные материалы
	Древесина		Железобетон
	Камень естественный		Грунт естественный
	Камень и силикатные материалы для кладки		Засыпка из любого материала

## Тема 4. Нанесение размеров на чертежах

### 4.1. Типы размеров и общие требования к их нанесению.

#### Группы размеров

ГОСТ 2.307-2011 устанавливает основные правила нанесения размеров на изображениях чертежа.

Линейные размеры указываются на чертеже в миллиметрах без обозначения единицы измерения, угловые – в градусах, минутах и секундах с обозначением единиц измерения.

При нанесении размеров используются выносные и размерные линии. Размерные линии предпочтительно выносить за пределы изображения. Размерную линию ограничивают с обоих концов стрелками. Выносная линия выходит за размерную на 1...5 мм. При нанесении размера прямо-

линейного отрезка размерную линию проводят параллельно этому отрезку, а выносные линии – перпендикулярно размерным. При нанесении размера угла размерную линию проводят в виде дуги с центром в его вершине, а выносные линии – радиально. Размерные числа наносят над или слева от размерной линии возможно ближе к ее середине. На чертеже должно быть проставлено минимальное число размеров, но достаточное для его изготовления и контроля. Повторение размеров на разных изображениях и в тексте чертежа не допускается. Минимальные расстояния между параллельными размерными линиями, а также от размерной линии до линии контура чертежа должны быть не менее 10 мм.

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

При нанесении нескольких параллельных или концентрических размерных линий на небольшом расстоянии друг от друга размерные числа над ними рекомендуется располагать в шахматном порядке (рис. 6.4а) Размерные числа линейных размеров при различных наклонах размерных линий располагают, как показано на рис. 6.4б.

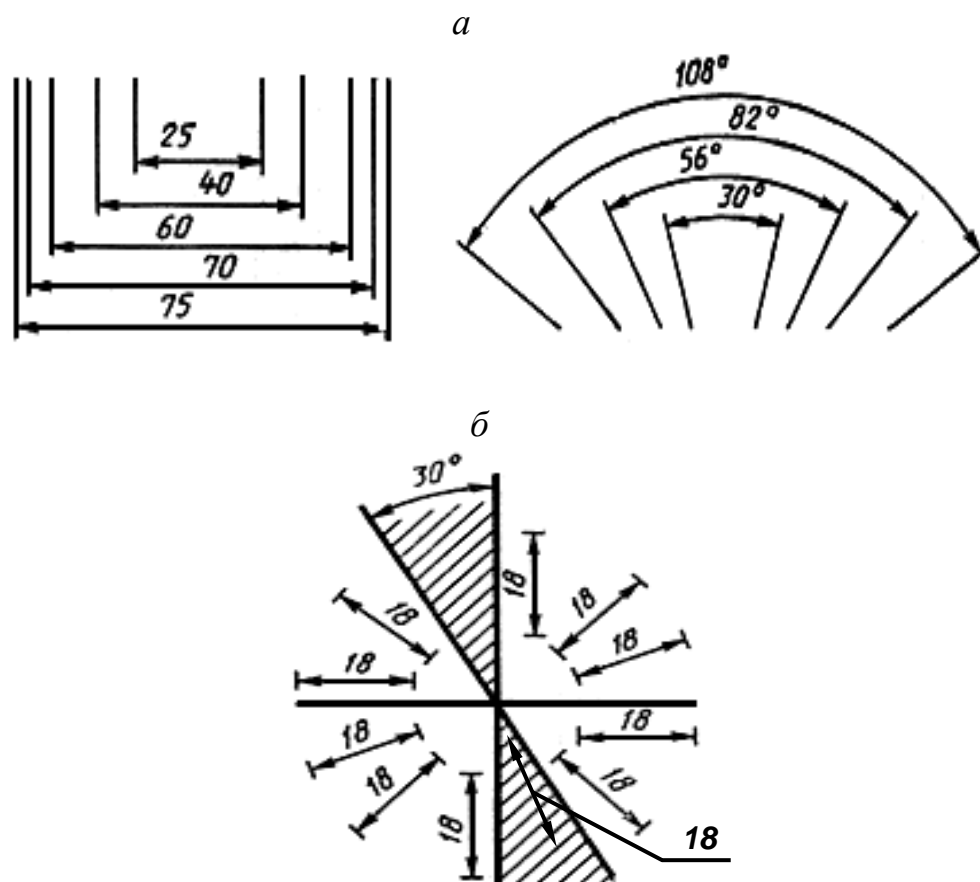


Рис. 6.4. Нанесение размерных чисел: *а* – при параллельном; *б* – при наклонном расположении размерных линий

Если необходимо нанести размер в заштрихованной зоне, соответствующее размерное число наносят на полке линии-выноски.

При толщине линий видимого контура  $0,7 \dots 1,0$  мм величина элементов стрелок размерных линий должна соответствовать размерам, приведенным на рис. 6.5.

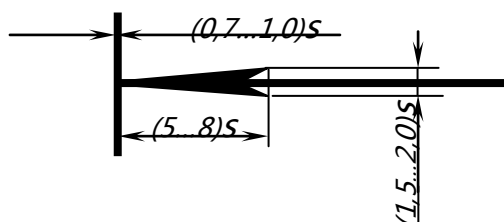


Рис. 6.5. Оформление размерных стрелок

В качестве размерных линий нельзя использовать контурные, осевые, центровые и выносные линии. При нанесении размера длины дуги окружности размерную линию проводят концентрично дуге, выносные линии – параллельно биссектрисе угла этой дуги, а над размерным числом наносят знак  $\widehat{\phantom{x}}$  (рис. 6.6).

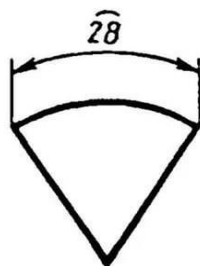


Рис. 6.6. Нанесение размера дуги окружности

Размерные числа не допускаются пересекать какими-либо линиями чертежа. В месте нанесения размерного числа центровые, осевые линии и линии штриховки прерываются. Стрелка размерной линии также не может пересекаться другими линиями чертежа. Любая линия при пересечении со стрелкой прерывается.

При изображении изделия на чертеже с разрывом размерная линия не прерывается (рис. 6.7).

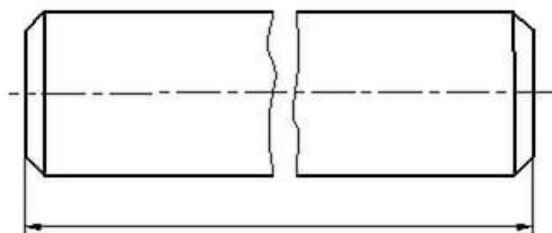


Рис. 6.7. Изображение с разрывом

Размеры, проставляемые на чертеже изделия, подразделяются на группы:

1) *габаритные размеры* (длина, ширина, высота) – определяют предельный внешний контур изделия;

2) *присоединительные* – обеспечивают сборку сопрягаемых поверхностей изделия;

3) *прочие*, необходимые для изготовления элементов детали;

4) *справочные* – это размеры, которые не используются при изготовлении изделия по данному чертежу, но облегчают его чтение и создают удобство пользования чертежом. В технических требованиях к чертежу делается запись: \*) Размер(ы) для справок.

## 4.2. Базовые элементы детали.

### Способы нанесения размеров в зависимости от выбранной базы

Размеры проставляют от определенных геометрических элементов детали, которые называют базами. За базы, как правило, принимают:

*плоскости*, которыми деталь (изделие) соприкасается с другими деталями;

*линии*, являющиеся кромками детали или осями симметрии изделия.

В зависимости от выбранной базы применяют цепной, координатный или комбинированный способ нанесения размеров (рис. 6.8).

*Цепным* способом размеры задаются последовательно между смежными элементами детали, цепочкой. Этот способ применяется, если требуется точно выдержать размеры элементов детали, а не ее габаритный размер.

Проставлять размеры на чертежах в виде замкнутой цепи не допускается. Один из размеров должен быть «свободным», за исключением случая, когда один из размеров является справочным.

*Координатный* способ применяется, когда необходимо выдержать высокую точность расстояний элементов детали от какой-либо ее поверхности или линии.

*Комбинированный* способ простановки размеров является наиболее предпочтительным. Он обеспечивает достаточную точность и удобство измерений при изготовлении и контроле размеров детали.

Размеры одного и того же конструктивного элемента следует группировать в одном месте на том изображении, на котором геометрическая форма данного элемента показана наиболее полно.

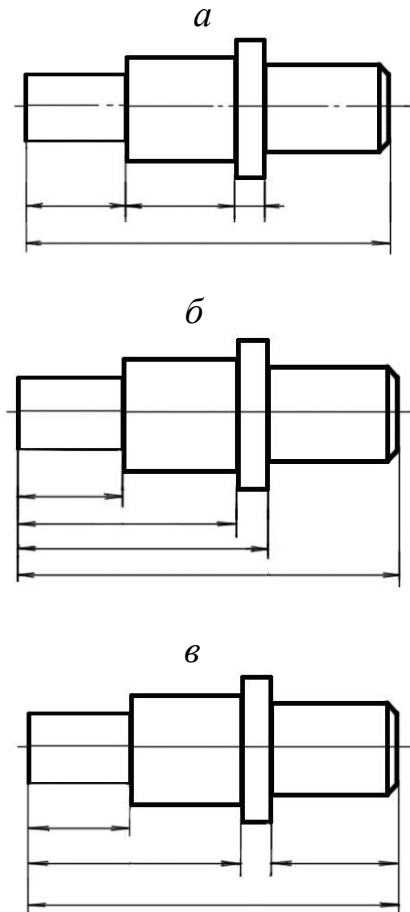


Рис. 6.8. Способы простановки размеров: *а* – цепной;  
*б* – координатный; *в* – комбинированный

При совмещении вида с разрезом размеры необходимо группировать. Размеры, определяющие наружную форму детали, проставлять со стороны вида, а определяющие внутреннюю – со стороны разреза (рис. 6.9).

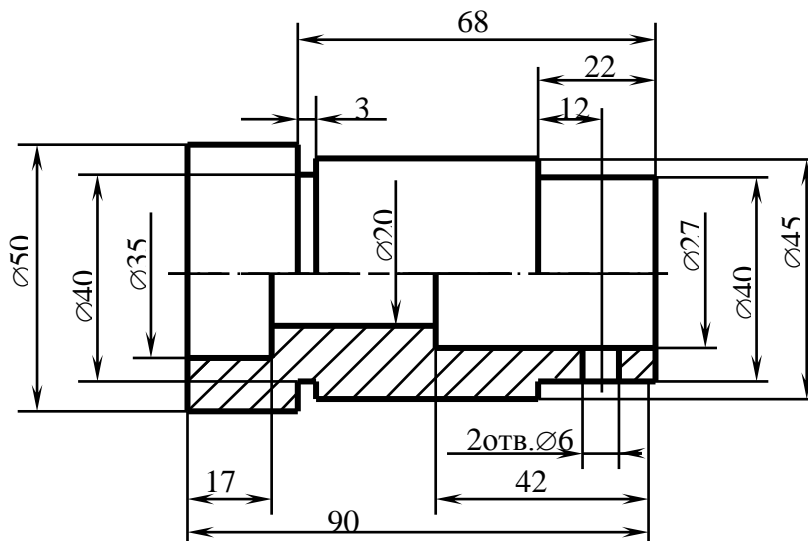


Рис. 6.9. Простановка размеров при совмещении вида с разрезом

Если вид или разрез симметричной фигуры или отдельно симметрично расположенных элементов изображают только до оси симметрии или до линии обрыва, то размерные линии, относящиеся к этим элементам, также обрывают. При этом обрыв размерной линии выполняют дальше оси или линии обрыва.

#### **4.3. Условные знаки при простановке размеров и правила их нанесения**

При простановке размеров перед размерным числом при необходимости используют условные знаки:

∅ – диаметр. Этим знаком на чертеже обозначаются цилиндрические поверхности. Представляет собой окружность, пересеченную прямой линией. Высота этой прямой должна быть одинаковой с высотой цифр размерного числа, угол ее наклона к горизонтальной линии должен составлять около 60°, а диаметр окружности – 0,7 высоты цифры. Знак наносится над размерной линией перед размерным числом;

R – радиус (прописная латинская буква), высота буквы равна высоте цифр размерного числа. Знак радиуса части цилиндрической поверхности ставится, если контур обозначаемой поверхности на чертеже является дугой, равной или меньше половине окружности. Если дуга контура больше половины окружности, ставится знак диаметра. При проведении нескольких размерных линий радиусов из одного центра они не должны располагаться на одной прямой. Положение центра дуги на чертеже можно отмечать пересечением (+) центровых или выносных линий;

□ – квадрат. Ставят перед размерным числом, определяющим сторону квадрата. Высота знака равна высоте размерных чисел;

◁ – конусность (отношения разности диаметров большего и малого оснований усеченного конуса к его высоте). Перед размерным числом, определяющим конусность, ставят знак равнобедренного треугольника с острым углом при вершине в сторону конуса. Основание знака равно 40 %, а его длина – 60 % от высоты размерного числа;

∠ – уклон (отношение высоты подъема к длине участка). Знак ставится перед размерным числом, определяющим уклон прямой, изображающей плоскость по отношению к какому-либо направлению, принятому за основное. Вершина знака должна быть направлена в сторону уклона (ската). Расстояние между концами линий угла равно 40 %, а длина – 60 % от высоты цифр размерных чисел. Размерное число уклона может записываться в виде соотношения через знак «:», в процентах (%) или промилле (1 ‰ = 0,1 %);

⊗ – сфера. Знак представляет окружность с диаметром, равным высоте размерных чисел. Наносится только в том случае, если на чертеже трудно отличить сферу от других поверхностей. Тогда пишут  $\otimes R15$  или  $\otimes \varnothing 30$ . Допускается знак сферы заменять словом, например, писать *Сфера R15*. Если чертеж поверхности сферы понятен, то перед размерными числами радиуса или диаметра сферы наносятся только знаки R или  $\varnothing$ .

#### 4.4. Нанесение размеров фасок и размеров одинаковых элементов изделия

Фасками называются сплошные (притупленные) кромки стержня, отверстия, бруска, листа. Притупление острия кромок деталей – одно из назначений фасок. Другие назначения – заходный конструктивный элемент, облегчающий соединение деталей, т. е. их сборку.

На чертежах (рис. 6.10) фаска определяется либо одним линейным и одним угловым размерами, либо двумя линейными размерами, либо одним линейным и одним угловым размерами. Фаска с углом наклона  $45^\circ$  обозначается линейным и угловым размерами, записанными через знак умножения, например  $2 \times 45^\circ$ . Первая цифра показывает высоту усеченного конуса, вторая – угол наклона (рис. 6.10в).

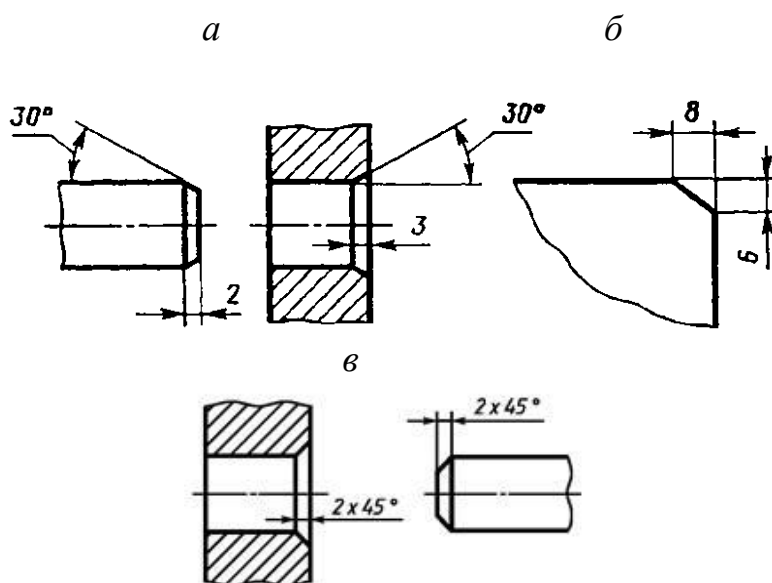


Рис. 6.10. Способы нанесения размеров фасок: *а* – одним линейным и одним угловым размерами; *б* – двумя линейными размерами; *в* – одним линейным и одним угловым размерами

Размеры одинаковых элементов изделия (отверстий, пазов, фасок и т. п.) наносят один раз, указывая число этих элементов (рис. 6.11). Количество одинаковых элементов можно указывать или на полке линии-выноски перед размерным числом, или под полкой линии-выноски.



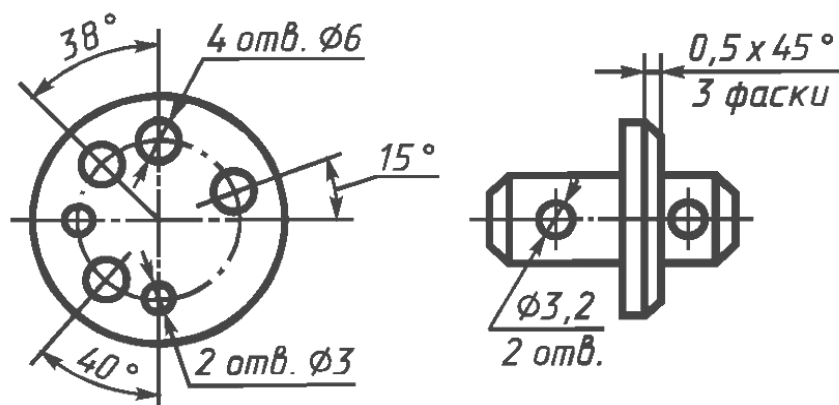


Рис. 6.11. Простановка размеров одинаковых элементов изделия

### Вопросы для самопроверки по разделу «Конструкторская документация и оформление чертежей по ЕСКД»

1. Что понимается под изделием? Назовите специфицированные и неспецифицированные изделия.
2. Назовите основные графические и текстовые конструкторские документы.
3. Что такое формат чертежа? Как получают основные и дополнительные форматы?
4. Какие масштабы изображений на чертеже приняты ГОСТ 2.302-68? Что называется масштабом?
5. Какие линии применять на чертеже регламентирует ГОСТ 2.303-68?
6. Что такое размер шрифта? В чем различия шрифтов типа А и типа Б? Приведите правила написания текста на чертеже.
7. Как графически изображаются материалы в разрезах и сечениях на чертежах по ГОСТ 2.306-68?
8. Назовите правила нанесения на чертеже линейных и угловых размеров. В каких единицах указывают линейные размеры?
9. Допускается ли пересечение размерных чисел и стрелок размерных линий какими-либо другими линиями чертежа?
10. Какие группы размеров изделия проставляют на чертеже?
11. Как следует группировать размеры, относящиеся к внешним и внутренним очертаниям предмета, при совмещении вида с разрезом?
12. Назовите способы нанесения размеров. В чем суть комбинированного способа нанесения размеров?
13. Какие условные знаки используют при нанесении размеров? Каковы правила их нанесения?

## VII. ИЗОБРАЖЕНИЯ – ВИДЫ, РАЗРЕЗЫ, СЕЧЕНИЯ

### Тема 1. Виды: основной, дополнительный, местный. Выносной элемент

#### 1.1. Метод изображения изделия на чертеже по ГОСТ 2.305-68. Требования к количеству изображений

Чертеж представляет собой графическое изображение видимых и невидимых поверхностей предмета (изделия), которые получают прямоугольным (ортогональным) проецированием его на шесть граней куба при условии, что предмет расположен внутри куба между наблюдателем и соответствующей гранью куба (плоскостью проекций).

В зависимости от содержания, изображения подразделяются на виды, разрезы и сечения (ГОСТ 2.305-68). Количество видов и других изображений должно быть *минимальным*; обеспечивать полное представление о наружных и внутренних формах предмета; быть достаточным для нанесения всех необходимых размеров для изготовления предмета.

#### 1.2. Понятие о видах (основной, дополнительный, местный). Выбор главного вида

Изображение обращенной к наблюдателю видимой части поверхности предмета называется *видом*. Для уменьшения числа изображений на видах допускается показывать невидимые части предмета при помощи штриховых линий. Различают основные, дополнительные и местные виды.

Основные виды образуются проецированием предмета на шесть плоскостей проекций, составляющих грани воображаемого куба. Грани куба разворачивают и совмещают с плоскостью чертежа (рис. 7.1). Стандарт устанавливает шесть основных видов: 1 – спереди (главный вид); 2 – сверху; 3 – слева; 4 – справа; 5 – снизу; 6 – сзади (допускается располагать левее вида справа).

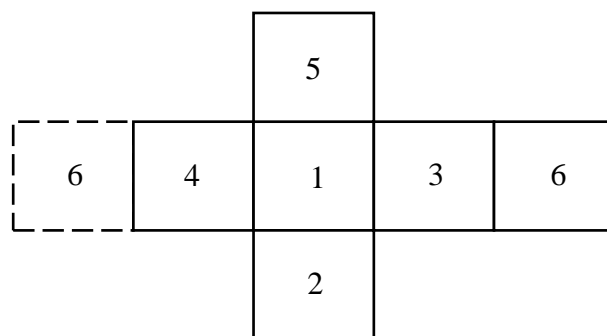


Рис. 7.1. Расположение основных видов на чертеже

Изображение на главном виде должно давать наиболее полное представление о форме и размерах предмета. Главный вид предмета (детали) выбирается независимо от его расположения на сборочном чертеже. Обычно изображение на главном виде корпусной детали соответствует ее рабочему положению, а для деталей вращения (валов, осей, втулок и т. п.) главный вид размещают так, чтобы продольная ось вращения была параллельна основной надписи, т. е. располагалась горизонтально. Главный вид предмета на чертеже является обязательным.

Основные виды на чертеже располагаются в проекционной связи относительно друг друга. В этом случае на них не требуется наносить каких-либо надписей. Однако для более рационального использования формата разрешается располагать виды вне проекционной связи в любом месте чертежа.

Виды, расположенные вне проекционной связи с главным видом, обозначают прописными буквами русского алфавита (в алфавитном порядке), а направление проецирования (взгляда) указывают стрелкой, над которой ставят ту же букву, которой отмечен вид (рис. 7.2). Также оформляют чертежи, если вид отделен от главного изображения другими видами или расположен не на одном месте с главным изображением. Когда отсутствует изображение, на котором может быть показано направление проецирования, пишут название вида.

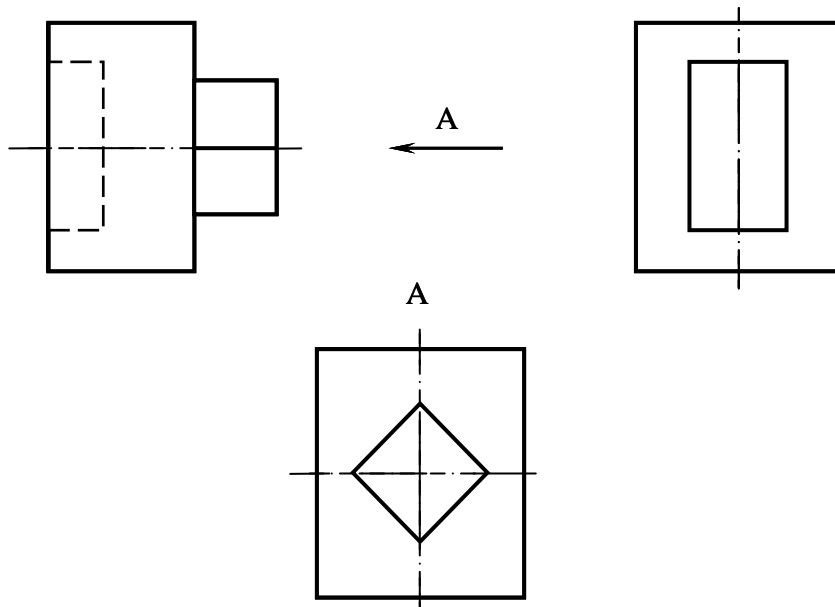


Рис. 7.2. Обозначение вида, у которого отсутствует проекционная связь с главным изображением

Соотношение размеров стрелки, указывающей направление проецирования (взгляда), показано на рис. 7.3. Размер шрифта буквенных обозначений в два раза больше высоты цифр размерных чисел.

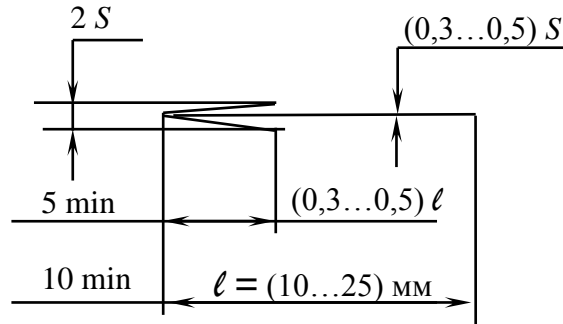


Рис. 7.3. Соотношение размеров элементов стрелки, указывающей направление взгляда ( $S$  – толщина основной линии чертежа)

*Дополнительные виды* применяют, когда изображение предмета или какой-либо его части не может быть показано на основных видах без искажения формы и размеров (рис. 7.4). Такие виды получают проецированием предмета или его части на *дополнительную* плоскость, перпендикулярную основной плоскости проекций и параллельную тому элементу предмета, который на основную плоскость проецируется с искажением.

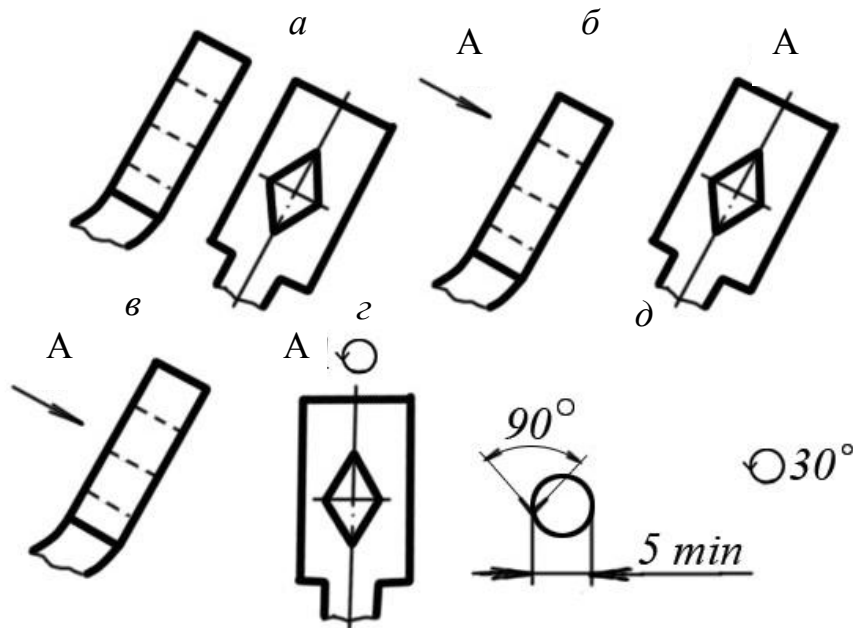


Рис. 7.4. Варианты изображения дополнительного вида:  
 $a$  – в проекционной связи с исходным видом;  $b$  – при невозможности расположить в проекционной связи с исходным видом;  
 $c$  – в повернутом положении;  $z, d$  – с надписью над видом

Если дополнительный вид расположен в проекционной связи с исходным видом, направление проецирования не указывают и надписи над ним не наносят. В случае когда дополнительный вид невозможно расположить в проекционной связи с исходным видом, его разрешается поме-

щать на любом свободном месте чертежа с соответствующей надписью над ним и стрелкой с надписью «А», указывающей направление проецирования у исходящего вида (см. рис. 7.4б). Направление осей и контурных линий при этом должно оставаться таким же, как и в случае расположения дополнительного вида, построенного в проекционной связи.

Допускается изображать дополнительный вид в повернутом положении. В этом случае к надписи над видом добавляют знак «повернуто» и при необходимости значение угла поворота в градусах (см. рис. 7.4з, д). Диаметр окружности знака «повернуто» примерно равен высоте буквы, обозначающей вид, но не может быть меньше 5 мм.

*Местным видом* (рис. 7.5) называется изображение отдельного ограниченного участка поверхности предмета, которое образуется его проецированием на одну из *основных* плоскостей проекций. При выполнении местного вида в проекционной связи с другим видом направление взгляда не указывается и надпись над ним не наносится. При изображении местного вида вне проекционной связи необходимо стрелкой указать направление взгляда и нанести над видом соответствующие обозначения.

Местный вид можно ограничивать сплошной волнистой тонкой линией (рис. 7.5а, б) либо выполнять без ограничения.

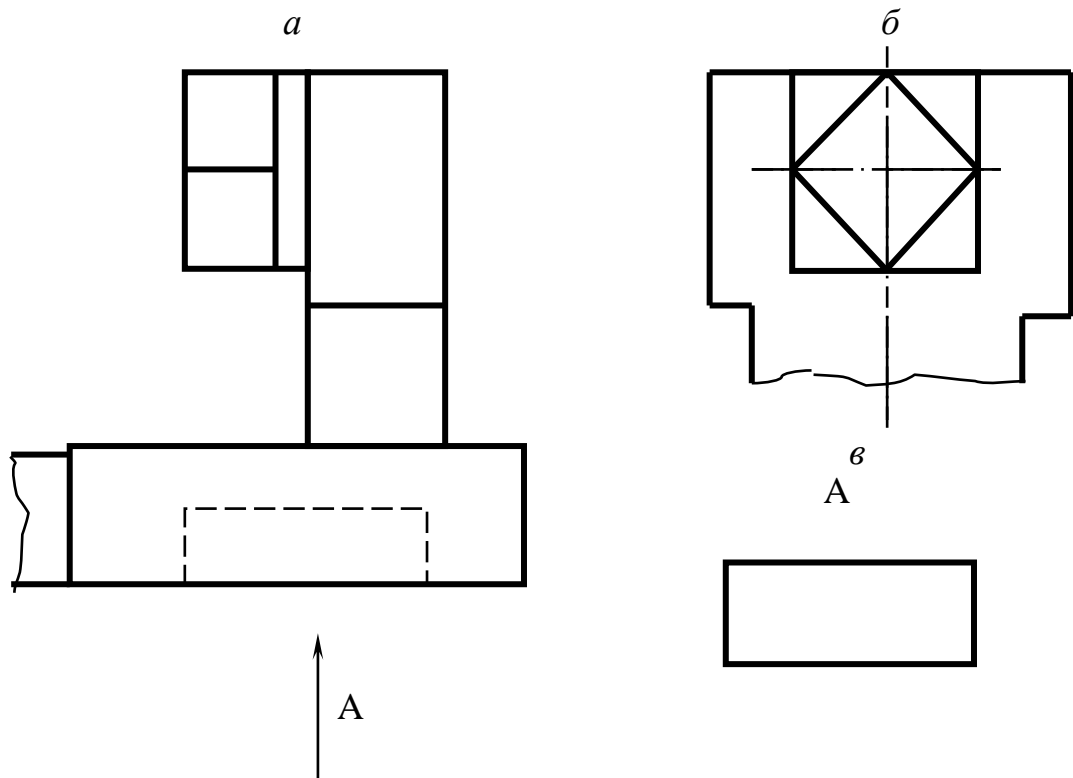


Рис. 7.5. Варианты изображения местных видов: а – отдельного участка поверхности предмета; б – в проекционной связи с другим видом; в – вне проекционной связи

### 1.3. Выносной элемент

Когда какая-либо часть поверхности предмета выполнена на чертеже мелко, так что невозможно выявить ее графические формы и нанести необходимые размеры, применяют отдельное дополнительное (увеличенное) изображение, называемое *выносным элементом* (рис. 7.6б). Выносной элемент может выполняться более подробно, чем на основном изображении предмета, а также отличаться от него содержанием. Например, изображение может быть видом (рис. 7.6а), а выносной элемент – разрезом (рис. 7.6б).

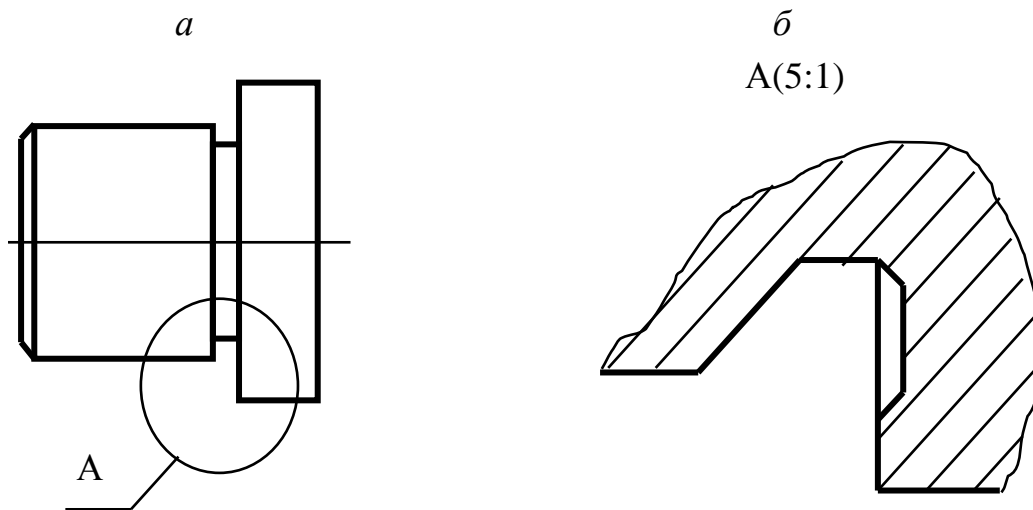


Рис. 7.6. Выносной элемент: *а* – на основном изображении; *б* – на дополнительном изображении

Расположение выносного элемента на чертеже (на виде, разрезе, сечении) отмечают сплошной тонкой замкнутой линией в виде окружности и обозначают прописной русской буквой в алфавитном порядке или буквой с цифровым индексом (А1, А2, А3 и т. д.) на полке линии выноски (см. рис. 7.6а). Выносной элемент подписывают той же буквой и в скобках указывают масштаб, в котором он выполнен (см. рис. 7.6б). Располагают выносные элементы по возможности ближе к соответствующему месту на изображаемом предмете и часто используют при наличии у предмета проточек под выход инструмента (резца при нарезании резьбы, шлифовального круга и др.).

Формы и способы указания размеров канавок, проточек и других выносных элементов, как правило, стандартизированы.

## Тема 2. Разрезы и сечения

### 2.1. Что такое разрез; что показывают на разрезе; когда его применяют?

Для наглядности чертежа невидимые (внутренние) контуры и линии перехода поверхности предмета целесообразно сделать видимыми, что достигается применением разрезов или сечений. *Разрез* – это изображение, полученное при мысленном рассечении предмета одной или несколькими секущими плоскостями. При этом часть предмета, расположенную между наблюдателем и секущей плоскостью, мысленно отбрасывают, а на плоскости проекций изображают то, что находится в секущей плоскости, и то, что расположено за ней (видимую часть). На те части изображений предмета, которые пересекаются секущей плоскостью, наносится штриховка.

Разрезы и сечения являются условными изображениями. В действительности предмет остается целым, а удаление его частей на чертеже совершается мысленно. Условное рассечение предмета относится только к конкретному разрезу и не влечет за собой никаких изменений других его изображений.

### 2.2. Название разреза в зависимости от положения секущей плоскости. Простые и сложные разрезы. Местный разрез

В зависимости от положения секущей плоскости разрезы делятся на *горизонтальные, вертикальные и наклонные* (рис. 7.7).

Если секущая плоскость расположена параллельно горизонтальной плоскости проекций, то разрез называется *горизонтальным*. Если секущая плоскость расположена перпендикулярно горизонтальной плоскости проекций, то разрез называется *вертикальным*. Вертикальный разрез называется *фронтальным*, если секущая плоскость параллельна фронтальной плоскости проекций, и *профильным*, если секущая плоскость параллельна профильной плоскости проекций. Если секущая плоскость расположена под острым углом к горизонтальной плоскости проекций, то разрез называется *наклонным*.

Располагают фронтальные, горизонтальные и профильные разрезы, как правило, на месте соответствующих основных видов. Часть вида и часть соответствующего разреза допускается соединять, разделяя их сплошной волнистой тонкой линией. Если при этом соединяются половина вида и половина разреза предмета, имеющего плоскость симметрии, то разделяющей линией является ось симметрии (штрихпунктирная линия). При совпадении секущей плоскости с плоскостью симметрии разрез не обозначается (рис. 7.7б, в).

В зависимости от числа секущих плоскостей разрезы делятся на *простые* и *сложные*. *Простым* называется разрез, получаемый при использовании одной секущей плоскости, которая может различным способом располагаться относительно плоскостей проекций (рис. 7.7).

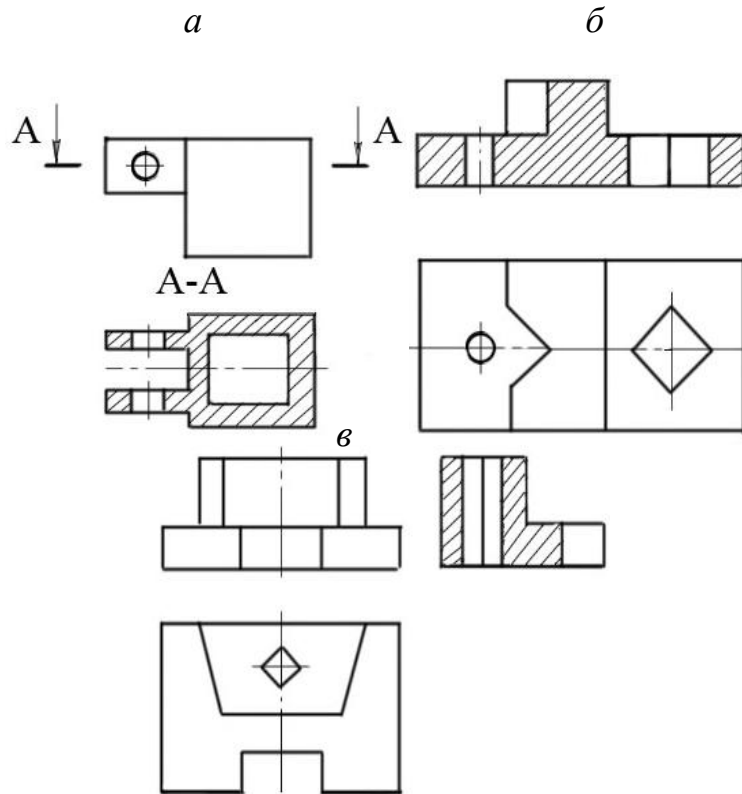


Рис. 7.7. Разрезы: *а* – горизонтальный; *б* – фронтальный; *в* – профильный

*Сложным* называется разрез, образованный при использовании нескольких секущих плоскостей (рис. 7.8), в зависимости от расположения которых различают ступенчатые и ломаные разрезы. *Ступенчатые* образуются при рассечении предмета параллельными плоскостями (рис. 7.8а), а *ломаные* – пересекающимися (рис. 7.8б).

При выполнении сложных разрезов секущие плоскости с находящимися в них изображениями условно поворачивают (в ломаных разрезах) или параллельно перемещают (в ступенчатых разрезах) до их совмещения в одну плоскость. Элементы предмета, находящиеся за секущей плоскостью, не поворачивают. Граница секущих плоскостей в сложном разрезе не изображается.

Для выявления внутренних геометрических форм ограниченной части предмета используют *местные разрезы*, в которых секущая плоскость проходит только в том месте предмета, где требуется показать его внутреннюю форму. Местный разрез на чертеже не обозначается. Его граница,



отделяющая от вида, показывается тонкой сплошной волнистой линией (рис. 7.9). Эта линия не должна совпадать с какими-либо другими линиями изображения.

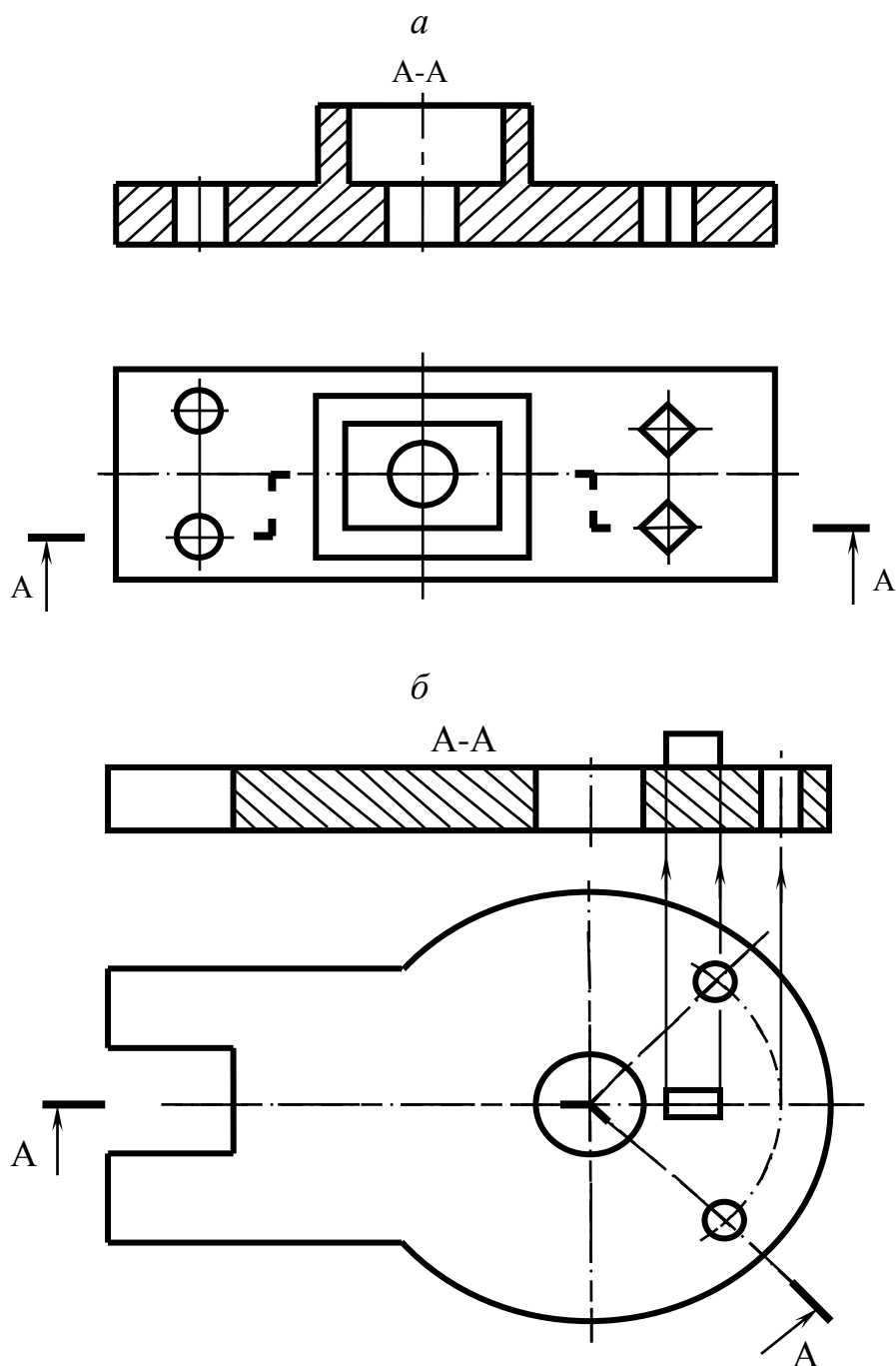


Рис. 7.8. Сложные разрезы: *a* – ступенчатый; *б* – ломаный

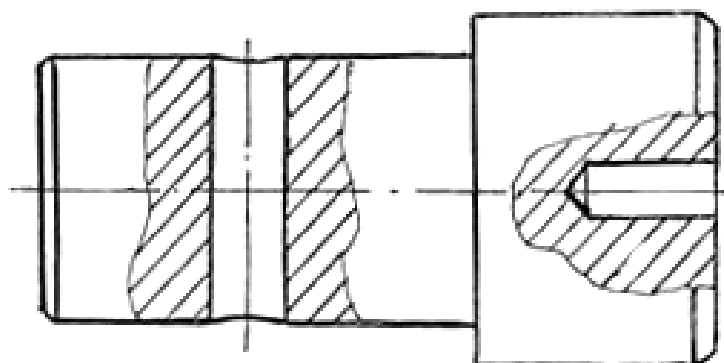


Рис. 7.9. Местный разрез по оси отверстий

На рис. 7.10 показаны варианты нанесения линий, разделяющих вид и разрез технической формы, которая имеет плоскости симметрии наружного и внутреннего геометрического контура.

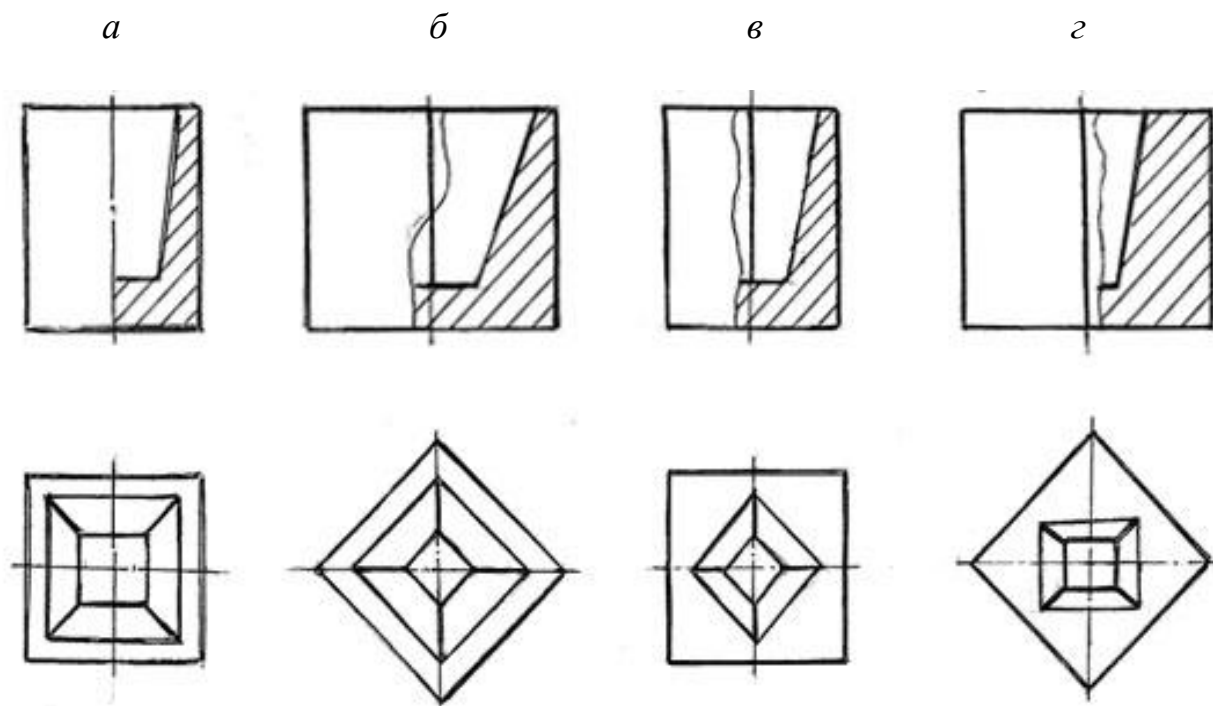


Рис. 7.10. Варианты совмещенного изображения фронтального разреза с видом технической формы, имеющей плоскости симметрии:

- а* – линия симметрии является границей вида и разреза;
- б* – линия симметрии совпадает с ребрами призмы и пирамиды;
- в* – линия симметрии совпадает с ребром пирамиды на разрезе;
- г* – линия симметрии совпадает с ребром призмы на виде спереди

На рис. 7.10а границей вида и разреза является линия симметрии (штрихпунктирная линия), через которую проходит плоскость симметрии, общая для призмы и усеченной пирамиды.

При изображении такой технической формы, когда линия симметрии совпадает с ребрами призмы и пирамиды (см. рис. 7.10б) на виде показана часть ребра призмы, а на разрезе – часть ребра пирамиды.

Разделительную тонкую сплошную волнистую линию проводят слева (см. рис. 7.10в), если линия симметрии совпадает с ребром на разрезе (пирамида) и справа (см. рис. 7.10г) при совпадении на виде (призма). Разделительная линия, так же как и при выполнении местного разреза, не должна совпадать ни с какими другими линиями изображения предмета.

### 2.3. Обозначение разреза на чертеже

Разрезы на чертеже обозначаются по определенным правилам. Положение секущих плоскостей указывается разомкнутой линией (линией сечений) с длиной конечных штрихов 8...20 мм и толщиной  $S...1,5S$  ( $S$  – толщина основной линии). Штрихи не должны пересекать контур изображения (см. рис. 7.7а). При сложном разрезе штрихи проводятся также у мест пересечения секущих плоскостей между собой (см. рис. 7.8).

На начальном и конечном штрихах на расстоянии 2..3 мм от внешнего контура штриха ставят стрелки, указывающие направление взгляда. Около стрелок с внешней стороны наносят вертикально или под углом  $75^\circ$  к горизонту прописные буквы русского алфавита, обозначающие разрез. Над разрезом делают надпись типа А-А, которую всегда располагают горизонтально. Номер шрифта букв, размеры и формы стрелок такие же, как и при обозначении видов (см. рис. 7.3).

### 2.4. Что такое сечение, что показывают на сечении?

#### Вынесенные и наложенные сечения.

#### Особенности обозначения сечения на чертеже

Согласно ГОСТ 2.305-68 *сечением* называется изображение фигуры, получающееся при мысленном рассечении предмета одной или несколькими плоскостями. На сечении изображается только то, что находится в секущей плоскости. Секущие плоскости должны быть выбраны так, чтобы получались нормальные поперечные сечения (в натуральную величину). Части предмета, расположенные в секущей плоскости, обозначаются штриховкой, как и на разрезе, а те участки предмета, где сечется пустота, не штрихуются.

Рассечение используют в основном для выявления геометрической формы элементов предмета.

Сечения, в зависимости от их расположения на чертеже, делятся на *вынесенные* и *наложенные*.

*Вынесенное* сечение (является предпочтительным) – это сечение, расположенное вне изображения предмета. Его можно располагать на любом свободном месте поля чертежа или в разрыве вида. Контур такого сечения выполняют сплошной основной линией (рис. 7.11).

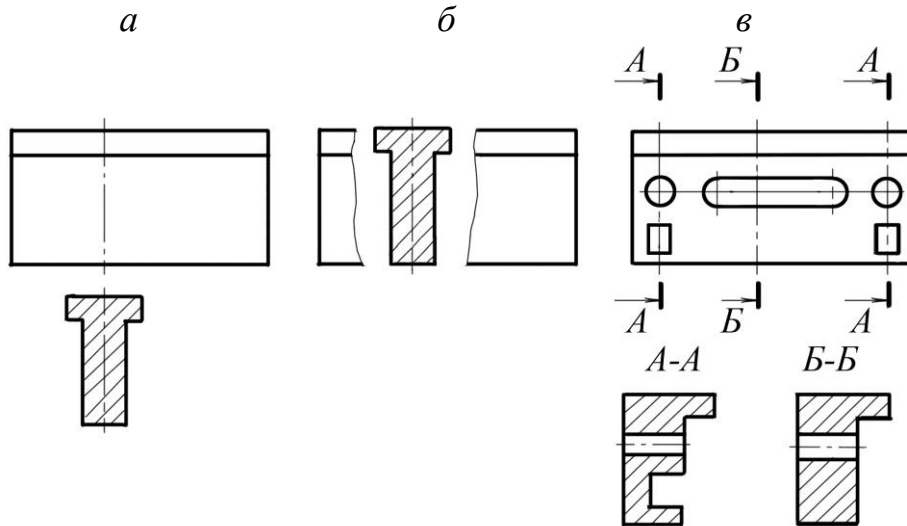


Рис. 7.11. Варианты изображения вынесенного сечения:  
*а* – вблизи изображения на продолжении секущей плоскости;  
*б* – в разрыве между частями вида; *в* – в других случаях

Если линия сечения является его осью симметрии и вынесенное сечение расположено вблизи изображения на продолжении секущей плоскости, то секущую плоскость выполняют штрихпунктирной линией и само сечение не обозначают (см. рис. 7.11*а*). Вынесенное сечение, имеющее симметричную форму и расположенное в разрыве между частями вида, также не обозначается (см. рис. 7.11*б*). Во всех иных случаях линия сечения обозначается так же, как и разрез, – разомкнутой линией с указанием направления взгляда стрелками (см. рис. 7.11*в*).

Построение и расположение сечения должны соответствовать направлению, указанному стрелками, т. е. фигуру сечения следует совмещать с плоскостью чертежа вращением вокруг следа плоскости или вокруг параллельной следу плоскости линии.

Если секущая плоскость проходит через ось отверстия (сечение А-А, см. рис. 7.11*в*) или углубления, являющегося поверхностью вращения (цилиндрической, конической, сферической и т. п.), то наряду с контуром сечения изображают контур этого отверстия или углубления, расположенный за секущей плоскостью. В других случаях изображают только контур сечения.

Если секущая плоскость проходит через некруглое отверстие и сечение получается состоящим из отдельных частей (распадется), выполняют разрез (см. рис. 7.11в, сечение Б-Б).

При расположении сечения на любом свободном месте поля чертежа направление его контурных линий должно быть таким же, как и при расположении сечения на продолжении следа секущей плоскости. Разрешается выполнять сечение повернутым, если такое расположение не ухудшает наглядность чертежа. В этом случае к обозначению сечения добавляют знак (например, А-А ©).

При наличии нескольких сечений их обозначают прописными буквами в алфавитном порядке. При выполнении нескольких *одинаковых* сечений одного предмета изображают только одно сечение, а линию сечения обозначают одной и той же буквой (см. рис. 7.11в, сечение А-А).

Если не требуется изображение всего вынесенного сечения, можно изображать его часть, ограничивая линией обрыва. Сечение может выполняться и несколькими секущими плоскостями, по типу разреза (см. рис. 7.8). Допускается вместо секущих плоскостей применять цилиндрические секущие поверхности, разворачиваемые затем в единую плоскость. Над развернутым сечением наносится буквенное обозначение и знак разворачивания.

*Наложённое* сечение – это сечение, совмещенное с соответствующим видом предмета, т. е. расположенное непосредственно на виде. Контур сечения выполняют сплошной тонкой линией, а контурные линии вида при этом не прерывают (рис. 7.12). Если наложенное сечение имеет симметричную форму, то линия секущей плоскости изображается штрихпунктиром (рис. 7.12а). Если наложенное сечение не симметрично относительно линии сечения, проводят разомкнутую линию со стрелками (рис. 7.12б), указывающими направление взгляда, но буквами ее не обозначают и сечение не подписывают.

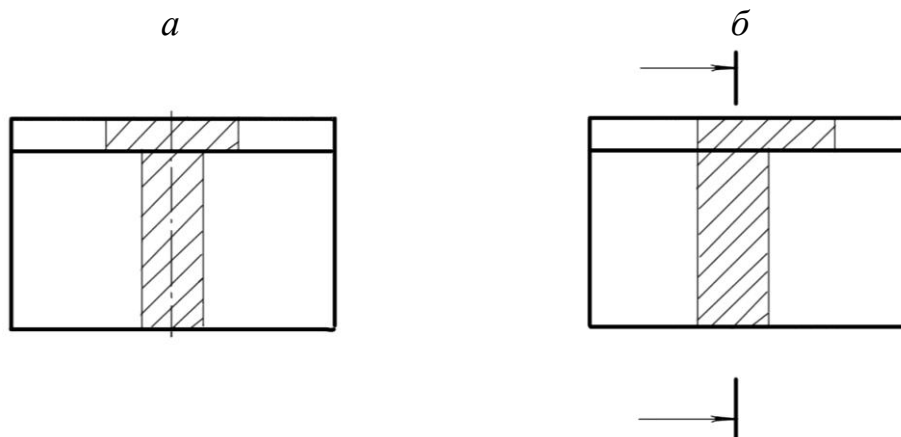


Рис. 7.12. Наложённые сечения: а – симметричное; б – несимметричное

### Тема 3. Условности и упрощения на изображениях

ГОСТ 2.305-68 при выполнении машиностроительных чертежей разрешает применять условности и упрощения, позволяющие сократить чертежные работы без ущерба для ясности и понимания изображений.

*Совмещение на одном изображении вида и разреза.* Часть вида и часть соответствующего разреза допускается соединять, разделяя их сплошной волнистой линией (см. рис. 7.10), что упрощает чертеж и сокращает число изображений. Если изображение вида и разреза являются симметричными фигурами, то разделяющей линией между ними служит ось симметрии, проводимая штрихпунктирной тонкой линией. В тех случаях, когда с осью симметрии вида или разреза совпадает проекция какой-либо линии контура, ось симметрии не может служить границей между видом и разрезом, так как ее с равным основанием можно отнести и к виду, и к разрезу.

Если линия видимого контура принадлежит разрезу (см. рис. 7.10в), то вид с разрезом соединяют волнистой линией, проводимой левее оси симметрии. При этом изображение разреза продлевают до этой линии. Если линия видимого контура принадлежит виду (см. рис. 7.10г), то вид соединяют с разрезом также волнистой линией, но проводимой правее оси симметрии, что улучшает изображение вида и позволяет увидеть наружную линию контура.

*Изображение симметричной фигуры.* Если вид, разрез или сечение являются симметричной фигурой, то допускается вычерчивать половину или немного более половины изображения с проведением в последнем случае линии обрыва (это сплошная тонкая волнистая линия).

*Использование линий перехода.* На видах и разрезах допускается упрощенное изображение проекций линий пересечения поверхностей (рис. 7.13), если не требуется точное их построение. Так, вместо лекальных кривых можно провести дуги окружности или прямые линии.

Плавный переход от одной поверхности к другой изображается условно (тонкой линией, рис. 7.14), либо совсем не показывается.

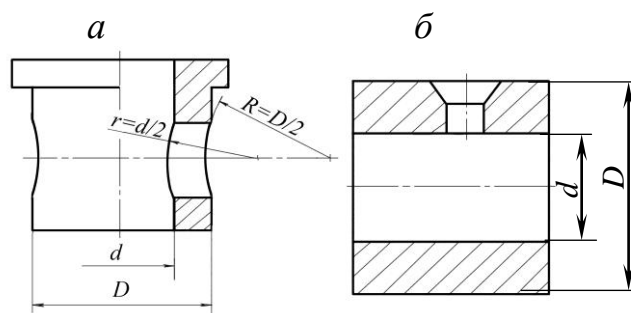


Рис. 7.13. Упрощенное изображение линий пересечения поверхностей в виде: *а* – дуг окружностей; *б* – прямых линий

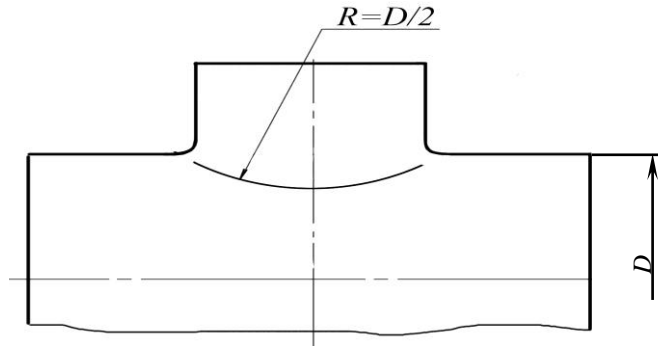


Рис. 7.14. Упрощенное изображение плавного перехода от одной поверхности к другой

*Изображение одинаковых элементов предмета.* Если предмет имеет несколько *одинаковых равномерно* расположенных элементов, то при его изображении полностью показывают только один или два таких элемента (например, одно отверстие, два паза и т. п.).

*Изображение сплошных деталей.* В продольном разрезе болты, винты, шпильки, заклепки, шпонки и другие непустотелые (сплошные) детали, а также зубья зубчатых колес, оси, непустотелые валы, рукоятки и аналогичные части деталей (спицы, шарики и ролики в подшипниках) всегда показывают нерассеченными, т. е. незаштрихованными. На сборочных чертежах гайки и шайбы, как правило, также показывают нерассеченными.

*Изображение разрезов ребер жесткости или тонких стенок.* Такие элементы деталей, как спицы зубчатых колес, маховиков, тонкие стенки типа ребер жесткости и т. п., показывают в разрезах незаштрихованными, если секущая плоскость направлена вдоль их оси или вдоль длинной стороны. При поперечном разрезе эти элементы штрихуются. Если в подобных элементах имеется отверстие или углубление, то для их изображения применяют местный разрез.

*Изображение предметов с разрывом* (рис. 7.15). Длинные детали или их элементы, имеющие постоянное либо закономерно изменяющееся сечение, допускается изображать с разрывом (оси, валы, прутки, фасонный прокат, шатуны, цепи и т. п.). При этом длина предмета проставляется действительная.

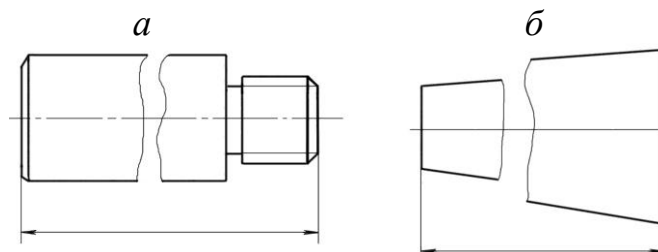


Рис. 7.15. Изображение с разрывом длинных предметов, имеющих:  
*a* – постоянное сечение; *б* – закономерно изменяющееся сечение

*Выделение плоских поверхностей.* Для облегчения чтения чертежа плоские поверхности (границы) выделяют диагоналями, выполняемыми тонкими сплошными линиями (рис. 7.16).

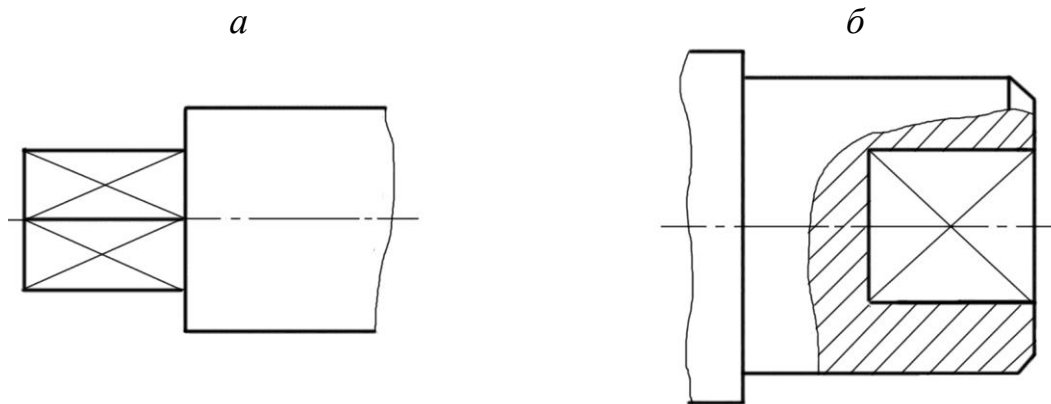


Рис. 7.16. Варианты изображения плоских граней:  
*а* – на стержне; *б* – в отверстии

*Изображение неотчетливо выявленных уклона и конусности.* На тех изображениях, где уклон или конусность отчетливо не выявляются, проводят, как правило, только одну сплошную тонкую линию, соответствующую меньшему размеру элемента с уклоном или меньшему основанию конуса (рис. 7.17).

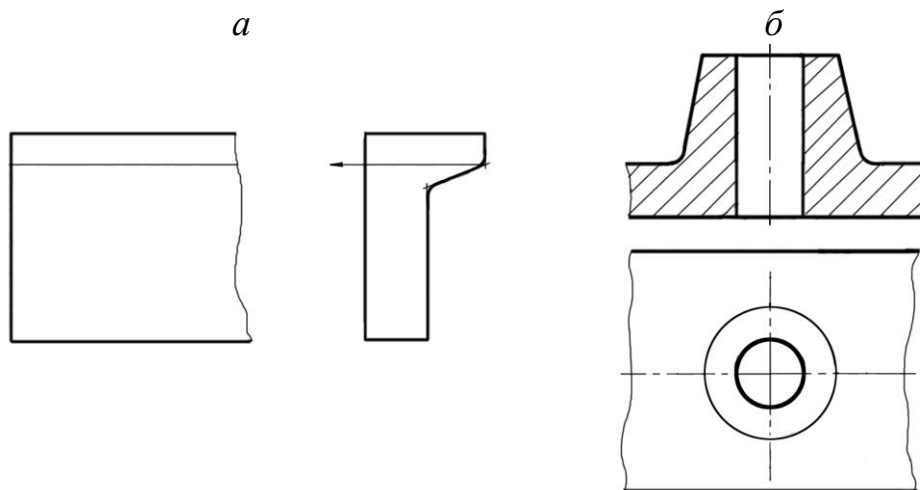


Рис. 7.17. Изображение неотчетливо выявленных:  
*а* – уклона; *б* – конусности

*Показ отверстий и шпоночных пазов.* При изображении отверстий в ступицах шкивов, зубчатых колес, а также шпоночных пазов вместо полного показа детали допускается изображать только контур отверстия или паза.



## Вопросы для самопроверки по разделу «Изображения – виды, разрезы, сечения»

1. Какой метод применяется для изображения изделия на чертеже по ГОСТ 2.305-68?
2. Что понимается под основным, дополнительным и местным видом? Требования к количеству изображений.
3. Чем руководствуются при выборе главного вида?
4. Что называется сечением? Назовите виды сечений и особенности их обозначения на чертеже.
5. Что называется разрезом, когда его применяют?
6. Назовите виды разрезов в зависимости от положения секущей плоскости. Как обозначается разрез на чертеже?
7. Какие и для чего применяют условности и допущения при изображении изделий на чертежах?

## VIII. СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ. РАЗЪЕМНЫЕ И НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

*Соединение* деталей – это конструктивное сопряжение деталей для образования из них предметов в виде механизмов, приборов, агрегатов и других сборочных единиц. Различают подвижные и неподвижные сопряжения деталей. *Подвижные* сопряжения образуют кинематические пары (винт в гайке, вал в подшипнике и др.).

В технике *соединением деталей* называют только сопряжения с неподвижными связями, с помощью которых получают *неподвижные* соединения в сборочных единицах из простых деталей путем скрепления их различными способами.

Неподвижные соединения делятся на *разъемные* (болтовые и винтовые, шлицевые, шпоночные и др.), когда сложное изделие можно разобрать на исходные детали без их повреждения, и *неразъемные*, выполняемые при помощи сварки, заклепок, запрессовки, пайки, склейки, сшивки и других технологических операций. *Неразъемные* соединения нельзя разобрать без повреждения деталей, входящих в состав сборочных единиц.

Из всего многообразия неподвижных разъемных соединений в машиностроении наибольшее распространение получили соединения деталей с помощью резьбы. Резьбы в неподвижных соединениях принято называть *крепежными*. К достоинствам резьбовых соединений относятся простота изготовления, малые габариты, возможность создания больших осевых сил для скрепления соединяемых деталей.

## Тема 1. Основные параметры резьбы. Классификация резьб

### 1.1. Образование резьбы. Основные термины и определения

Образование всех резьб связано с понятием винтовой линии и винтовой поверхности. Винтовые линии и поверхности, следовательно, и резьбы, бывают левые и правые.

*Винтовая линия* резьбы может быть получена как траектория точки, равномерно перемещающейся по образующей цилиндра или конуса при равномерном вращении образующей вокруг оси.

*Винтовая поверхность* резьбы образуется плоской ломаной (кривой) линией, лежащей в одной плоскости с осью поверхности вращения и перемещающейся относительно оси таким образом, что каждая точка этой линии движется по винтовой линии резьбы.

*Профиль* резьбы – выступающая часть материала детали, ограниченная винтовой поверхностью резьбы.

*Резьбой* называется один или несколько выступов резьбы постоянного профиля (сечения), равномерно расположенных на боковой поверхности прямого кругового цилиндра или прямого кругового конуса.

*Заход* резьбы – это начало выступа резьбы. Часть резьбы, образованную при одном повороте профиля вокруг оси, называют *витком*. *Шагом* резьбы называют расстояние по линии, параллельной оси резьбы, между соседними одноименными точками ближайших боковых сторон профиля резьбы. *Ход* резьбы – это относительное осевое перемещение винта (гайки) за один оборот вокруг оси, равное произведению  $Pn$ , где  $P$  – шаг резьбы;  $n$  – число заходов резьбы.

*Длиной* резьбы называют длину участка винтовой поверхности, на котором образована резьба полного профиля, включая фаску. *Длиной свинчивания* называют длину участка взаимного перекрытия наружной (винт) и внутренней (гайка) резьб в осевом направлении.

*Номинальный диаметр* резьбы – это наибольший диаметр резьбы (по выступам – наружной, по впадинам – внутренней), условно характеризующий размеры резьбы и используемый для ее обозначения.

### 1.2. Условное изображение резьбы и резьбового соединения на чертеже

Поскольку построение изображений винтовых поверхностей, образующих резьбу, – процесс трудоемкий, на чертежах резьбу показывают условно.

*Наружная резьба* изображается сплошными основными толстыми линиями по номинальному диаметру и сплошными тонкими линиями по внутреннему диаметру (рис. 8.1). На изображениях, полученных проециро-

ванием на плоскость, перпендикулярную оси стержня, тонкую линию проводят на  $\sim \frac{3}{4}$  длины окружности. Причем эта линия может быть разомкнута в любом месте и не должна начинаться и заканчиваться на осевых линиях; фаска, не имеющая специального конструкторского назначения, на этом виде не изображается.

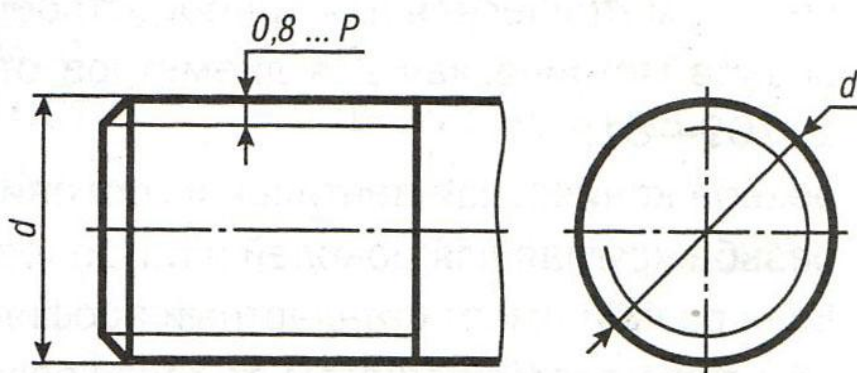


Рис. 8.1. Наружная резьба (на стержне)

Расстояние между тонкой и сплошной основной линиями принимают в пределах не меньше 0,8 мм и не больше шага резьбы  $P$ .

Границу резьбы наносят в конце полного профиля резьбы (до начала сбega) сплошной основной линией.

*Сбег резьбы* – участок резьбы неполного профиля, получаемый в связи с наличием у резьбонарезного инструмента «заборной» части или в результате плавного отвода резца.

*Внутренняя резьба* изображается в разрезах сплошной основной линией по внутреннему диаметру и тонкой сплошной линией по номинальному диаметру (рис. 8.2).

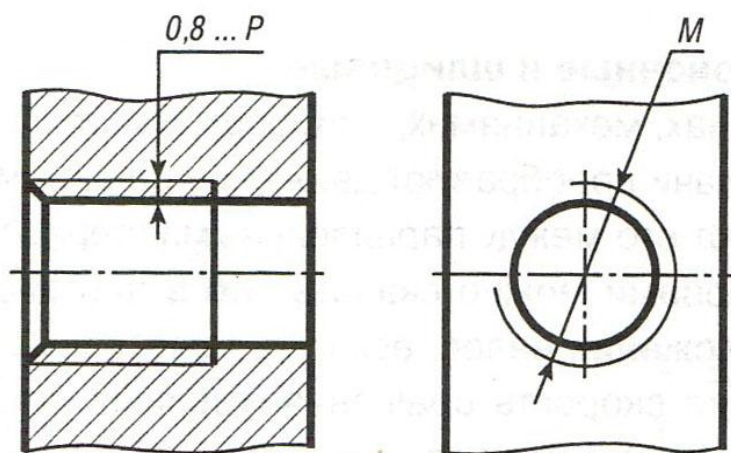


Рис. 8.2. Внутренняя резьба (в отверстии)

При изображении на плоскости, перпендикулярной к оси резьбы, сплошная тонкая линия проводится в виде дуги, равной  $\sim \frac{3}{4}$  длины окружности, разомкнутой в любом месте; фаска при этом не показывается. Линии штриховки в разрезах и сечениях проводятся до сплошной основной линии.

Границу (конец) участка резьбы полного профиля изображают сплошной основной толстой линией (рис. 8.3, см. рис. 8.2), при этом величина недореза  $a$  (рис. 8.3а) равна минимум  $3P$  ( $P$  – шаг резьбы). При необходимости на чертеже можно указывать и величину сбег  $x$  (рис. 8.3б), который изображают сплошной тонкой линией.

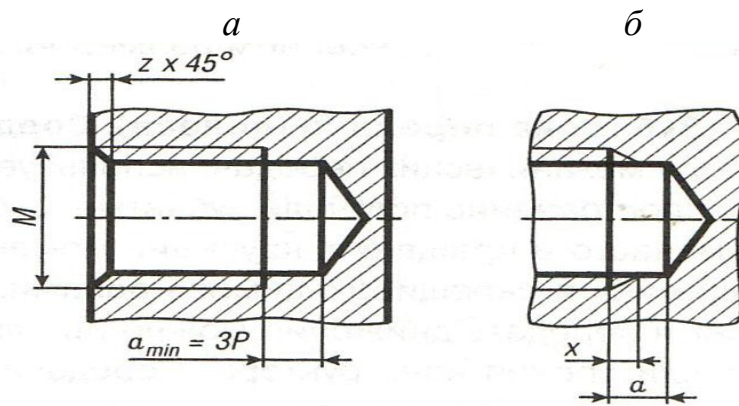


Рис. 8.3. Внутренняя резьба в глухом отверстии:  
а – недорез; б – сбеги и недорез

*Резьбовое соединение.* На разрезах резьбового соединения в отверстии показывают только ту часть резьбы, которая не закрыта резьбой стержня («преимущество» наружной резьбы) (рис. 8.4).

На чертежах, по которым резьба не выполняется (например, сборочных), допускается изображать резьбу в соединениях, как показано на рис. 8.5.

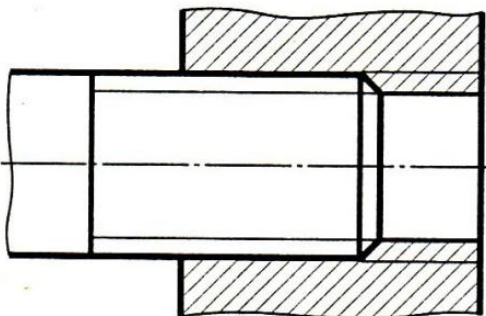


Рис. 8.4. Резьбовое соединение

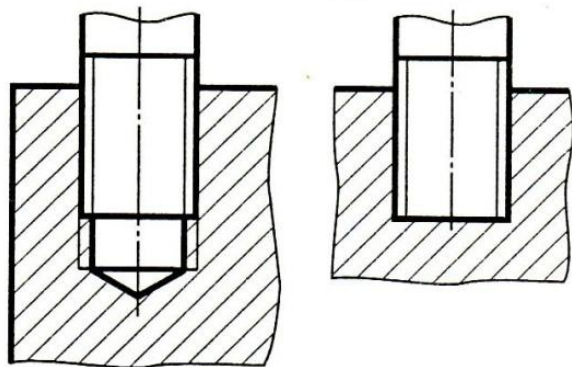
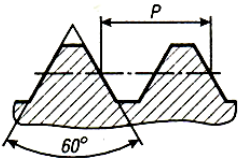
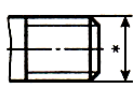
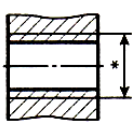
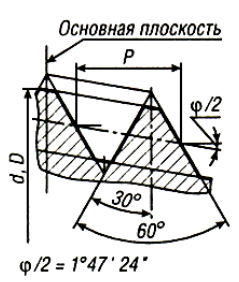
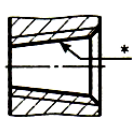
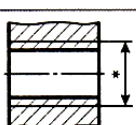


Рис. 8.5. Упрощенное изображение

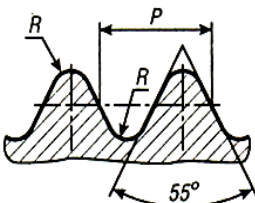
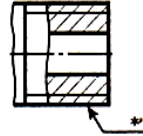
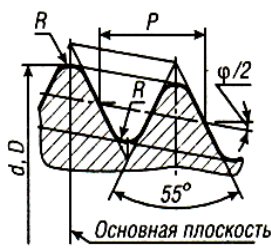
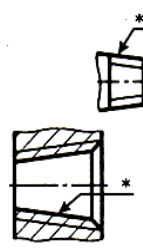
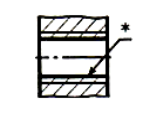
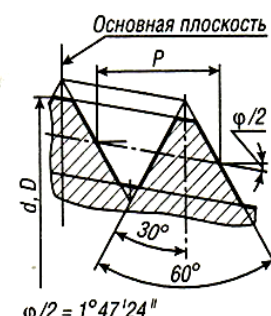
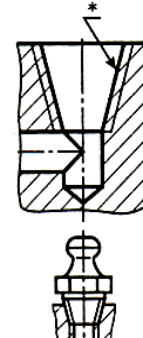
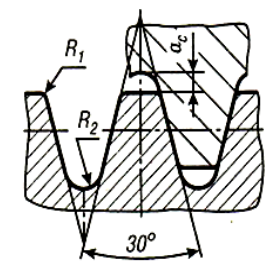
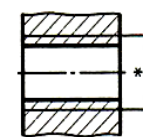
### 1.3. Параметры стандартных резьб, их профили и обозначения

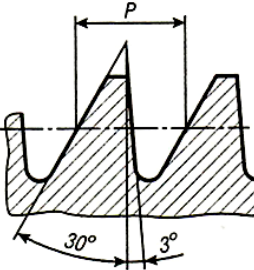
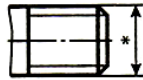
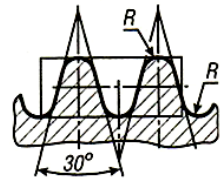

Стандартные резьбы, получившие наибольшее распространение в технической практике, приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1. Параметры стандартных резьб

Тип резьбы и профиль резьбы	Стандарт	Условное изображение	Обозначение (*)	Пояснение
Метрическая (резьба ISO) 	Профиль ГОСТ 9150—81. Основные размеры ГОСТ 24705—2002. Диаметры и шаги ГОСТ 8724—2002		M18-6g	Резьба метрическая наружная, номинальный диаметр 18 мм, шаг крупный, поле допуска резьбы 6g (6 — степень точности, g — основное отклонение),
			M18 × 0,5-6g	То же, шаг мелкий P = 0,5 мм
			M24 × 3(P1)-6g	То же, но трехзаходная, шаг P = 1 мм, ход P <sub>п</sub> = 3 мм
				
			M18-6H	Резьба метрическая внутренняя, поле допуска 6H (6 — степень точности, H — основное отклонение),
Метрическая коническая 	ГОСТ 25229—82 Профиль, диаметры, шаги, основные размеры и допуски ГОСТ 6357—82		MK 20 × 1,5	Резьба метрическая коническая, (α < 1:16), номинальный диаметр в основной плоскости 20 мм, шаг 1,5 мм, α = 60°
			M20 × 1,5 ГОСТ 25229—82	Резьба метрическая цилиндрическая, но свертываемая с наружной конической

Продолжение табл. 8.1

Тип резьбы и профиль резьбы	Стандарт	Условное изображение	Обозначение (*)	Пояснение
Трубная цилиндрическая 	ГОСТ 6357—81		G 1 1/2-A	Резьба трубная цилиндрическая, 1 1/2 — условный проход в дюймах, класс точности А (всего их два: А и В), $\alpha = 55^\circ$
			G 1 1/2 LH — В-40	То же, но левая, класс точности В, длина свинчивания 40 мм
Трубная коническая 	ГОСТ 6211—81		R 1 1/2	Резьба наружная трубная коническая, ( $\triangleleft 1:16$ ), 1 1/2 — условный проход в дюймах, $\alpha = 55^\circ$ , $\phi/2 = 1^\circ 47' 24''$
			Rc 1 1/2	Резьба внутренняя трубная коническая, остальное см. выше
			Rp 1 1/2	Резьба трубная цилиндрическая, внутренняя, но свинчиваемая с наружной конической
Коническая дюймовая  $\phi/2 = 1^\circ 47' 24''$	ГОСТ 6111—52		K 1/2 ГОСТ 6111—52	Резьба коническая дюймовая, $\alpha = 60^\circ$ , применяется для топливных, масляных, водяных и воздушных трубопроводов. Пример. Резьба K 1/2 ГОСТ 6111—52 применяется для масленок по ГОСТ 19853—74 M10 x 1-6e ГОСТ 9150—79
Трапецеидальная  $R_1 = 0,5a_c; R_2 = a_c; a_c$ — зазор	Диаметры и шаги ГОСТ 24737—81. Профиль ГОСТ 9484—81. ГОСТ 24739—81		Tr 40 x 6-8e	Резьба трапецеидальная, наружная $\alpha = 30^\circ$ , диаметр 40 мм, шаг P = 6 мм, поле допуска 8e (8 — степень точности, e — основное отклонение)
			Tr 40 x 6-8H	То же, внутренняя
			Tr 20 x 4 (P2)	То же, но двухзаходная, шаг P = 2 мм, ход P <sub>h</sub> = 4 мм

Тип резьбы и профиль резьбы	Стандарт	Условное изображение	Обозначение (*)	Пояснение	
	ГОСТ 10177—82		S 80 × 10 - 7h	Резьба упорная, номинальный диаметр 80 мм, шаг 10 мм, $\alpha = \beta + \gamma = 30^\circ + 3^\circ = 33^\circ$ , поле допуска 7h	
	ГОСТ 13535—87		S 80 × 10LH-7h	То же, но левая	
			S 80 × 20 (P10) LH-7h	То же, но двухзаходная, шаг 10 мм, ход $P_h = 20$ мм	
			S200 × 12 × 45° ГОСТ 13535—87	Резьба упорная усиленная, $\beta = 45^\circ$ , $\gamma = 3^\circ$ , $\alpha = \beta + \gamma = 48^\circ$ , номинальный диаметр 200 мм, шаг $P = 12$ мм	
Круглая	ГОСТ 13536—68			Кр12 × 2,54 ГОСТ 13536—68	Резьба круглая для санитарно-технической арматуры (вентилей), номинальный диаметр 12 мм, шаг 2,54 мм

Если резьба имеет стандартный профиль, но отличается от соответствующей стандартной резьбы (например, шагом или диаметром), то такая резьба называется *специальной*. В этом случае в обозначении резьбы указывают  $S_p$  и размер номинального диаметра и шаг. Например,  $S_p M21 \times 1,5$  (в стандарте есть ближайшие диаметры 20 и 22).

Если резьба имеет нестандартный профиль (например, прямоугольный), он изображается на чертеже с нанесением размеров, необходимых для изготовления резьбы.

#### 1.4. Классификация резьб

В зависимости от назначения, исполнения и других признаков резьбы делятся на ряд классификационных групп:

1. По назначению: крепежная; ходовая (грузовая); специальная.
2. По форме профиля: треугольная; трапецеидальная; упорная; круглая; специальная.
3. По характеру поверхности: цилиндрическая и коническая.
4. По расположению: наружная и внутренняя.
5. По числу заходов: однозаходная и многозаходная.
6. По направлению винтовой линии: правая и левая.
7. По размеру шага: крупная, мелкая и специальная.

## Тема 2. Стандартные резьбовые детали, их обозначение и область применения

### 2.1. Крепежные резьбовые изделия

Крепежные резьбовые изделия применяют для выполнения разъемных соединений. Крепежные изделия (детали), их форма, размеры и другие характеристики (материал, класс прочности и т. д.) определяет ГОСТ 1759-70. К крепежным деталям относятся болты, винты, шпильки, гайки, а также детали для их стопорения: шайбы, шплинты, штифты, проволока.

Структура обозначения крепежных изделий представлена на рис. 8.6.

**Изделие 2 M20 x 1,5 – LN – 6g x 50. 56. 40X. 02. 6 ГОСТ**  
**1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12**

- 1 – наименование изделия (болт, винт и т. д.);
- 2 – исполнение (исполнение 1 не указывают);
- 3 – обозначение резьбы и ее диаметр;
- 4 – мелкий шаг резьбы (крупный не указывают);
- 5 – резьба левая (правую не указывают);
- 6 – обозначение поля допуска резьбы по ГОСТ 16093-70;
- 7 – длина болта, винта, шпильки (мкм);
- 8 – класс прочности или группа по ГОСТ 1759-70;
- 9 – марка материала или сплава;
- 10 – обозначение вида покрытия;
- 11 – толщина покрытия (мкм);
- 12 – номер стандарта на конструкцию и размеры

Рис. 8.6. Условное обозначение крепежной детали

Обозначение болта исполнения 2 с метрической резьбой диаметром 24 мм, мелким шагом 1,5 мм, левая с полем допуска резьбы 6g, длиной стержня 70 мм, класса прочности 9.8 (в обозначении указывают 98), из стали 40X, с цинковым хромированным покрытием 01 и толщиной покрытия 6 мкм, ГОСТ 7798-70 на конструкцию и размеры запишется следующим образом:

Болт 2M24×1,5–LN – 6g × 70. 98 40X. 01. 6 ГОСТ 7798-70.

На учебных чертежах параметры 6, 8...10, как правило, в условное обозначение крепежной детали не включают, так как обоснованный их выбор требует специальных знаний.



## 2.2. Характеристика и область применения крепежных резьбовых деталей

*Болт* – это крепежная деталь для разъемного соединения с резьбой для навинчивания гайки на одном конце и головкой на другом. Болты различают по форме и размерам головки; диаметру и шагу резьбы; форме стержня; характеру исполнения и точности изготовления.

Головка болта может быть шестигранной, квадратной, прямоугольной, полукруглой или конической с квадратным подголовком; а резьба у болта – метрической с крупным или мелким шагом. Болты с шестигранной головкой нормальной точности бывают трех исполнений (рис. 8.7):

- 1) без отверстия в головке и стержне;
- 2) с отверстием в стержне для стопорения шплинтом;
- 3) с двумя отверстиями в головке для стопорения нескольких болтов проволокой.

В длину болта не входит размер высоты головки.

При выполнении рабочего чертежа на главном виде изображение болта должно располагаться так, чтобы ось болта была параллельна основной надписи чертежа.

Болты широко применяют для соединения металлических листов и деталей, механизмов и узлов в машиностроении. Применяют также *специальные болты*: откидные – для быстрого зажима и освобождения деталей; распорные, фундаментные, рым-болты и др.

*Винт* – это крепежная деталь цилиндрической формы, на одном конце которой находится резьба, а на другом – головка. Винт вкручивается непосредственно резьбой в соединяемую деталь. По назначению винты делятся на крепежные – для разъемного соединения и установочные – для взаимного фиксирования деталей. По форме головки различают винты с цилиндрической головкой, с цилиндрической головкой и шестигранным углублением, с полукруглой головкой, с потайной головкой и др.

*На сборочном чертеже* в проекции, перпендикулярной к оси винта, шлиц на головке изображается под углом  $45^\circ$  к рамке чертежа, а *на рабочем чертеже детали* – параллельно рамке чертежа.

Обозначение винтов производится по общей схеме для всех крепежных деталей. Например:

Винт А.М8 – 6g×50.48 ГОСТ 17473-80 – это винт с полукруглой головкой, класса точности А (повышенный), исполнения 1, диаметр метрической резьбы 8 мм, крупный шаг резьбы, резьба правая, поле допуска резьбы 6g, длина винта (до головки) 50 мм, класс прочности 4.8, без покрытия.

Винты с острым коническим концом и конической резьбой большого шага, применяемые для соединения деталей из дерева или мягких полимеров, называются *шурупами*. Конструкцию и размеры шурупов определяют ГОСТ 11473-75, 1144-80, 1145-80, 1146-80.

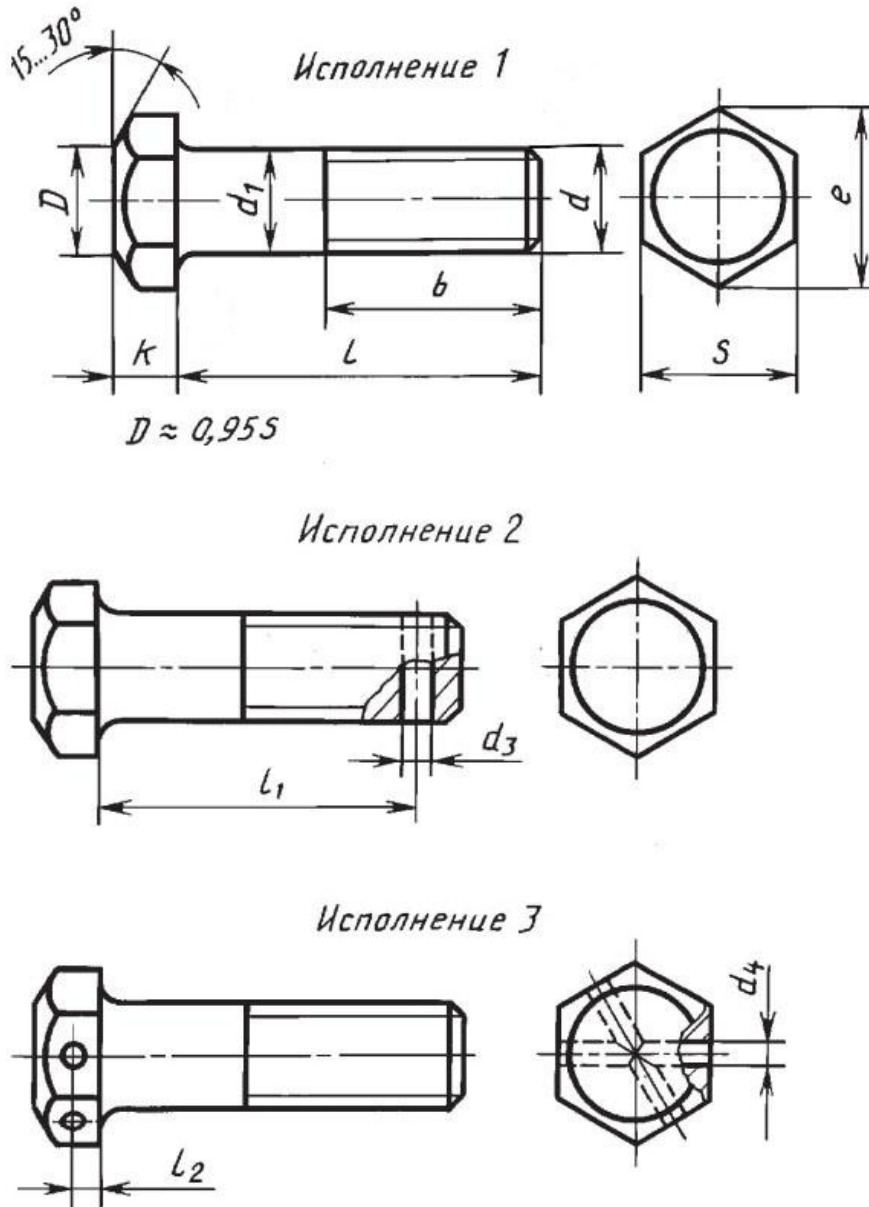


Рис. 8.7. Болты с шестигранной головкой

*Шпилькой* называют крепежную деталь в форме цилиндрического стержня с наружной резьбой на обоих концах или по всей длине стержня (рис. 8.8). Шпильки выпускают двух классов точности (А и В) в двух исполнениях. У шпилек исполнения 1 диаметр стержня  $d_1 = d$ , т. е. номинальному диаметру резьбы, а у шпилек исполнения 2 он приблизительно равен среднему диаметру резьбы.

Длина шпильки  $\ell$  не включает длину  $\ell_1$  ввинчиваемого резьбового конца. Длина резьбы  $\ell_1$  зависит от вида материала (для мягкого она больше). Шпильчатое соединение применяется при наличии той же резьбы в одном из соединяемых материалов. Фиксация деталей производится с помощью гайки (при необходимости добавляется шайба).

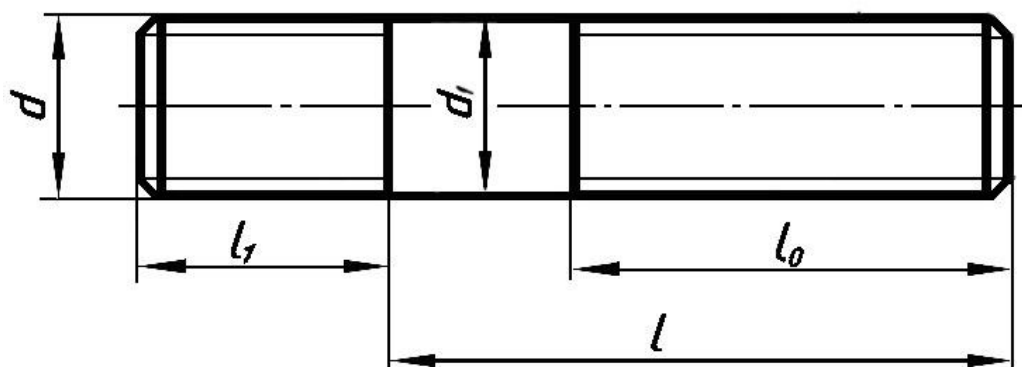


Рис. 8.8. Шпилька исполнения 1

Шпильки общего применения могут использоваться и для соединения деталей с гладкими отверстиями. В этом случае длина резьбового конца  $\ell_1$  определяется без учета сбег резьбы и с двух концов шпильки навинчиваются гайки. Длина (мм) предназначенного для гайки резьбового конца  $\ell_0$  приблизительно определяется по формуле  $\ell_0 = (2d + 10)$ .

Условное обозначение шпилек общего применения выполняется по стандартной схеме. Например:

Шпилька М20 – 6g×200.58 ГОСТ 22034-76 – это шпилька нормальной точности исполнения 1, с метрической резьбой диаметром 20 мм и крупным шагом, резьба правая, поле допуска 6g, длина шпильки  $\ell = 200$  мм, класс прочности 5.8, без покрытия.

Гайка – крепежная деталь с резьбовым отверстием для навинчивания на болт, винт, шпильку с конструктивным элементом для передачи крутящего момента (например, грани шестигранника под ключ). Гайки классифицируют по форме, характеру исполнения и точности изготовления, по шагу резьбы.

По форме гайки делятся на шестигранные, прорезные, корончатые, круглые, барашковые и др.

Шестигранные гайки согласно ГОСТ 5915-70 по высоте делятся на низкие, нормальной высоты, высокие и особо высокие трех исполнений (рис. 8.9).

На рис. 8.10 изображены гайки двух исполнений согласно ГОСТ 5918-73.

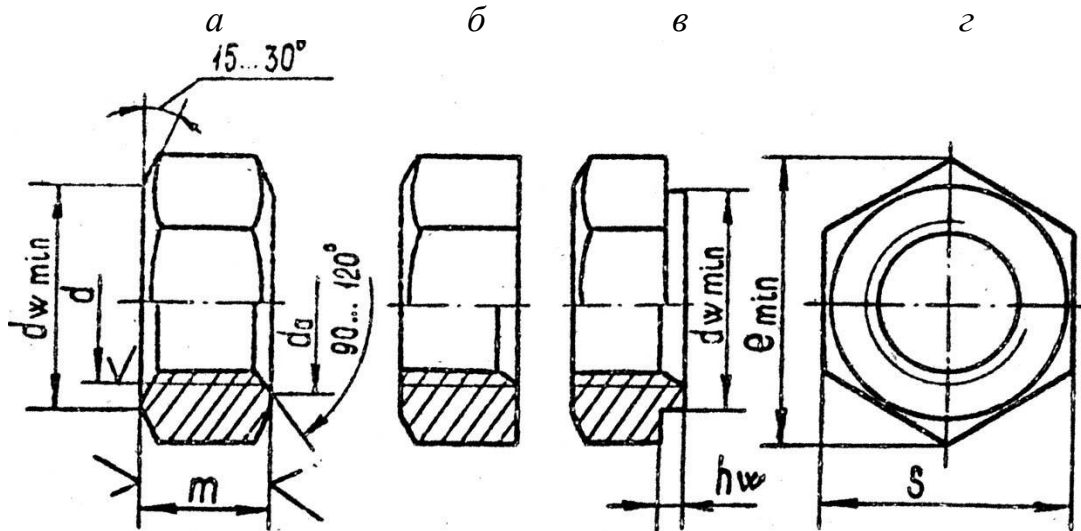


Рис. 8.9. Гайки шестигранные согласно ГОСТ 5915-70 трех исполнений:  
 а – исполнение 1; б – исполнение 2; в – исполнение 3;  
 z – изображение вида слева одинаковое для всех трех исполнений

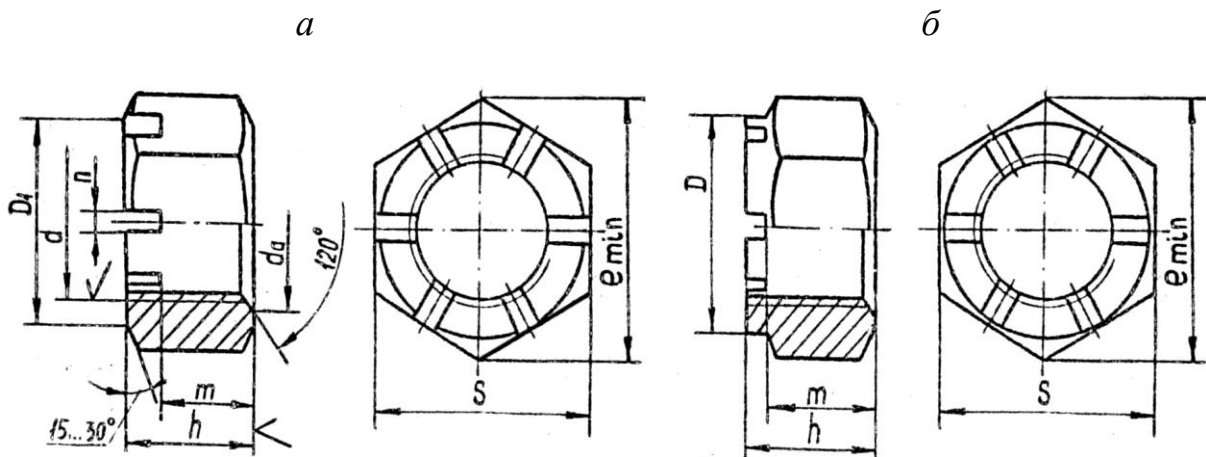


Рис. 8.10. Гайки шестигранные согласно ГОСТ 5918-73:  
 а – прорезная (исполнение 1); б – корончатая (исполнение 2)

По типу резьбы различают гайки с метрической резьбой с крупным и мелким шагом. Пример обозначения шестигранной *прорезной* гайки класса точности В, исполнения 1, с номинальным диаметром резьбы 20 мм и крупным шагом, резьбой правой, полем допуска 6Н, классом прочности 5 без покрытия:

Гайка М20 – 6Н.5 ГОСТ 5918-73.

То же исполнения 2 с мелким шагом (*корончатая*):

Гайка 2 М20х1,5 – 6Н.5 ГОСТ 5918-73.

Гайки применяют в соединениях болтом, винтом и шпилькой, часто в сочетании с шайбой. Шайба – это крепежное изделие с отверстием, подкладываемое под гайку или головку болта (винта) для увеличения опорной поверхности и предотвращения самоотвинчивания гайки (болта).

Крепежные металлические изделия сокращенно называют *метизами*. Метизы бывают разного качества в зависимости от качества металла, из которого они изготовлены. Самыми долговечными и прочными считаются метизы из нержавеющей стали.

## **Тема 3. Разъемные соединения**

### **3.1. Виды разъемных соединений.**

#### **Конструктивное, упрощенное и условное изображение соединений**

Сопряжение деталей в сборочных единицах (приборов, механизмов, машин, сооружений), которые допускают разборку и сборку изделий без разрушения деталей, называют разъемными соединениями. К основным видам разъемных соединений относятся резьбовые соединения крепежными деталями; шпоночные соединения; шлицевые (зубчатые) соединения; штифтовые соединения.

Под резьбовым соединением понимают разъемное соединение, выполняемое с помощью резьбовых крепежных деталей – болтов, винтов, шпилек, гаек или резьбы, нанесенной непосредственно на соединяемые детали. В практике нашли широкое применение болтовое, винтовое и шпильчатое соединения.

Различают конструктивное, упрощенное и условное изображение крепежных деталей и их соединений. При *конструктивном* изображении размеры деталей и их элементов на чертеже точно соответствуют стандартным. При *упрощенном* изображении на чертеже размеры крепежных деталей определяют по условным соотношениям в зависимости от диаметра резьбы и упрощенно вычерчивают такие элементы, как фаски, шлицы, резьба в глухих отверстиях и т. п. *Условно* крепежные детали изображают в том случае, если диаметр их стержня равен или меньше 2 мм.

### **3.2. Упрощенное изображение соединений болтом и шпилькой.**

#### **Детали, входящие в эти соединения**

На сборочных чертежах (рис. 8.11) при упрощенном изображении соединений болтом наносят только два размера –  $l$  и  $d$  (рис. 8.11а). При упрощенном изображении соединений шпилькой наносят три размера –  $l$ ,  $l_1$  и  $d$  (рис. 8.11б). На рисунке эти размеры даны в рамках.

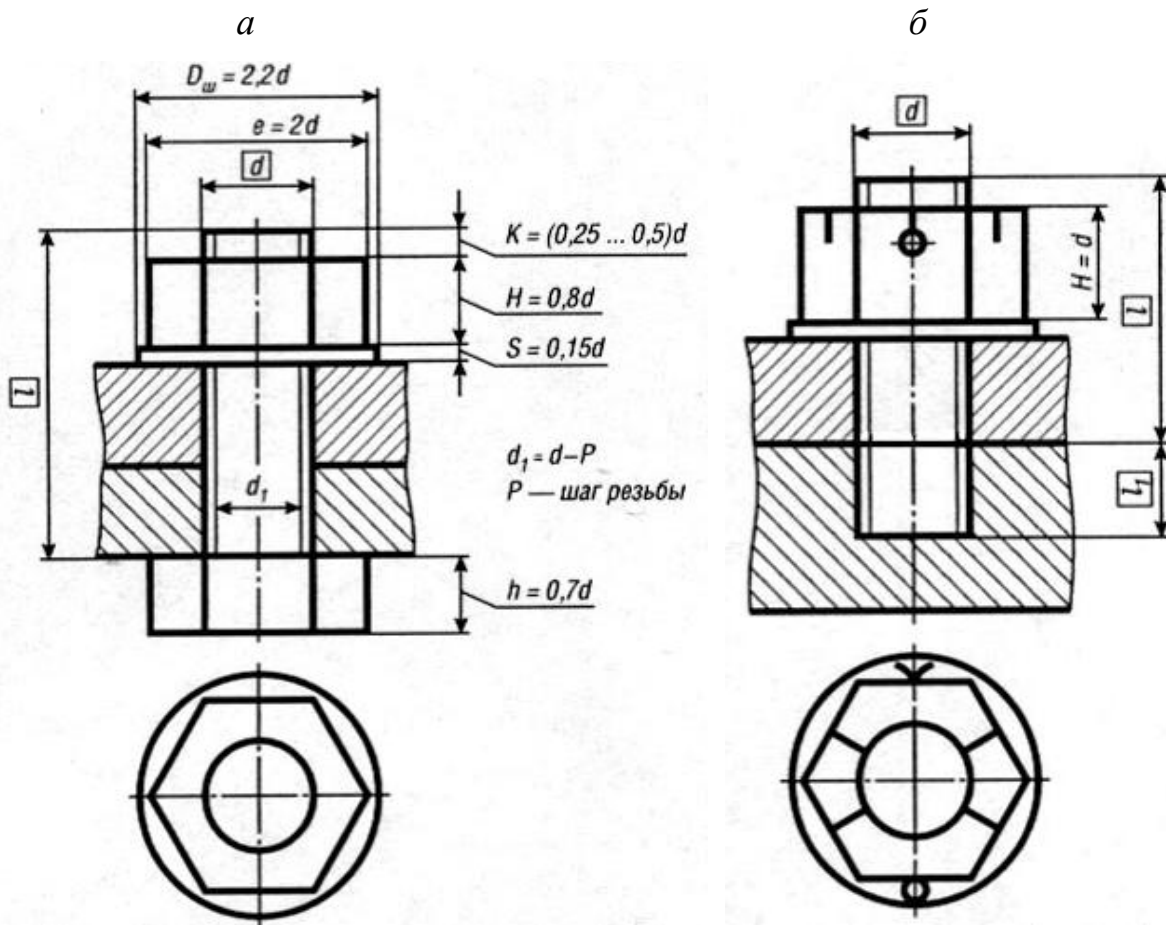


Рис. 8.11. Упрощенные изображения соединений:  
 а – болтом; б – шпилькой

Диаметр шплинта выбирается по ГОСТ 397-79. При изображении резьбового соединения в разрезе стандартные детали (болт, шпильку, гайку, шайбу) показывают нерассеченными. Головку болта и гайку на главном виде принято изображать тремя гранями. Штриховка смежных деталей выполняется под углом  $45^\circ$  к горизонтальной линии чертежа в разные стороны. При этом для каждой детали на всех изображениях сохраняют одинаковые направления и частоту штриховки.

*Болтовое соединение* включает болт, гайку и шайбу (см. рис. 8.11а). В соединяемых деталях высверливаются отверстия диаметром, немного большим номинального диаметра болта. На чертеже упрощенного болтового соединения резьбу показывают по всей длине стержня болта, не отображая зазор между стержнем болта и отверстиями в скрепляемых деталях, а также фаски.

*Соединение шпилькой* (если предусмотрен такой вид стопорения, см. рис. 8.11б) состоит из шпильки, гайки, шайбы и шплинта. В одной из соединяемых деталей высверливается так называемое гнездо под шпиль-

ку (как правило, глухое), в котором нарезается резьба в упор. В другой детали делается сквозное отверстие диаметром, несколько большим диаметра резьбы шпильки.

При упрощенном изображении на чертеже шпилечного соединения, в отличие от конструктивного, резьба показывается по всей длине стержня шпильки; границу резьбы показывают только на ввинчиваемом конце шпильки; не показывают недорез резьбы гнезда под ввинчиваемый конец шпильки, зазор между шпилькой и отверстием в скрепляемой детали, а также фаски на конце стержня шпильки, гайки и шайбы.

Если детали соединяются при помощи винта, то такое соединение называют *винтовым*. Выбор параметров резьбового и сквозного отверстий, а также конструкция винтового соединения аналогичны шпилечному соединению.

### 3.3. Соединение шпонкой. Формы шпонок

Шпонка – это деталь, которая устанавливается в пазах двух соединяемых деталей для передачи крутящего момента от вала ступице (втулке) и наоборот (рис. 8.12).

Шпоночное соединение на чертеже изображается в продольном и поперечном разрезах. В продольном разрезе шпонка показывается нерассеченной, а для вала применяют местный разрез. В поперечном сечении штрихуются все три детали – вал, шпонка, ступица.

Шпоночные соединения могут быть неподвижными или подвижными вдоль оси вала. Их применяют при отсутствии особых требований к точности центрирования соединяемых деталей.

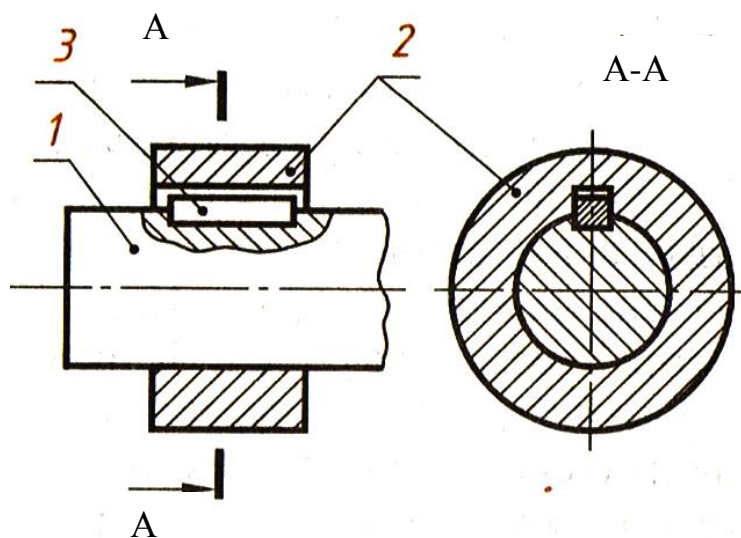


Рис. 8.12. Шпоночное соединение: 1 – вал;  
2 – ступица (втулка); 3 – шпонка

Форма и размеры шпонок стандартизованы и зависят от диаметра вала и условий работы соединяемых деталей. По форме шпонки подразделяются на призматические, сегментные и клиновые (рис. 8.13).

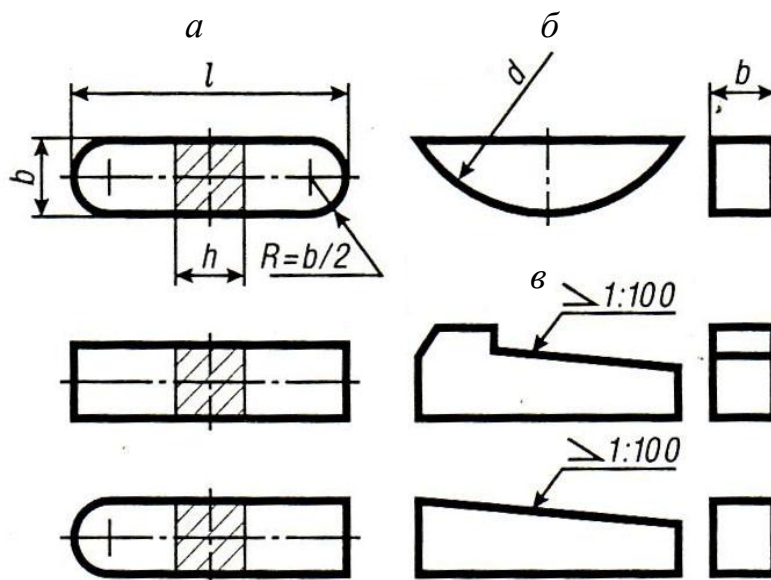


Рис. 8.13. Шпонки: *a* – призматические;  
*б* – сегментные; *в* – клиновые

Наиболее простыми и распространенными являются призматические шпонки (ГОСТ 23360-78). На валу изготавливается неглубокий паз длиной, равной длине шпонки. В ступице продавливают (как правило, на всю длину ступицы) шпоночную канавку. Шпонку устанавливают в паз на валу с натягом. Боковые грани у шпонки являются рабочими. В радиальном направлении между шпонкой и шпоночной канавкой в ступице предусмотрен зазор.

Сегментные шпонки имеют более глубокую посадку на валу с натягом, благодаря чему в процессе работы не перекашиваются. Однако в связи с тем, что глубокие пазы ослабляют вал, сегментные шпонки применяют обычно на концах валов (хвостовиках). Форму и размеры сегментных шпонок и шпоночных пазов выбирают по ГОСТ 24071-97.

Соединения призматическими и сегментными шпонками являются ненапряженными. Клиновые шпонки (ГОСТ 24068-80) создают напряженное соединение. Их применяют значительно реже, так как они нарушают соосность соединяемых деталей. Клиновые шпонки в пазы вала и ступицы устанавливаются с боковыми зазорами и подразделяются на забивные и закладные. Забивные шпонки имеют головку для забивки и извлечения шпонок. В случае закладных шпонок забивают и сбивают деталь (ступицу).



### 3.4. Шлицевые соединения. Способы центрирования. Примеры чертежей деталей

Шлицевые или зубчатые соединения условно можно рассматривать как многошпоночные, у которых шпонки выполнены заодно с валом. Шлицевые соединения применяются для передачи больших крутящих моментов при более высоких требованиях к соосности соединяемых деталей.

Шлицевое соединение состоит из вала, на конце которого имеются выступы – шлицы, и втулки, на внутренней поверхности которой изготовлены пазы аналогичного шлицам профиля. Шлицы и пазы соединяемых деталей входят один в другой с тугой или скользящей посадкой.

Применяются шлицевые соединения трех типов: прямобочные, эвольвентные и треугольные. Наиболее распространенными являются прямобочные (ГОСТ 1139-80) шлицевые соединения. В этих соединениях центрирование, т. е. соосное расположение деталей, осуществляют тремя способами (рис. 8.14): по наружному диаметру зубьев ( $D$ ) (рис. 8.14а) или внутреннему диаметру зубьев ( $d$ ) (рис. 8.14б), а также по боковым поверхностям зубьев ( $b$ ) (рис. 8.14в).

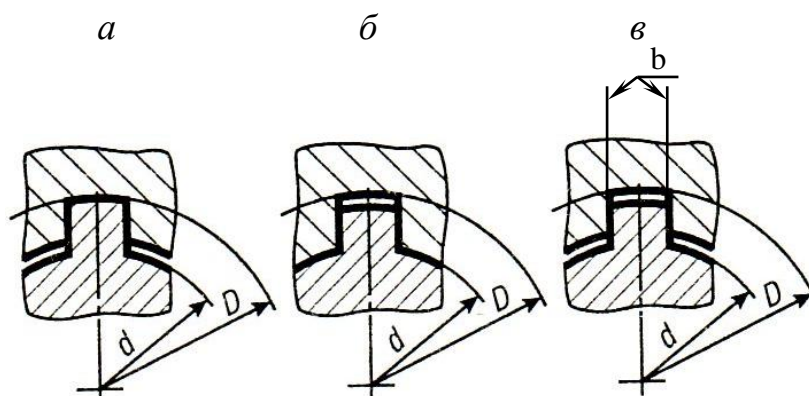


Рис. 8.14. Способы центрирования шлицевого прямобочного соединения: *a* – центрирование по  $D$ ; *б* – центрирование по  $d$ ; *в* – центрирование по  $b$

Центрирование по наружному диаметру  $D$  наиболее простое в изготовлении: вал шлифуется, втулка (ступица) протягивается. Центрирование по внутреннему диаметру  $d$  является наиболее точным, но и более затратным (шлифуют центрирующие поверхности вала и втулки). Эти способы применяются при передаче значительных крутящих моментов, а также в подвижных соединениях.

Центрирование по боковым сторонам зубьев применяют сравнительно редко: при реверсных нагрузках в скользящих шлицевых соединениях, например в карданных валах автомобилей.

Примеры чертежей деталей с прямоугольным профилем зубьев приведены на рис. 8.15. Правила выполнения чертежей деталей шлицевых (зубчатых) соединений даны в ГОСТ 2.409-74.

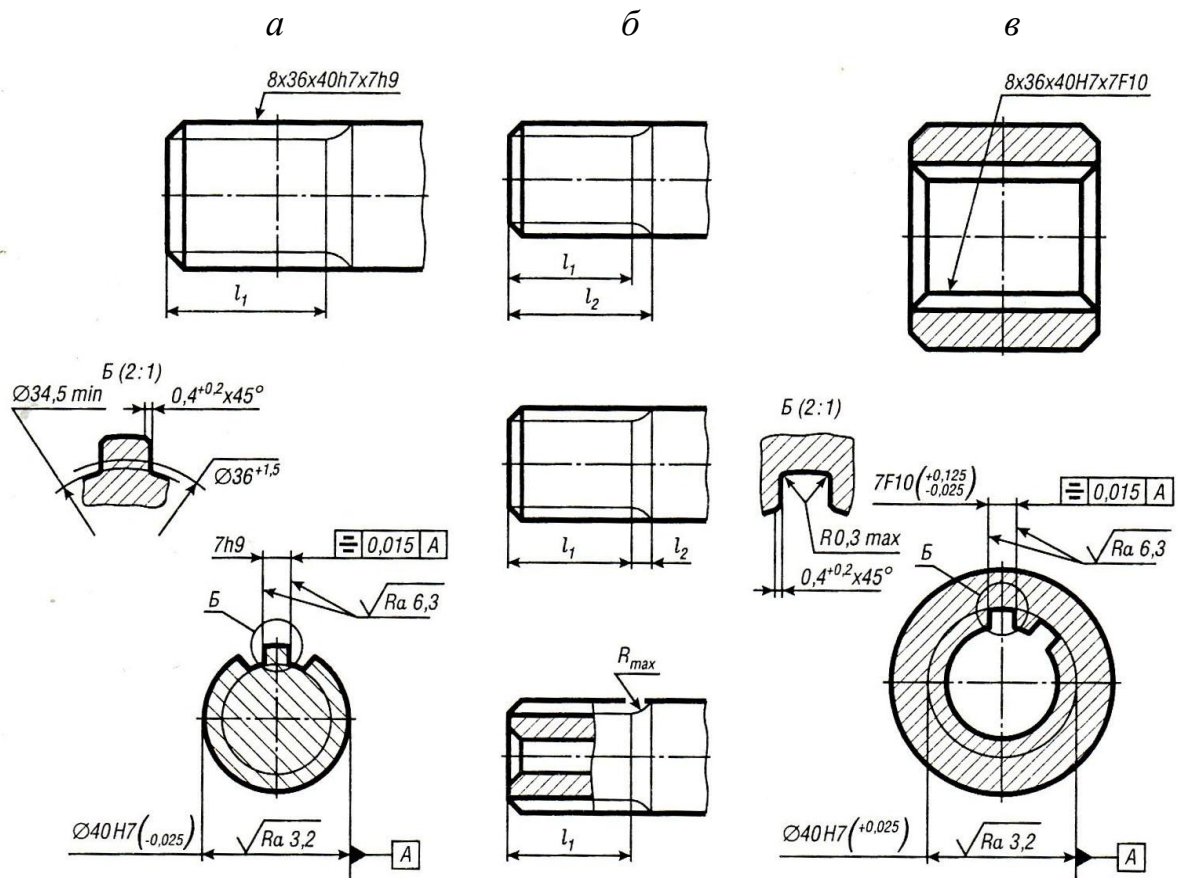


Рис. 8.15. Чертежи деталей с прямоугольным профилем: *а* – шлицевой вал; *б* – варианты задания длин зубьев полного профиля и сбега; *в* – шлицевая втулка (отверстие)

В них указано, что условное обозначение валов, отверстий втулок стандартизированных соединений сообщают на полке линии – выноски или в технических требованиях. Условные обозначения соединения вала и втулки с прямоугольными шлицами установлены ГОСТ 1139-80. Например, шлицевой вал с числом зубьев  $z = 8$ , внутренним диаметром  $d = 36$  мм, наружным диаметром  $D = 40$  мм, шириной зуба  $b = 7$  мм, с центрированием по наружному диаметру  $D$ :

$$\text{соединение } D - 8 \times 36 \times 40 \frac{H7}{h7} \times 7 \frac{F10}{h9};$$

$$\text{втулка } D - 8 \times 36 \times 40 H7 \times 7 F10;$$

$$\text{вал } D - 8 \times 36 \times 40 h7 \times 7 h9.$$

Условное обозначение «шлица с прямоблочным профилем» включает в себя буквы, обозначающие поверхность центрирования; число зубьев; внутренний диаметр; наружный диаметр; ширину зуба; поле допусков по диаметру центрирования и размеру ширины зуба.

### 3.5. Штифтовые соединения

Штифтовые соединения применяются для неподвижного соединения двух деталей и их точной фиксации относительно друг друга (рис. 8.16). В некоторых случаях штифты выполняют предохранительную функцию. При перегрузке (скачке крутящего момента) штифт срезается, благодаря чему предотвращается разрушение соединяемых деталей. В отверстиях штифты удерживаются силой трения или вследствие расклепывания концов штифта.

По конструкции штифты представляют собой цилиндрические или конические стержни. Их размеры стандартизованы.

Соединение вала со ступицей (втулкой) штифтом показано на рис. 8.16.

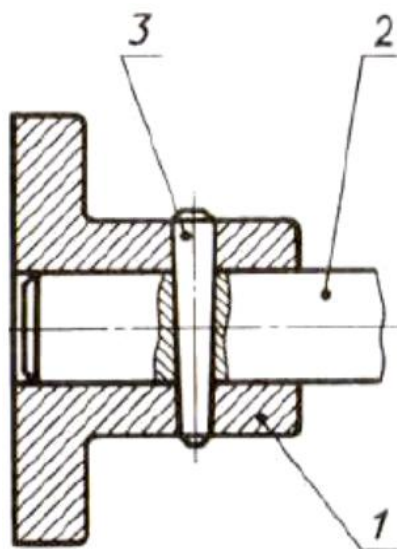


Рис. 8.16. Штифтовое соединение вала и ступицы:

1 – ступица; 2 – вал; 3 – штифт

Отверстия под штифты сверлят в соединяемых деталях одновременно в сборе с последующим развертыванием. Поэтому размеры отверстий указывают только в сборочных чертежах, на чертежах же деталей их не приводят. На сборочных чертежах штифты в разрезе, как и другие непустотелые детали, показывают нерассеченными, если секущая плоскость проходит вдоль их оси.

Пример обозначения наиболее широко применяемых закаленных штифтов из стали 45:

Штифт 10×60 ГОСТ 3128-70,

где 10 – диаметр, 60 – длина, мм.

## **Тема 4. Неразъемные соединения**

### **4.1. Понятие о неразъемном соединении. Основные виды неразъемных соединений**

Неразъемными, как было отмечено ранее, называются такие соединения, которые разъединяются только в том случае, если разрушить само соединение или изделие. К неразъемным способам соединения деталей относятся сварка, клепка, пайка, склеивание, сшивание, прессование, развальцовка, обжатие.

Соединения, выполненные прессованием, развальцовкой и обжатием, не имеют условных стандартных обозначений и на чертеже изображаются с соблюдением только правил машиностроительного черчения.

### **4.2. Соединение сваркой. Изображение швов сварных соединений**

*Сваркой* называется процесс получения неразъемного соединения посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании либо совместном действии того и другого (ГОСТ 2601-84).

В зависимости от протекающих процессов различают сварку *плавлением* и сварку *давлением*. Наибольшее распространение получили *газовая, дуговая* и *контактная* сварка.

На чертеже (рис. 8.17) *видимые швы* сварных соединений условно изображают сплошной основной линией (рис. 8.17а), а *невидимые* – штриховой линией (рис. 8.17б).

От изображения шва проводят наклонную линию-выноску, заканчивающуюся односторонней стрелкой со стороны обозначения шва. Линию-выноску предпочтительно проводить от изображения видимого шва. Условное обозначение шва наносят над полкой линии-выноски, проведенной от изображения шва, если шов находится на лицевой стороне, или под полкой линии выноски, если шов находится на оборотной (невидимой) стороне.

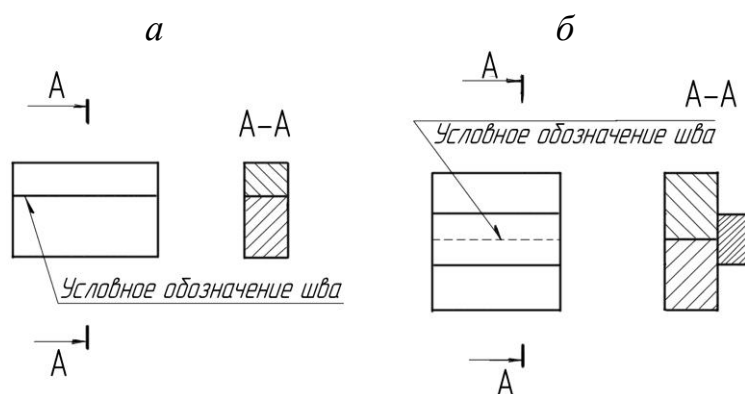
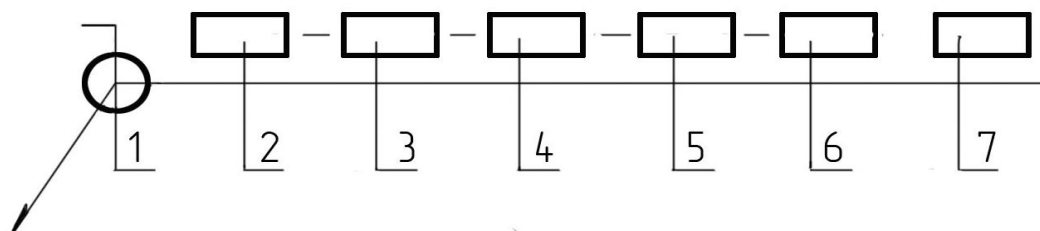


Рис. 8.17. Изображение швов сварных соединений:  
*a* – видимых; *б* – невидимых

#### 4.3. Структура условного обозначения сварного шва. Вспомогательные знаки сварных швов

Структура условного обозначения сварного шва приведена на рис. 8.18. Между элементами обозначения ставится «-» (дефис), кроме последнего интервала между элементами 6 и 7.




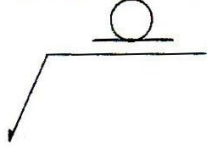


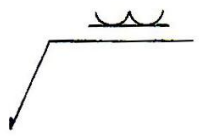
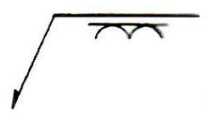

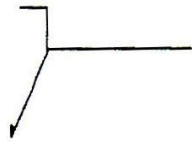

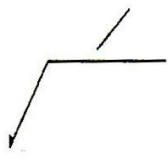
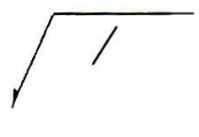

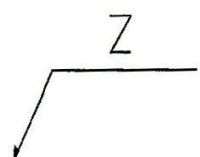
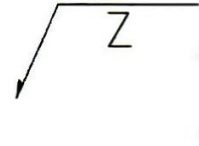

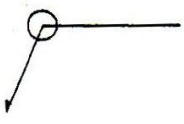

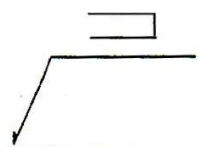
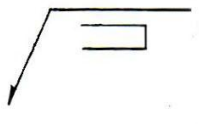
- 1 – вспомогательные знаки шва:  $\textcircled{\text{R}}$  – шов по замкнутой линии и  $\lrcorner$  – шов выполнить при монтаже изделия;
- 2 – обозначение стандарта на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений (например, ГОСТ 5264-80);
- 3 – буквенно-цифровое обозначение шва по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений (например, стыковое соединение – СЗ или угловое соединение – У2 и др.);
- 4 – условное обозначение способа сварки по стандарту на типы и конструктивные элементы швов (допускается не указывать);
- 5 – знак  $\Delta$  и размер катета по стандарту;
- 6 – для прерывистого шва – размер длины провариваемого участка, знак / или Z и размер шага;
- 7 – дополнительные знаки.

Рис. 8.18. Структура условного обозначения стандартного сварного шва

В условном обозначении шва знак и вспомогательные знаки выполняют сплошными тонкими линиями. Вспомогательные знаки должны быть одинаковой высоты с цифрами, входящими в обозначение шва.

Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2. Вспомогательные знаки и их расположение относительно полки линии-выноски

Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака относительно полки линии-выноски, проведенной от изображения шва	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
	Усиление шва снять		
	Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу		
	Шов выполнить при монтаже изделия, т. е. при установке его по монтажному чертежу на месте применения		
	Шов прерывистый или точечный с цепным расположением. Угол наклона линии – 60°		
	Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением		
	Шов по замкнутой линии. Диаметр знака – 3...5 мм		
	Шов по незамкнутой линии. Знак применяют, если расположение шва ясно из чертежа		

Если на чертеже имеется ряд одинаковых швов, то обозначение шва наносят у одного из изображений и арабской цифрой присваивают ему номер (рис. 8.19).



Рис. 8.19. Условные обозначения одинаковых швов

От остальных изображений швов с теми же параметрами проводят линии – выноски, на полках которых проставляют присвоенный им номер.

#### 4.4. Особенности изображения паяных, клееных и сшивных соединений на чертежах.

##### Примеры условных изображений клепаных соединений

*Пайкой* называется процесс получения неразъемного соединения материалов (деталей) посредством нагрева их ниже температуры плавления и заполнения зазора между ними расплавленным припоем.

*Припой* – это металл или сплав, вводимый в зазор между деталями и имеющий более низкую температуру плавления, чем соединяемые материалы.

*Склеиванием* называют неразъемное соединение деталей тонким слоем быстрозатвердевающего состава – клея. Склеивку применяют в случаях, когда нежелательно или невозможно механическое крепление деталей. Чаще всего ее используют для получения соединений из разнородных материалов.

Изображение и обозначение соединений пайкой и склеиванием на чертеже регламентирует ГОСТ 2.313-82. В табл. 8.3 приведены условные обозначения швов, выполняемых пайкой и склеиванием, которые наносят на наклонный участок линии выноски, начинающейся двусторонней стрелкой или точкой и заканчивающейся окружностью диаметром 3...5 мм, если паяный и клееный швы выполнены по периметру. Место паяных и клееных соединений на чертеже изображают сплошной утолщенной линией 2S (рис. 8.20, 8.21).

Таблица 8.3. Условные обозначения швов паяных и клееных соединений

Вид соединения	Условное обозначение шва	Обозначение на чертеже
Пайка	С	
Склеивание	К	
Пайка и склеивание по периметру	®	

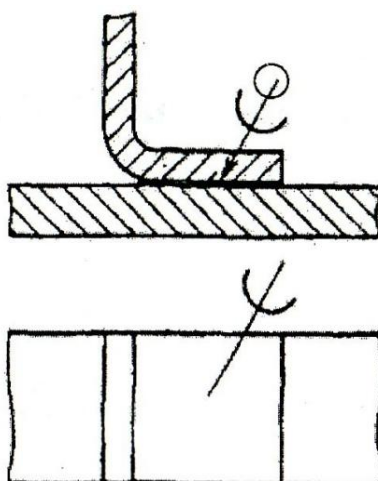


Рис. 8.20. Соединение элементов пайкой

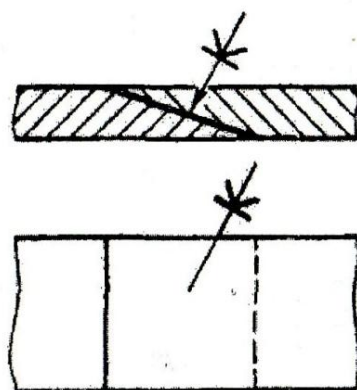


Рис. 8.21. Соединение элементов склеиванием



Обозначение припоя или клея (при необходимости) по соответствующему стандарту приводят в технических требованиях, а ссылку на пункт (например, п. 2) помещают на полке линии-выноски, проведенной от изображения шва.

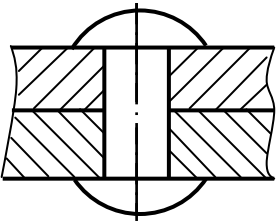
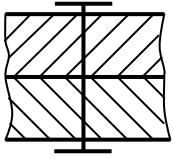
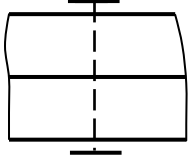
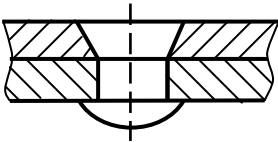
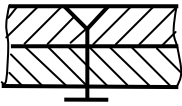
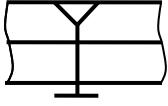
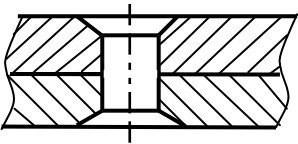
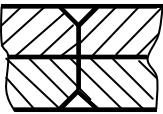
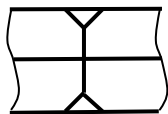
*Клепанные* соединения применяют в конструкциях с большими ударными и вибрационными нагрузками, когда недопустима сварка из-за ослабления деталей, и при использовании несвариваемых материалов.

Заклепка представляет собой стержень цилиндрической формы с закладной головкой на одном конце, а замыкающая головка на другом его конце образуется в процессе клепки. Заклепки изготавливают из достаточно пластичных для образования головок материалов. Типы и конструктивные параметры заклепок стандартизованы.

По назначению заклепочные швы делят на прочные, плотные, обеспечивающие герметичность, и плотнопрочные; по конструктивным признакам – на одно-, двух-, трехрядные и т. д.; с листами, расположенными встык с одной или двумя накладками; с цепным или шахматным расположением заклепок.

Примеры изображения некоторых соединений заклепками приведены в табл. 8.4, где 1 – соединение заклепками с полукруглой головкой и с полукруглой замыкающей головкой; 2 – соединение заклепками с потайной головкой и с полукруглой замыкающей головкой; 3 – соединение заклепками с потайной головкой и с потайной замыкающей головкой.

Таблица 8.4. Изображение клепаных соединений на чертеже

Изображение	Условное изображение	
	в сечении	на виде
		
		
		

## **Вопросы для самопроверки по разделу «Соединения деталей. Изображение и обозначение резьбы»**

1. Что понимается под соединением деталей в технике? Назовите виды неподвижных соединений.
2. Что называется резьбой? Назовите основные параметры резьбы.
3. Какие резьбовые детали относятся к крепежным? Как изображается резьба и резьбовое соединение на чертеже?
4. Назовите стандартные резьбовые детали. Когда целесообразно применение шпилек?
5. Какие соединения, кроме резьбовых, относятся к разъемным соединениям деталей?
6. Что понимается под неразъемным соединением? Назовите виды неразъемных соединений.
7. Особенности изображения видимых и невидимых швов сварных соединений на чертеже.
8. Какие вспомогательные знаки применяют для условного обозначения сварного шва?
9. Как изображают паяные и клееные соединения на чертеже?
10. Как изображают на чертеже клепаные соединения?

## **IX. РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ И ЭСКИЗЫ ДЕТАЛЕЙ. ИЗОБРАЖЕНИЕ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ, СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ ИЗДЕЛИЙ. ЧЕРТЕЖ ОБЩЕГО ВИДА**

### **Тема 1. Основные требования к оформлению рабочих чертежей деталей**

#### **1.1. Понятие о чертеже детали. Содержание рабочего чертежа детали**

Чертеж детали – это конструкторский документ, содержащий изображение геометрической формы детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля. Каждый рабочий чертеж детали выполняется на отдельном формате с соблюдением общих правил оформления чертежей.

Рабочий чертеж детали должен содержать:

- необходимые изображения геометрической формы (виды, разрезы, сечения, выносные элементы и др.);
- все необходимые для изготовления и контроля размеры (габаритные, присоединительные, установочные, размеры геометрии отдельных элементов и их привязку к базам, размеры для справок);
- предельные отклонения размеров от номинальных значений, а также допуски на форму и взаимное расположение поверхностей;
- сведения о шероховатости поверхности;
- данные о марке материала и указание ГОСТ на него;
- технические требования при изготовлении (покрытие, термообработка и др.);
- особые требования для совместно обрабатываемых деталей;
- дополнительные сведения в виде графиков, таблиц (например, требуемые для изготовления пружины, зубчатые колеса и др.);
- рамку, ограничивающую поле чертежа и основную надпись в соответствии с ГОСТ 2.104-68.

Количество изображений детали должно быть минимальным, но достаточным для полного отображения ее наружных и внутренних геометрических форм. При выполнении рабочих чертежей следует учитывать требования технологии изготовления и практики применения деталей. Для этого предусматривают ряд специальных конструкторско-технологических элементов:

- при переходе вала от одного диаметра к другому в местах перехода всегда выполняют *галтели*, радиус которых зависит от диаметра вала;

- в конце резьбы обычно делают *проточку*, а в начале резьбы – *фаску*;

- в деталях, изготавливаемых литьем, под опорные поверхности головок болтов, винтов и гаек выполняют *приливы* (бобышки), диаметр которых должен быть не меньше диаметра шайбы;

- детали, изготавливаемые штамповкой и литьем, не имеют острых углов;

- центры отверстий на круглых фланцах деталей, как правило, являются вершинами правильных многоугольников;

- ось отверстия обычно располагают перпендикулярно к поверхности, которую оно пересекает;

- при необходимости применяют пазы, буртики, лыски, ребра жесткости, центровые отверстия, рифления и другие конструкторско-технологические элементы.

## **1.2. Рекомендации по выбору главного изображения детали на чертеже. Обоснование выбора масштаба изображения и формата чертежа**

От правильности выбора главного изображения детали во многом зависит рациональное пользование чертежом. Как правило, главное изображение выбирают исходя из положения детали при выполнении наиболее трудоемкой технологической операции в процессе изготовления или положения, которое деталь занимает в изделии в рабочем состоянии. Все прочие изображения будут вспомогательными. На них показывают то, что не удалось отразить на главном виде.

Для деталей, представляющих поверхности вращения (валов, втулок, осей и т. п.), главный вид рекомендуется располагать так, чтобы оси вращения были горизонтальными, т. е. параллельными основной надписи. Детали, изготавливаемые штамповкой, на главном виде следует располагать в соответствии с их положением в штампах на прессах; детали, заготовки которых получают литьем, размещают на главном виде так, как они располагаются в процессе разметки на разметочной плите, а основная обрабатываемая плоскость детали занимала горизонтальное положение.

При выборе формата и масштаба изображений следует исходить из удобства чтения чертежа, не допуская загромождения размерных линий, обозначений шероховатости поверхности и других знаков и учитывая то обстоятельство, что чем больше формат чертежа, тем труднее им пользоваться.

Для изображений используют стандартные масштабы (ГОСТ 2.302-68). Наиболее предпочтительным является масштаб 1:1. Крупные и несложные детали следует вычерчивать в масштабе уменьшения, мелкие – в масштабе увеличения. Мелкие элементы деталей изображают отдельно (при помощи выносного элемента) в более крупном масштабе. На увеличенном изображении элемента легче показать его геометрическую форму и проставить необходимые размеры.

Формат чертежа выбирается в зависимости от размеров и конфигурации детали, масштаба и числа изображений. Все внутренние полости должны иметь графическое пояснение. Не рекомендуется изображать на чертеже контуры детали невидимыми. Их делают видимыми при помощи сечения или разреза. В большинстве случаев графические изображения, знаки и надписи должны занимать 75–80 % от площади рабочего поля чертежа.

В целом вопросы о количестве изображений, их взаимном расположении и содержании, формате, масштабе решают комплексно, руководствуясь условием удобства пользования чертежом и его наглядности.

## Тема 2. Эскизы деталей

### 2.1. Понятие об эскизе. Содержание чертежа.

#### Подготовительная стадия выполнения эскиза детали с натуры

Эскизом называется чертеж, выполненный от руки по правилам прямоугольного проецирования в глазомерном масштабе с приблизительным соблюдением пропорций геометрических элементов детали. Поскольку эскиз является документом при изготовлении детали или для выполнения по нему рабочего чертежа, он должны содержать те же сведения, что и рабочий чертеж детали (о геометрической форме, размерах и их отклонениях, шероховатости поверхности, материале, технических требованиях и др.). На эскизе в основной надписи не указывается масштаб; кроме того, в зависимости от поставленной задачи, допускается не наносить рамку и основную надпись.

Выполнение эскиза детали с натуры состоит их двух стадий: подготовительной и основной. На подготовительной стадии деталь внимательно осматривают. Желательно установить назначение сборочной единицы, положение в изделии и условия работы. Затем проводится конструктивный, функциональный и технологический анализ деталей, например крана пробкового (рис. 9.1).

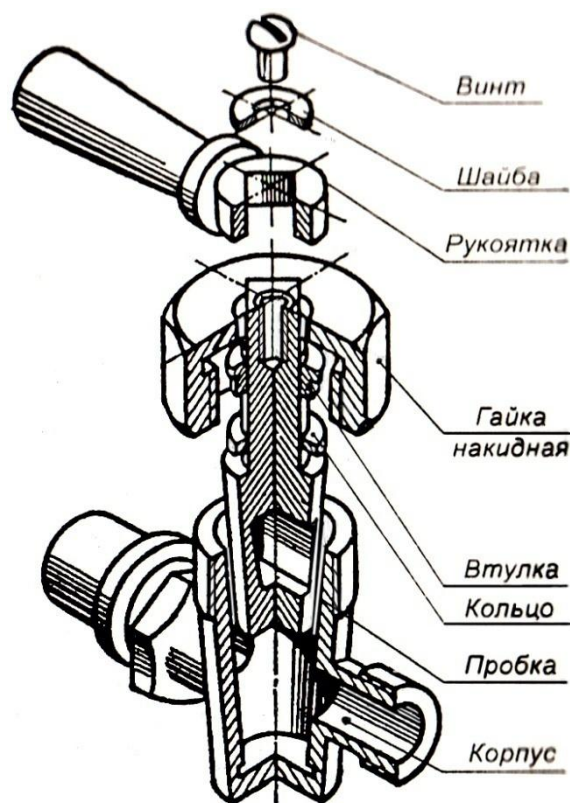


Рис. 9.1. Технический рисунок крана пробкового

*Конструктивный анализ* позволяет определить все виды поверхностей, при помощи которых образована деталь, и четко представить ее геометрическую форму.

На этапе *функционального анализа* устанавливается назначение каждой поверхности: сопрягаемая (охватывающая или охватываемая), привалочная (прилегающая или опорная), свободная (не соприкасающаяся с поверхностями других деталей изделия). Особое внимание обращается на сопрягаемые поверхности.

На этапе *технологического анализа* определяется способ получения поверхностей: путем удаления слоя материала (точение, фрезерование, сверление, шлифование и др.) или без удаления (литье, ковка, прессование, штамповка).

Затем выбирается главное изображение, на котором можно максимально отразить геометрическую форму и размеры детали. Деталь на главном виде показывается в рабочем положении или положении, которое она занимает при изготовлении в наиболее трудоемкой технологической операции. Намечаются другие необходимые изображения. Их количество должно быть минимальным, но достаточным для изготовления детали. Деталь рекомендуется изображать приблизительно в натуральную величину; также нужно сделать предварительный набросок эскиза.

## **2.2. Последовательность выполнения эскиза детали с натуры на основной стадии**

Основная стадия выполнения эскиза детали с натуры включает следующие этапы:

1. Выбирают формат листа для эскиза согласно ГОСТ 2.301-68. При необходимости наносят рамку и основную надпись.

2. На выбранном формате продумывают компоновку изображений. (При этом необходимо учитывать, что между изображениями должно быть свободное место для нанесения размеров, надписей, знаков и других условных обозначений).

3. Наносят оси симметрии (если есть симметрия), осевые и центровые линии отверстий, поверхностей вращения, пазов.

4. Вычерчивают все изображения тонкими линиями. Обычно *начинают с изображения внешнего контура на главном виде*. Не следует обращать внимание на возможные дефекты поверхностей, образующиеся, например, в процессе литья или в результате износа детали во время эксплуатации. Обязательно показывают имеющиеся конструкторско-технологические элементы (проточки, галтели, фаски, канавки, бобышки и др.).

5. Вычерчивают разрезы и сечения, выносные элементы, дополнительные и местные виды, позволяющие уяснить внутреннее строение и более полно представить геометрическую форму всех элементов детали.

6. Убедившись в правильности и достаточности построенных изображений, удаляют все вспомогательные линии, обводят линии контура и перехода поверхностей сплошной основной толстой линией. Штрихуют разрезы и сечения. Наносят выносные и размерные линии, знаки шероховатости и, если требуется, обозначения допусков формы и расположения поверхностей.

7. Производят обмер детали и проставляют размерные числа, параметры шероховатости, делают все необходимые надписи, заполняют технические требования и основную надпись чертежа.

### 2.3. Выполнение эскизов деталей крана пробкового

Примеры выполнения эскизов деталей приведены на рис. 9.2–9.6.

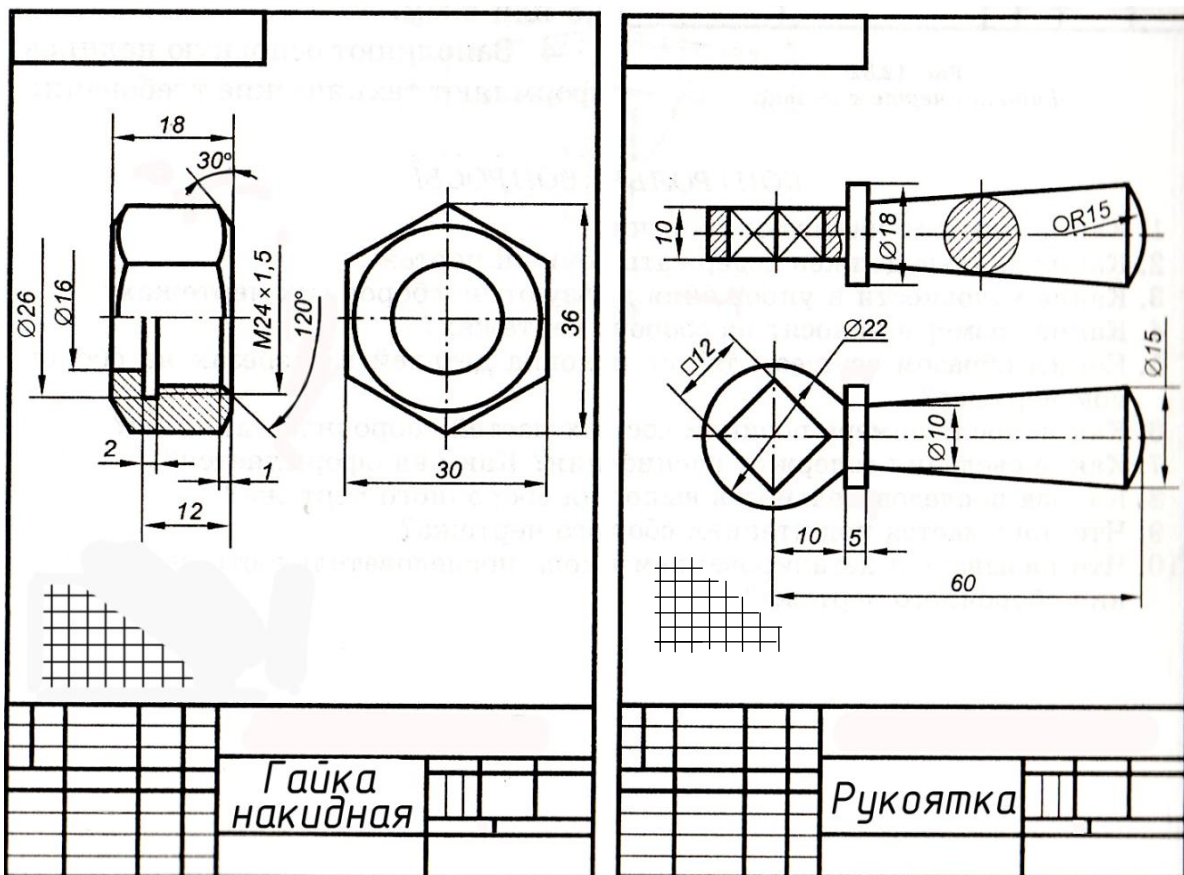


Рис. 9.2. Эскиз детали  
«Гайка накидная»

Рис. 9.3. Эскиз детали «Рукоятка»

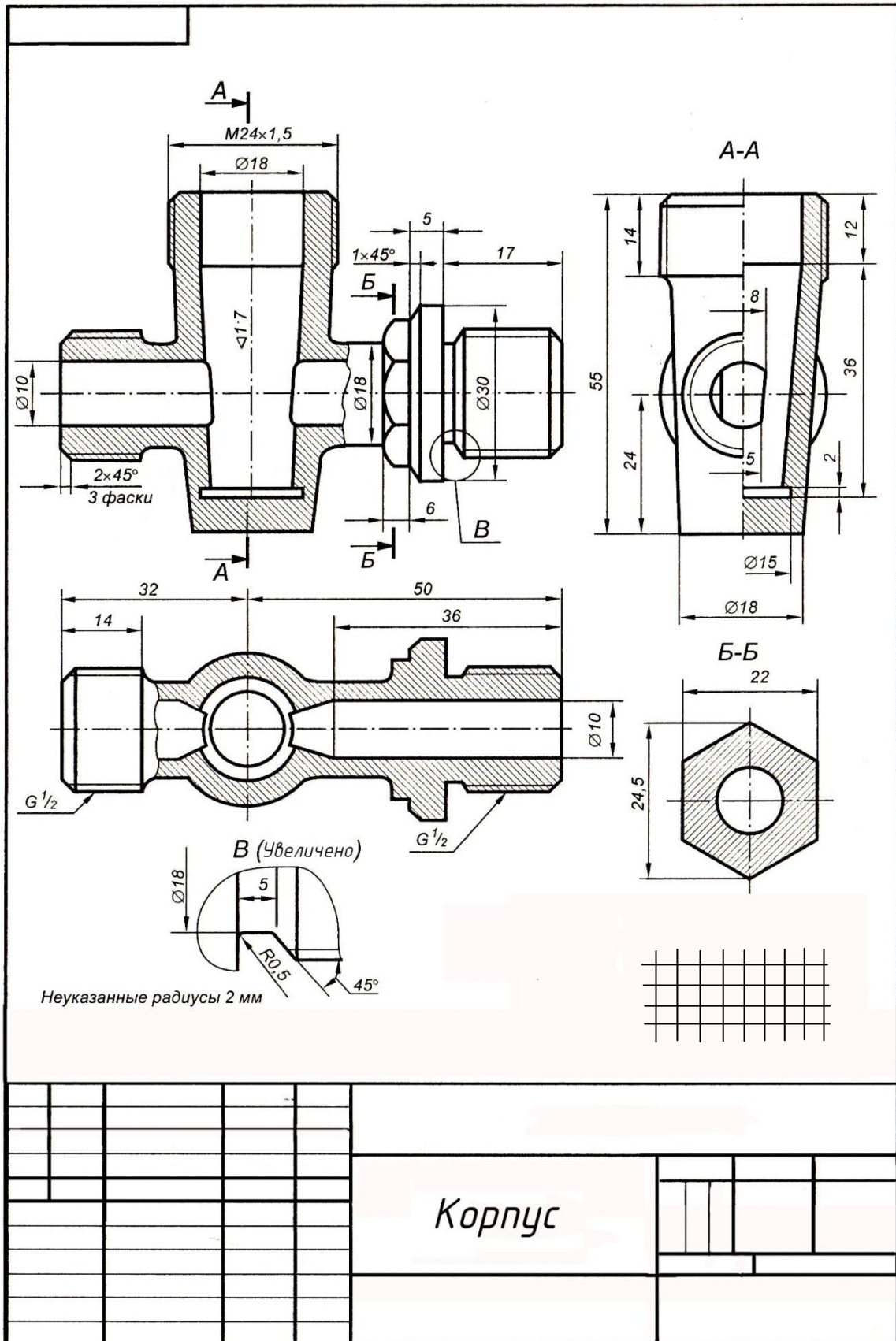


Рис. 9.4. Эскиз детали «Корпус»



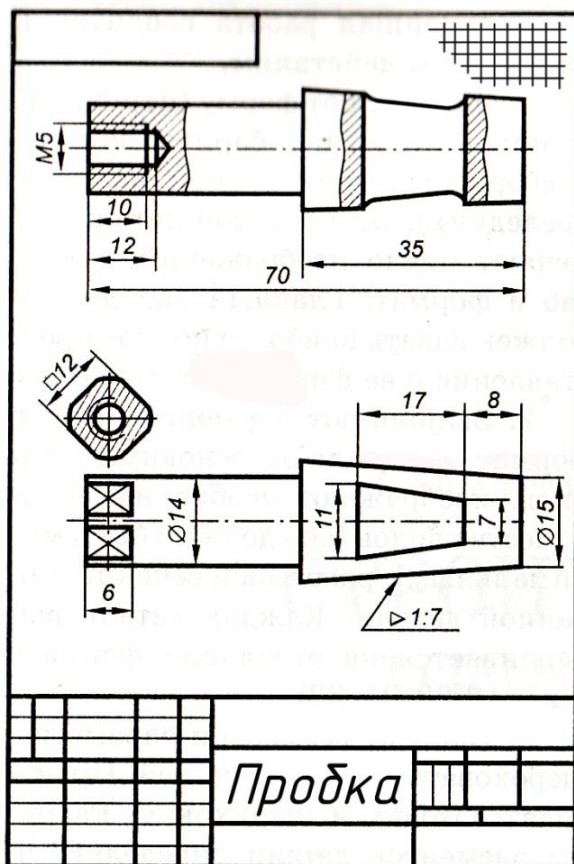


Рис. 9.5. Эскиз детали «Пробка»

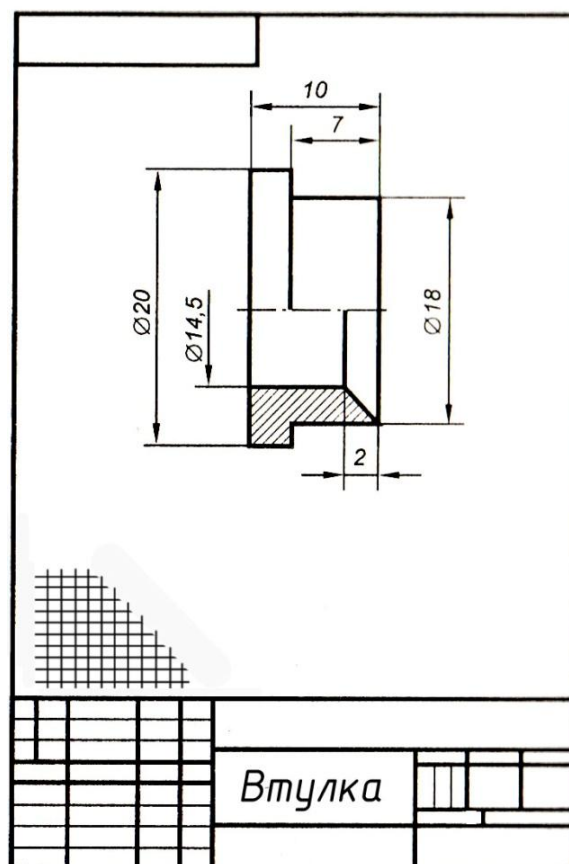


Рис. 9.6. Эскиз детали «Втулка»

### Тема 3. Сборочные чертежи. Чертежи общих видов

#### 3.1. Понятие о сборочном чертеже.

##### Назначение изображений и размеров на сборочном чертеже

*Сборочный чертеж* (код – СБ) – это конструкторский документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля. По сборочному чертежу выполняют сборочные операции (соединяют детали в сборочные единицы) и проводят контроль правильности сборки изделия.

Согласно ГОСТ 2.109-73 сборочный чертеж в общем случае должен содержать:

1) *изображение* сборочной единицы, дающее полное представление о расположении и взаимосвязи составных частей, входящих в изделие, и возможность осуществления сборки и контроля. Количество изображений должно быть минимальным, но достаточным, чтобы по чертежу СБ можно было провести сборку и контроль изделия. Изображение простых изделий

следует ограничивать одним видом или разрезом, если его достаточно для осуществления сборки. При необходимости допускается:

изображать схемы соединений и расположения составных частей изделия;

приводить данные о работе изделия и его техническую характеристику;

изображать перемещающиеся части изделия в крайних и промежуточных положениях с соответствующими размерами, а также пограничные изделия («обстановку»), причем на разрезах и сечениях «обстановку» обычно не штрихуют;

2) *размеры – габаритные*, определяющие предельные внешние и внутренние очертания изделия; *установочные*, по которым изделие устанавливается на месте монтажа; *присоединительные*, служащие для присоединения его к другим изделиям; *контролируемые* (эксплуатационные) и другие необходимые для сборки справочные размеры;

3) *номера позиций составных частей* (деталей), входящих в изделие;

4) *спецификацию* (ГОСТ 2.106-96).

Сборочный чертеж входит в комплект рабочей конструкторской документации и предназначен непосредственно для производства.

### **3.2. Условности и упрощения на сборочном чертеже.**

#### **Правила штриховки на разрезах и сечениях**

Сборочный чертеж выполняется с упрощениями, установленными стандартами ЕСКД, а также предусмотренными ГОСТ 2.109-73 для оформления чертежей *рабочей* конструкторской документации. Для сокращения объема графических работ на сборочных чертежах допускается не показывать:

фаски, проточки, скругления, углубления, накатки, выступы, насечки, оплетки и другие мелкие элементы;

зазоры между отверстием и стержнем, который входит в это отверстие;

крышки, щиты, кожухи, перегородки и т. п., если необходимо показать закрытые ими составные части изделия. В этом случае над изображением делают соответствующую надпись, например: «Крышка не показана» или «Крышка поз. 3 не показана»;

видимые составные части изделий или их элементы, расположенные за сеткой, а также частично закрытые впереди расположенными составными частями изделия;

надписи на табличках, фирменных планках, шкалах и других подобных деталях, а также маркировочные и технические данные и надписи на изделии, изображая только контур таблички, планки и т. п.

Изделия, изготовленные из прозрачного материала, изображают как непрозрачные.

Допускается на сборочных чертежах составные части изделий и их элементы, расположенные за прозрачными предметами, показывать как видимые (циферблаты, шкалы, стрелки приборов, внутреннее устройство радиотехнических ламп и т. п.).

Изделия, расположенные за винтовой пружиной, изображенной на сборочном чертеже в разрезе, вычерчивают условно только до осевых линий сечения витков пружины, т. е. считается, что пружина закрывает лежащие за ней части изделия (рис. 9.7а).

Сварное, паяное, клееное изделие, изготовленное из однородного материала, в сборе с другими изделиями в разрезах и сечениях штрихуют как монолитное тело, т. е. в одну сторону, изображая границы между деталями сварного изделия сплошными основными линиями (рис. 9.7б). Допускается не показывать границы между деталями, т. е. изображать конструкцию как монолитное тело.

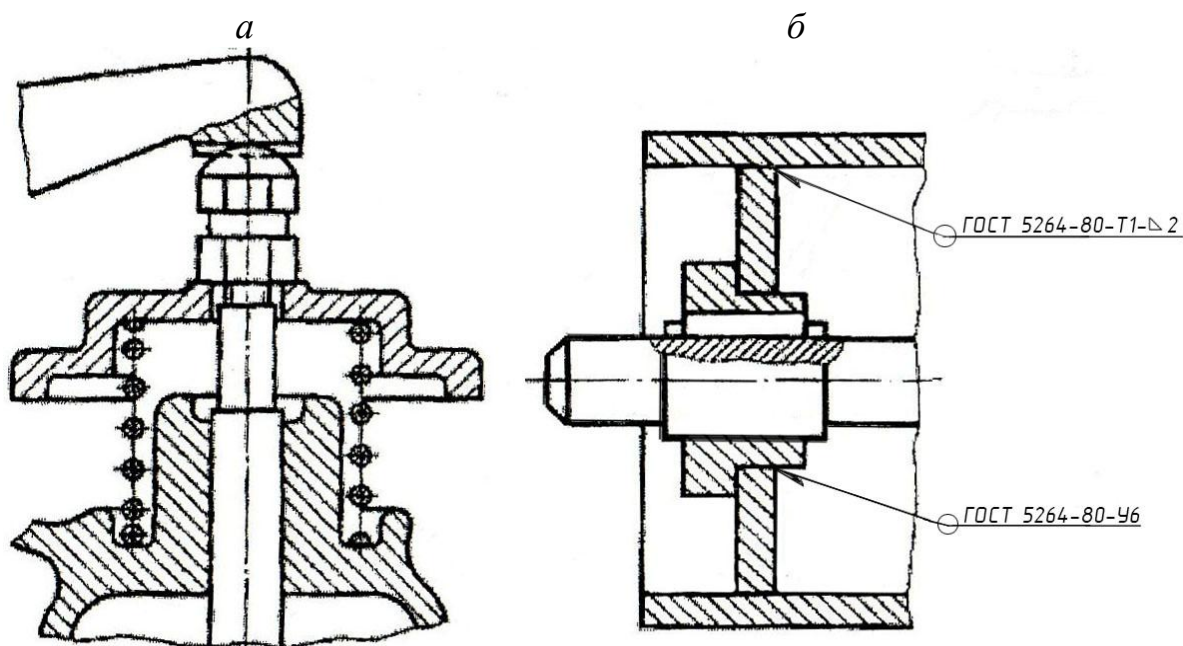


Рис. 9.7. Вычерчивание: *а* – сечений витков пружины; *б* – сечения сварного изделия

Составные части изделий на разрезах сборочного чертежа, на которые имеются самостоятельно оформленные сборочные чертежи, допускается изображать нерассеченными (например, клапан), а типовые, покупные изделия (например, двигатель, рис. 9.8а), – внешними очертаниями (рис. 9.8б). Контурные очертания предметов разрешается упрощать, не изображая мелкие выступы, впадины и т. п. (рис. 9.8в).

На сборочных чертежах, включающих изображения нескольких одинаковых составных частей (колес, опорных катков и т. п.), допускается выполнять полное изображение только одной из них, а изображения остальных частей показывать упрощенно внешними очертаниями.

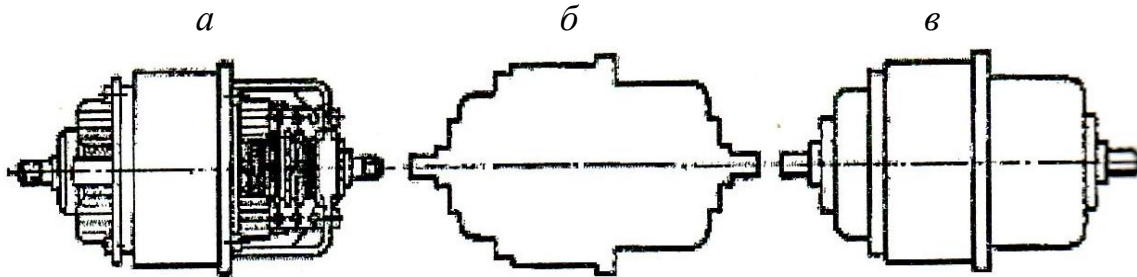
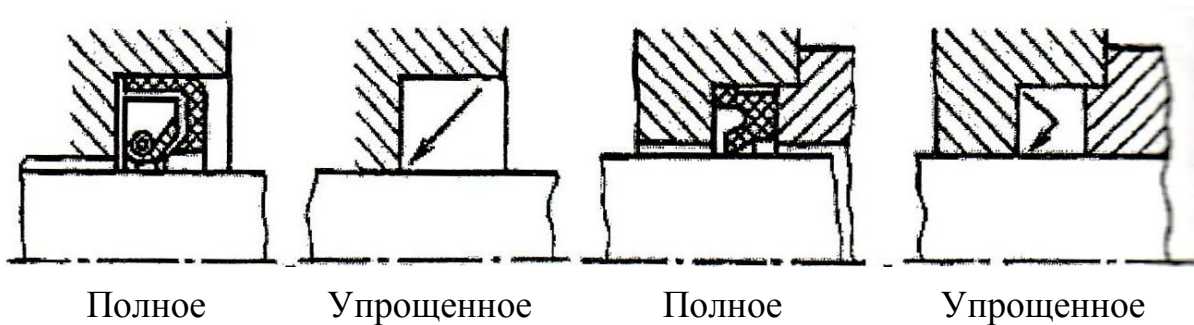


Рис. 9.8. Изображение чертежа типового изделия: *a* – произвольное; *б* – внешним очертанием; *в* – упрощенное

На сборочных чертежах уплотнения разрешается изображать условно, как показано на рис. 9.9, указывая стрелкой направление действия уплотнения.



Полное

Упрощенное

Полное

Упрощенное

Рис. 9.9. Условные изображения

Такие детали, как винты, заклепки, шпонки, непустотелые валы и шпиндели, шатуны, рукоятки и т. п., при продольном разрезе показывают нерассеченными. Шарики всегда изображают нерассеченными. Как правило, на сборочных чертежах нерассеченными показываются гайки, шайбы.

Такие элементы, как спицы маховиков, шкивов, зубчатых колес, тонкие стенки типа ребер жесткости и т. п., показывают незаштрихованными, если секущая плоскость направлена вдоль оси или длинной стороны элемента. Спицы, не попадающие в секущую плоскость, допускается показывать условно, как попавшие в нее.

Если в подобных элементах детали имеется местное сверление, углубление и т. п., то делают местный разрез.

Пластины, а также элементы деталей (отверстия, фаски, пазы, углубления и т. п.) размером (или разницей в размерах) на чертеже 2 мм и менее изображают с отступлением от масштаба, принятого для всего изображения, в сторону увеличения.

Штриховка на разрезах и сечениях одной и той же детали на всех ее изображениях должна выполняться в одну и ту же сторону с соблюдением одинакового расстояния (шага) между линиями. При стыке нескольких деталей штриховку следует разнообразить, изменяя направление наклона линий штриховки и расстояние между ними, либо сдвигая линии штриховки в одном сечении по отношению к другому. Чем меньше изображение в разрезе, тем чаще должна быть штриховка, выполняемая, как правило, в соответствии с принятыми для данных материалов обозначениями (ГОСТ 2.306-68).

### **3.3. Правила нанесения номеров позиций составных частей сборочной единицы**

Все составные части, входящие в сборочную единицу, нумеруют в соответствии с номерами позиций, указанными в спецификации. Номера позиций наносятся вне контура изображения на линиях-выносках, начинающихся точкой или стрелкой на проекции (или соответствующем разрезе) детали и заканчивающихся полочкой, параллельной основной надписи чертежа. Полки группируют в колонки и строчки. Номера позиций, как правило, указывают один раз и записывают шрифтом на один-два размера больше, чем размер шрифта размерных чисел.

Линии-выноски и полки выполняют сплошными тонкими линиями. Они не должны быть параллельными линиями штриховки, а также пересекаться между собой и (по возможности) с размерными линиями.

### **3.4. Понятие о чертеже общего вида. Отличия от сборочного чертежа. Порядок выполнения**

Чертеж общего вида (код – ВО) – это конструкторский документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его основных составных частей и поясняющий принцип работы изделия.

Чертеж общего вида должен содержать:

изображения изделия (основные виды, разрезы, сечения), текстовую часть в виде пояснений и надписей (необходимые для понимания устройства изделия, взаимодействия его составных частей и принципа работы);

наименования и обозначения тех составных частей изделия, параметры которых необходимо указать (технические характеристики, количество, сведения о материале и др.);

габаритные, присоединительные, установочные и другие размеры, позволяющие уяснить форму элементов детали;

посадки деталей (размеры с предельными отклонениями по ГОСТ 2.307-68);

схему изделия (если она требуется);

технические требования к изделию и его составным частям, если требуется их учитывать при дальнейшей разработке рабочих чертежей.

Чертеж общего вида выполняют с упрощениями, предусмотренными ГОСТ 2.109-73 для оформления чертежей рабочей документации и другими стандартами ЕСКД. Составные части изделия могут изображаться на одном листе с чертежом общего вида или на отдельных последующих листах.

Наименования и обозначения составных частей изделия указывают или на полках линий-выносок, проведенных от деталей (составных частей), или в таблице на чертеже ВО, или в таблице на отдельных листах формата А4 в качестве последующих листов чертежа общего вида.

В отличие от сборочного чертежа, чертеж общего вида:

показывает конструкцию всего изделия и каждой его составной части (детали);

содержит большое число изображений на основных видах, включая дополнительные виды, разрезы, сечения и др. (иначе нельзя выявить конструкцию элементов составных частей и деталей изделия);

имеет большое число размеров, как определяющих взаимное расположение составных частей (деталей) изделия, так и уточняющих форму отдельных их элементов.

#### Порядок выполнения чертежа общего вида

1. Оформляют формат – вычерчивают внутреннюю рамку выбранного формата, основную надпись и дополнительные графы к ней.

2. Над основной надписью оставляют свободное место шириной 185 мм для таблицы составных частей изделия и текстов для технических характеристик.

3. Выполняют на поле чертежа необходимые изображения.

4. Разрабатывают и заполняют таблицу составных частей изделия.

5. От каждой детали и сборочной единицы проводят линию-выноску, на полке которой наносят номер позиции, соответствующий номеру, указанному в таблице составных частей изделия.

6. Проставляют необходимые габаритные, присоединительные, установочные и другие конструктивные размеры.

7. Если требуется, приводят функциональную или иную схему изделия.

8. Приводят необходимые таблицы, технические требования и технические характеристики.

Чертежи общих видов изделий относятся к проектной конструкторской документации. Они разрабатываются на стадиях технического предложения (ГОСТ 2.118-73), эскизного проекта (ГОСТ 2.119-73) и технического проекта (ГОСТ 2.120-73). Затем на основании чертежа ВО выполняется рабочая конструкторская документация: чертежи отдельных деталей и сборочных единиц, спецификация, а при необходимости – монтажный и габаритный чертежи.

Для несложных по конструкции изделий выполняют лишь рабочую документацию, т. е. сборочные чертежи. В этом случае и рабочие чертежи деталей выполняют по сборочному чертежу.

## **Тема 4. Спецификация.**

### **Чтение и детализирование сборочных чертежей**

#### **4.1. Назначение спецификации, ее разделы и последовательность их заполнения**

Состав сборочной единицы определяется особым документом – спецификацией, которая составляется на каждую сборочную единицу (комплекс, комплект).

*Спецификация* – это основной конструкторский документ, определяющий состав сборочной единицы и представляющий собой специальную таблицу, в которой в порядке, определенном ГОСТ 2.106-96, записывают состав специфицируемого изделия. Спецификация необходима для изготовления изделия, комплектования конструкторских документов и планирования запуска изделия в производство.

На сборочном чертеже составные части изделия обозначают номерами позиций, которые присваиваются в начале в спецификации при ее заполнении, а затем переносят на чертеж СБ. Выполняют спецификацию на отдельных листах формата А4 с основной надписью по форме 2 для первого листа (рис. 9.10) и по форме 2а для последующих листов.

Пример спецификации к сборочному чертежу «Кран пробковый» приведен на рис. 9.11. Состав изделия: корпус, пробка, кольцо, втулка, гайка накидная, рукоятка, винт, шайба.

В общем случае спецификация состоит из восьми разделов, расположенных в заданной последовательности:

1. Документация.
2. Комплексы.
3. Сборочные единицы.
4. Детали.
5. Стандартные изделия.
6. Прочие изделия.





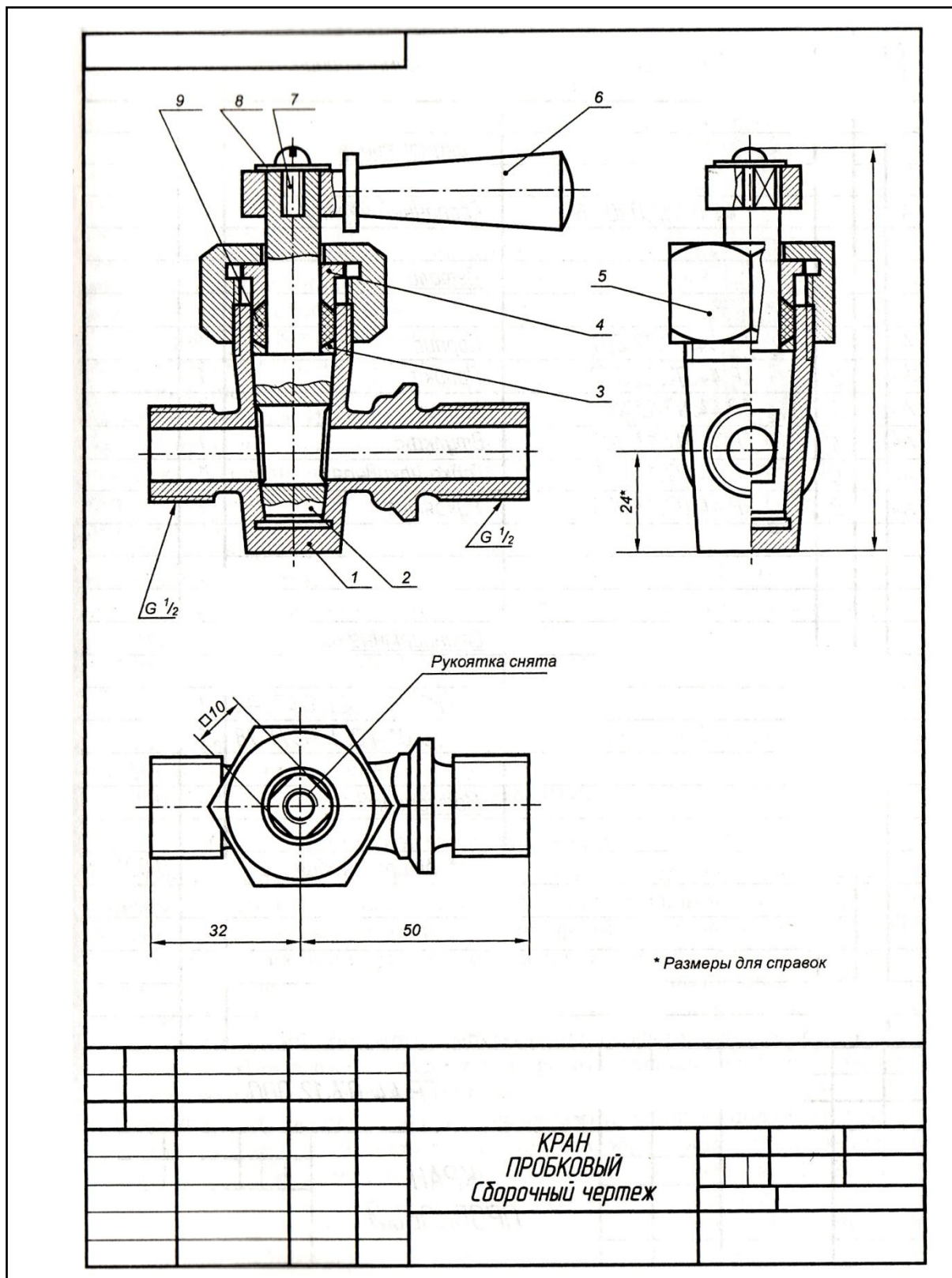


Рис. 9.11. Сборочный чертеж «Кран пробковый»

## 4.2. Структура таблицы спецификации и правила ее заполнения

Таблица спецификации состоит из колонок:

1. *Формат* – для обозначения форматов перечисленных графических конструкторских документов (кроме разделов 5...7).

2. *Зона* – для обозначения зоны нахождения составной части изделия, если поле чертежа разбито на зоны по ГОСТ 2.104-68.

3. *Позиция* (поз.) – для указания порядковых номеров составных частей документа, на которые составлена спецификация (кроме разделов «Документация» и «Комплекты»).

4. *Обозначение* – для записи буквенно-цифрового обозначения составных частей изделия (графу не заполняют для разделов «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы»).

5. *Наименование* – записываются названия разделов:

в разделе «Документация», – наименование документа (например, «Сборочный чертеж», «Монтажный чертеж», «Пояснительная записка» и др.);

в разделах «Комплексы», «Сборочные единицы», «Детали», «Комплекты» – наименования составных частей;

в разделе «Стандартные изделия» – обозначение изделия в соответствии со стандартом на это изделие;

в разделах «Прочие изделия» и «Материалы» – наименования и условные обозначения этих изделий;

6. *Количество* – для указания количества составных частей (в графе «Материалы» – количество материалов с указанием единиц физических величин).

7. *Примечание* – для дополнительных сведений.

Название раздела, записанное в графе «Наименование», подчеркивается тонкой линией. Ниже названия каждого раздела оставляется свободная строка. После перечня составных частей в каждом разделе оставляется несколько свободных строк для дополнительных записей, которые могут потребоваться при модернизации изделия. Для свободных строк резервируют и номера позиций. Размеры головки таблицы, колонок и строк определены стандартом (ГОСТ 2.106-96).

### 4.3. Деталирование.

#### Последовательность этапов деталирования сборочного чертежа

*Деталированием* называется выполнение рабочих чертежей по чертежу общего вида или сборочному чертежу. На все детали, входящие в состав изделия, должны быть разработаны рабочие чертежи.

При деталировании в первую очередь необходимо прочитать чертеж ВО или СБ. В процессе чтения необходимо выяснить назначение изделия, принцип его работы, особенности взаимодействия деталей в эксплуатации, геометрическую форму деталей и способы их соединения между собой.

Примерная *последовательность чтения детализуемого чертежа*:

1. По основной надписи определяют наименование изделия, масштаб изображения, возможное назначение.

2. По спецификации устанавливают название каждой детали, входящей в изделие, и их количество.

3. По изображениям выявляют, какие виды, разрезы, сечения и т. п. показаны на чертеже, и определяют назначение каждого из них.

4. Знакомятся с техническими требованиями и размерами, нанесенными на чертеже.

5. Определяют способы соединения деталей между собой и характер их взаимодействия.

6. Выясняют конструкцию каждой детали по ее геометрической форме и размерам.

7. Мысленно представляют порядок сборки и разборки изделия, разбираются в его работе.

После этой подготовительной стадии – прочтения детализуемого чертежа – переходят к стадии непосредственного выполнения рабочих чертежей деталей:

1. На всех изображениях устанавливают контуры намеченной детали (по номеру позиции, а также с учетом того, что основные виды всегда находятся в линиях проекционной связи и деталь на разрезах и сечениях имеет одинаковую штриховку).

2. С учетом требований ГОСТ 2.305-68 выбирают главное изображение на чертеже, определяют минимальное и достаточное число видов, разрезов и других изображений.

3. Измеряют деталь на детализуемом чертеже и с учетом масштаба определяют натуральные размеры (размеры сопрягаемых поверхностей деталей должны быть одинаковыми); при необходимости полученные размеры округляют до ближайших стандартных.

4. Выбирают масштаб изображения детали и формат чертежа.

5. Выполняют компоновку чертежа и вычерчивают изображения детали (виды, разрезы, сечения, выносные элементы и т. п.), обращая внимание на упрощения, допускаемые на чертежах ВО и СБ.

6. Проставляют размеры, их предельные отклонения, шероховатости поверхностей, оформляют текстовую часть и другие сведения.

7. Заполняют графы основной надписи.

На рабочем чертеже выполняют в соответствии со стандартами те элементы детали, которые не изображены или показаны условно (упрощенно) на детализуемом чертеже. К таким элементам относятся:

канавки и проточки для выхода резьбонарезающего инструмента;

фаски, облегчающие процессы изготовления детали и сборки изделия;

галтели, литейные и штамповочные скругления, уклоны, рифления и т. п.

Шероховатости поверхностей назначают согласно техническим требованиям и условиям работы детали в изделии.

### **Вопросы для самопроверки по разделу «Рабочие чертежи и эскизы деталей. Изображение сборочных единиц, сборочный чертеж изделий. Чертежи общих видов»**

1. Что называется рабочим чертежом детали? Какая информация приводится на рабочем чертеже детали?

2. Чем отличается эскиз детали от его рабочего чертежа?

3. Как правильно выбрать главное изображение детали на чертеже?

4. Чем руководствуются при выборе масштаба изображения детали и формата чертежа?

5. Приведите последовательность выполнения эскиза детали с натуры.

6. Что называется сборочным чертежом и чертежом общего вида? Назначение изображений на сборочном чертеже.

7. Какие упрощения изображений допускаются на сборочном чертеже?

8. Какие правила необходимо соблюдать при постановке номеров позиций на сборочном чертеже?

9. Что такое спецификация? Порядок заполнения спецификации.

10. Что называется детализацией? Назовите последовательность этапов детализации сборочного чертежа.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ

### **1. Теоретические вопросы к экзаменационным билетам (экзамен в 1-м семестре)**

- 1.1. Основные свойства ортогонального проецирования.
- 1.2. Виды проецирования. Ортогональный чертеж.
- 1.3. Построение прямой линии на трех плоскостях проекций.
- 1.4. Прямые частного положения (прямые уровня).
- 1.5. Прямые частного положения (прямые, перпендикулярные основным плоскостям уровня).
- 1.6. Основные плоскости проекций и фигуры, лежащие в них.
- 1.7. Проецирующие плоскости (вертикальные и наклонные) и фигуры в них.
- 1.8. Прямые общего положения, углы их наклона к плоскостям уровня.
- 1.9. Плоскости общего положения. Способы задания на чертеже.
- 1.10. Алгоритм решения задач на пересечение прямой и плоскости.
- 1.11. Гранные поверхности и их изображения на комплексном чертеже.
- 1.12. Поверхности вращения и их изображения на комплексном чертеже.
- 1.13. Алгоритм решения задач на пересечение прямой и поверхности.
- 1.14. Принадлежность линии плоскости и поверхности.
- 1.15. Условия параллельности и перпендикулярности плоскостей на комплексном чертеже.
- 1.16. Способы преобразования чертежа.
- 1.17. Классификация плоских и пространственных кривых.
- 1.18. Пересечение поверхностей.
- 1.19. Развертки поверхностей.
- 1.20. Стандартные аксонометрические проекции.

### **2. Теоретические вопросы к экзаменационным билетам (экзамен во 2-м семестре)**

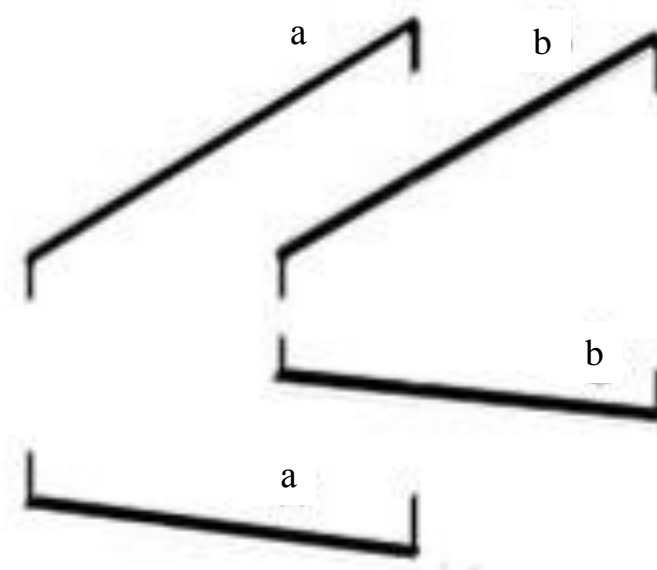
- 2.1. Виды изделий и конструкторских документов.
- 2.2. Изображения – виды.
- 2.3. Изображения – разрезы.
- 2.4. Изображения – сечения.

- 2.5. Изображения – выносные элементы.
- 2.6. Способы нанесения размеров на чертежах.
- 2.7. Резьбовые изделия и соединения.
- 2.8. Разъемные соединения.
- 2.9. Неразъемные соединения.
- 2.10. Крепежные резьбы.
- 2.11. Ходовые резьбы.
- 2.12. Специальные резьбы.
- 2.13. Выполнение эскизов.
- 2.14. Выполнение рабочих чертежей деталей.
- 2.15. Правила выполнения спецификации.
- 2.16. Порядок выполнения сборочного чертежа.
- 2.17. Условности и упрощения на сборочных чертежах.
- 2.18. Особенности нанесения размеров и позиций на сборочном чертеже.
- 2.19. Чтение чертежа общего вида.
- 2.20. Детализирование чертежа общего вида.

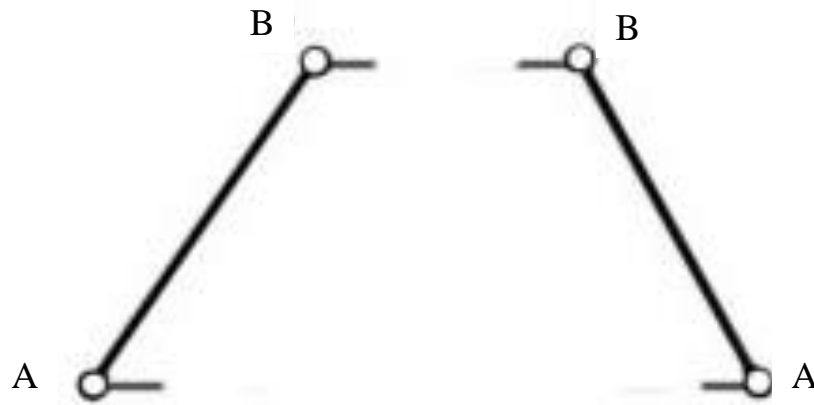
### 3. Задачи экзаменационных билетов по темам

#### 3.1. Задание геометрических объектов на чертеже

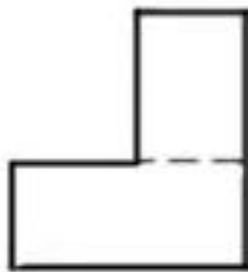
1. Построить профильную проекцию плоскости Б (a/b).



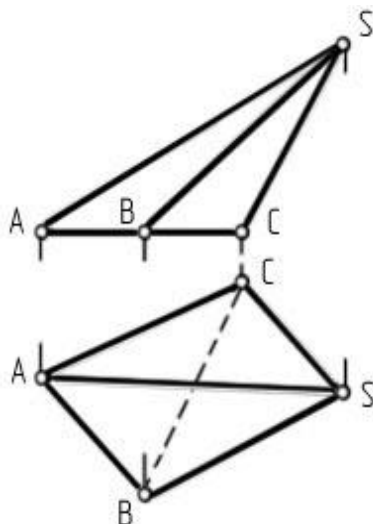
2. Построить горизонтальную проекцию отрезка АВ, используя базы отсчета.



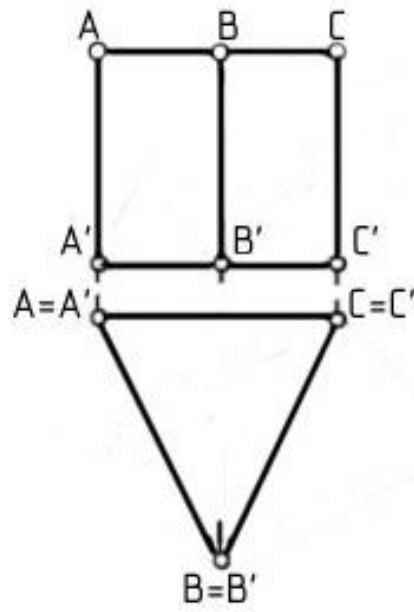
3. Построить профильную проекцию фигуры.



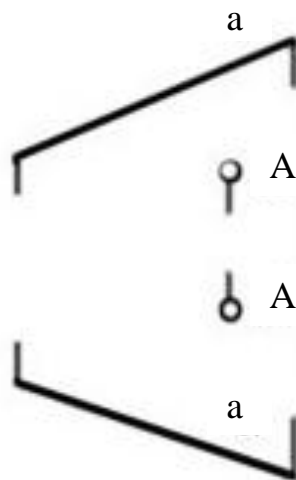
4. Построить профильную проекцию пирамиды.



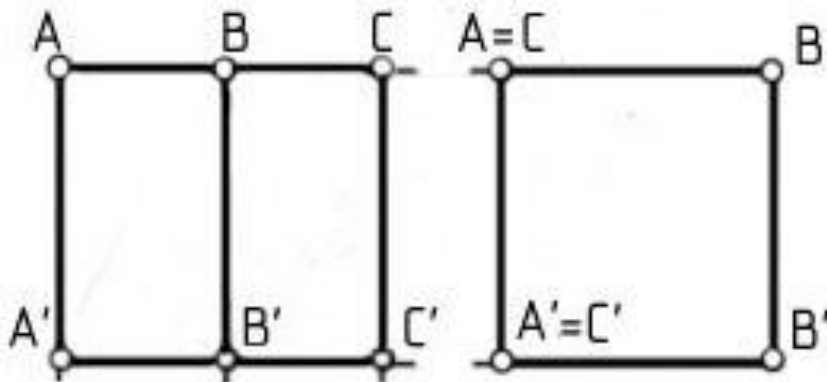
5. Построить профильную проекцию призмы.



6. Построить профильную проекцию плоскости Б (а, А).

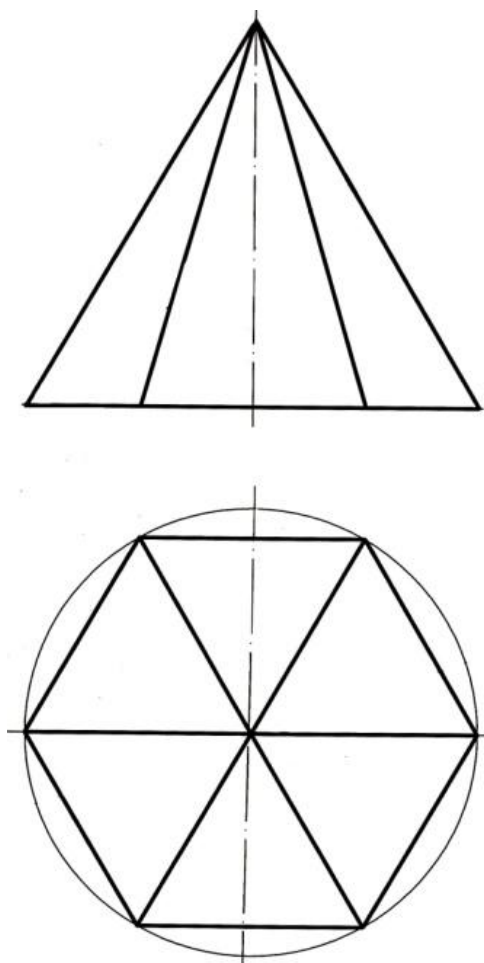


7. Построить горизонтальную проекцию призмы.

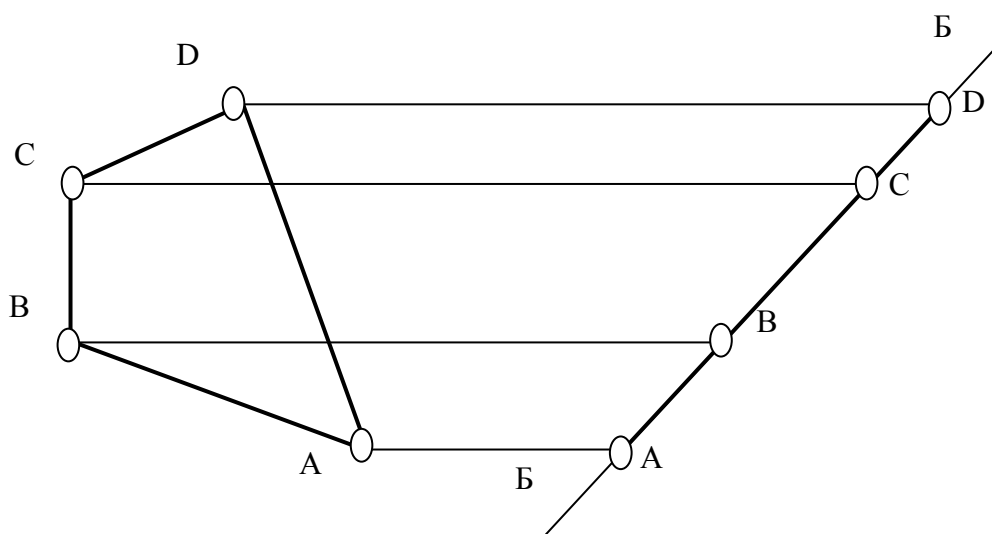




8. Построить профильную проекцию пирамиды.

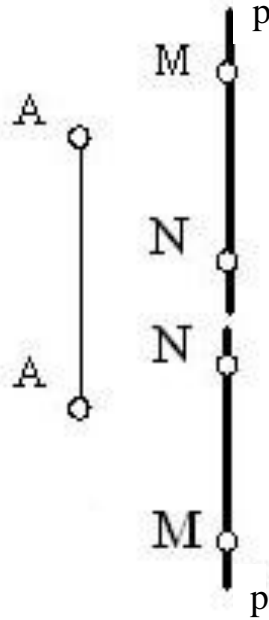


9. Построить горизонтальную проекцию профильно-проецирующей плоскости ABCD.

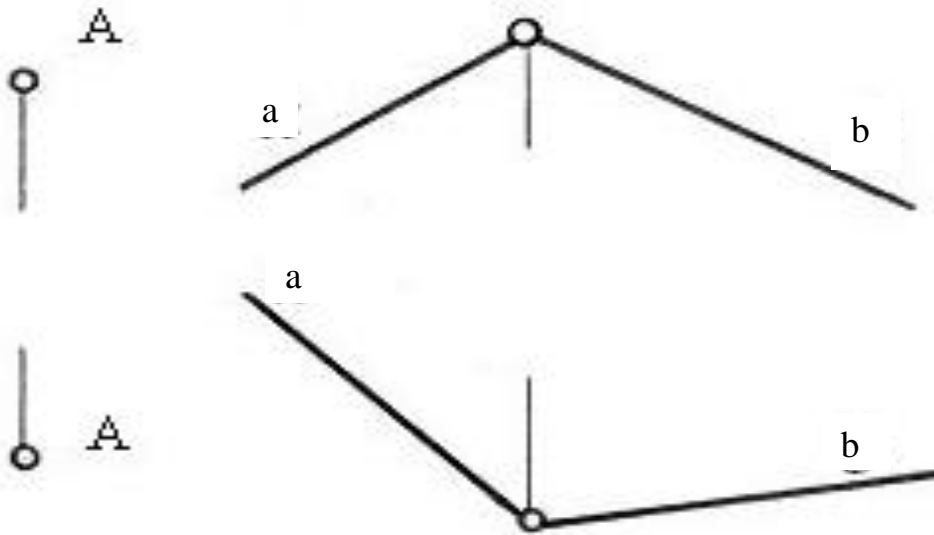


### 3.2. Позиционные задачи

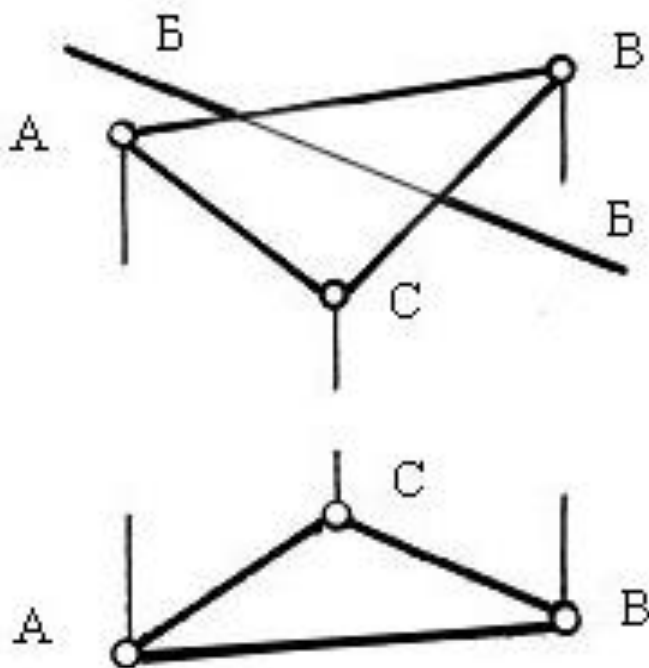
1. Через точку  $A$  провести горизонталь  $h$  и фронталь  $f$ , пересекающие профильную прямую  $p$ .



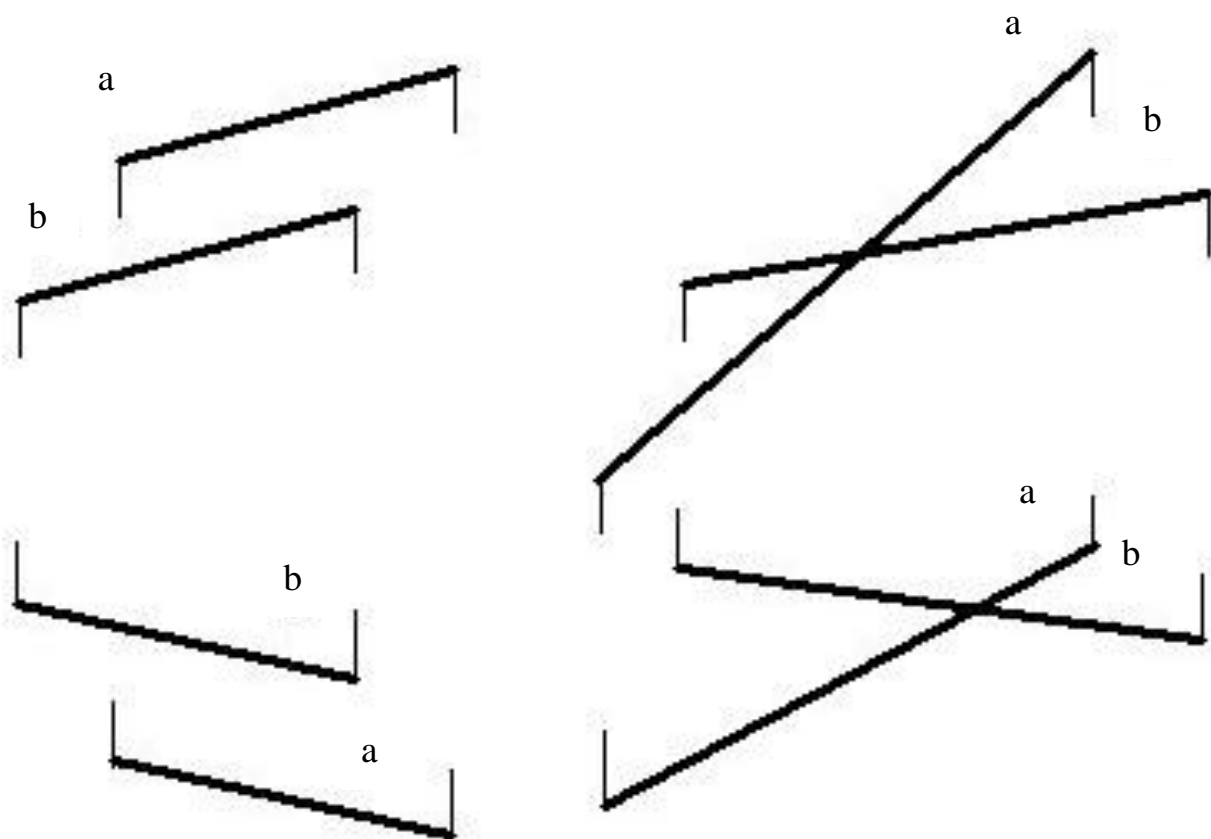
2. Через точку  $A$  провести прямую параллельную плоскости  $B$  ( $a//b$ ) и горизонтальной плоскости проекций.



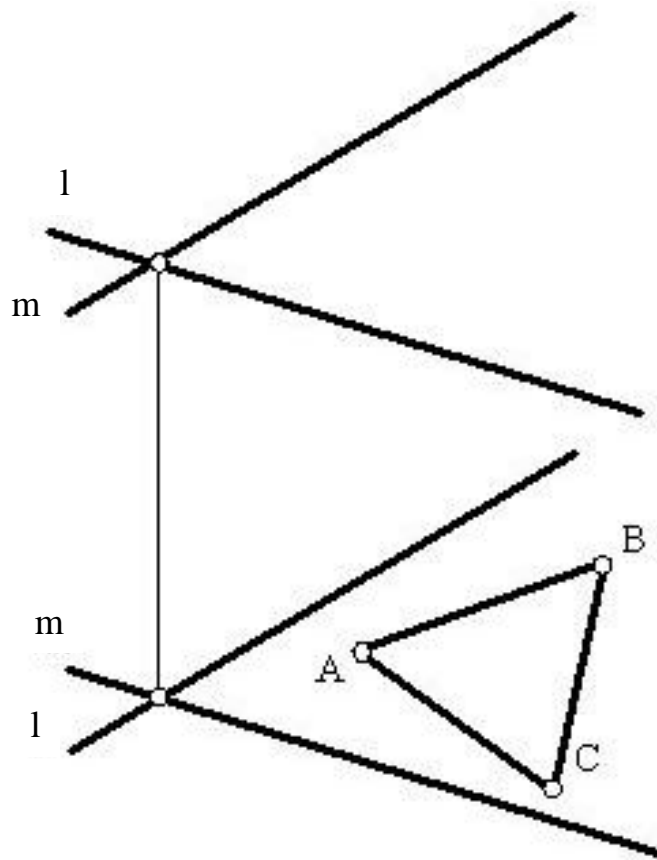
3. Построить прямую пересечения фронтально-проецирующей плоскости Б с плоскостью общего положения Д ( $\triangle ABC$ ).



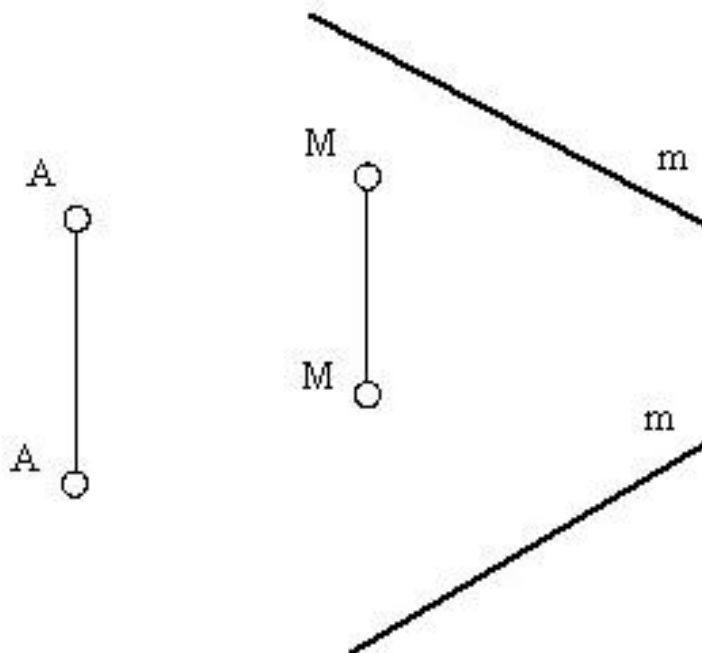
4. Определить взаимное положение двух прямых.



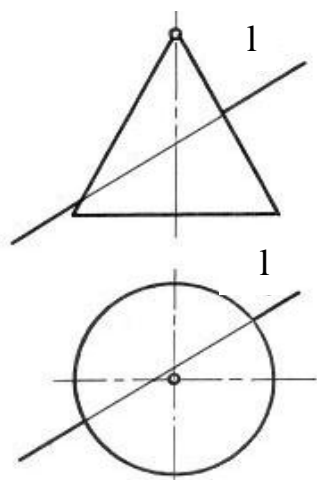
5. Достроить недостающий вид  $\triangle ABC \subset \text{пл. } B (l \cap m)$ .



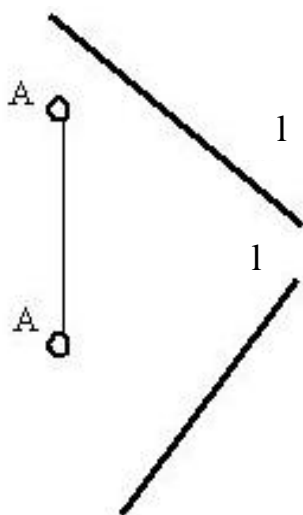
6. Через точку A провести прямую l, параллельную плоскости B (M, m) и горизонтальной плоскости проекций.



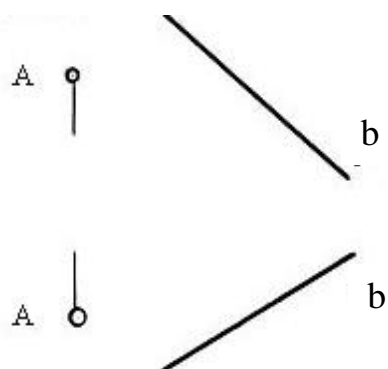
7. Построить точки пересечения прямой  $l$  с поверхностью конуса.



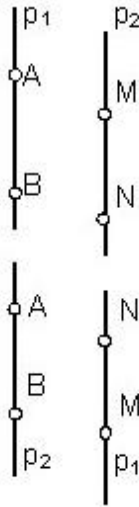
8. Через точку  $A$  провести горизонталь  $h$  и фронталь  $f$ , пересекающие прямую  $l$ .



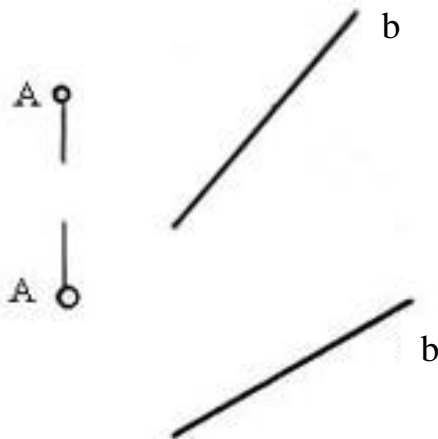
9. Через точку  $A$  провести прямые таким образом, чтобы одна из них пересекалась, другая скрещивалась, а третья была бы параллельна данной прямой  $b$ .



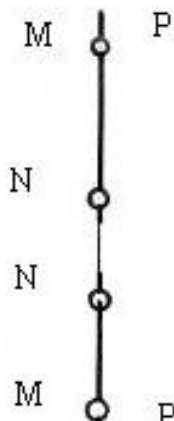
10. Определить взаимное расположение прямых профильного положения  $p_1$  и  $p_2$ .



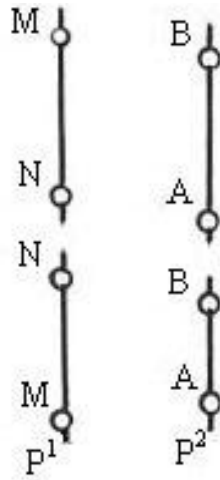
11. Через точку  $A$  провести прямые таким образом, чтобы одна из них пересекалась, другая скрещивалась, а третья была бы параллельна данной прямой  $b$ .



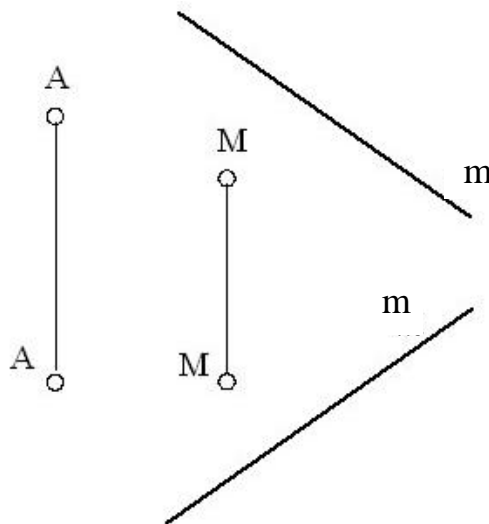
12. Построить точки  $A$ ,  $B$  и  $C$  на, перед и за прямой  $p$  ( $M$ ,  $N$ ) соответственно.



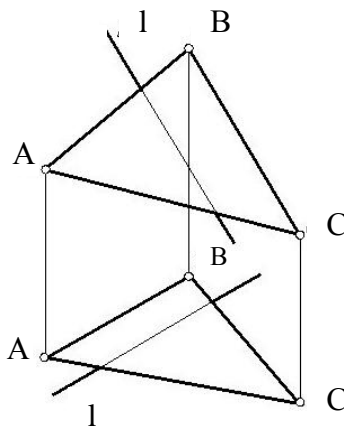
13. Определить положение профильных прямых  $p^1(M, N)$  и  $p^2(A, B)$ .



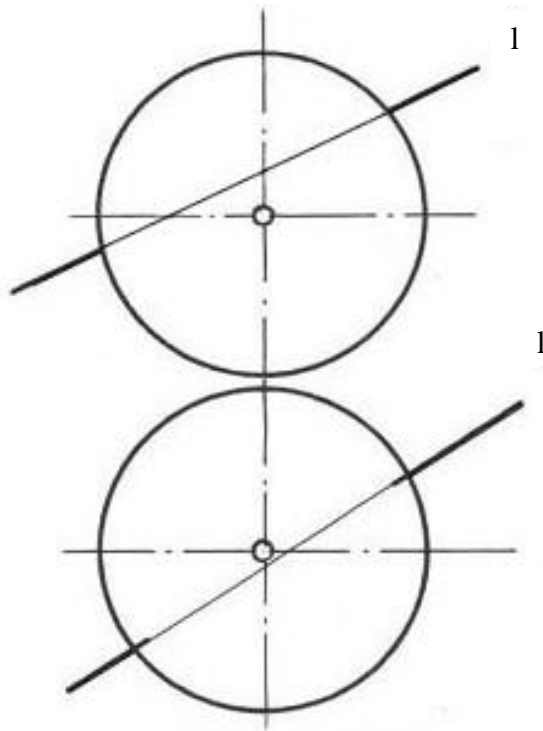
14. Через точку  $A$  провести прямую, параллельную горизонтальной плоскости проекций и заданной плоскости  $B(M, m)$ .



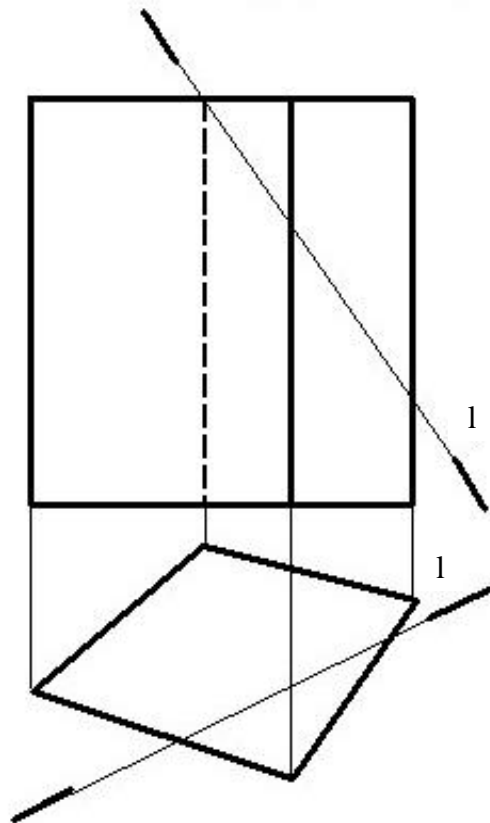
15. Определить взаимное положение прямой  $l$  и плоскости  $B(\triangle ABC)$ .  
Определить видимость чертежа.



16. Построить точки пересечения прямой  $l$  со сферой.

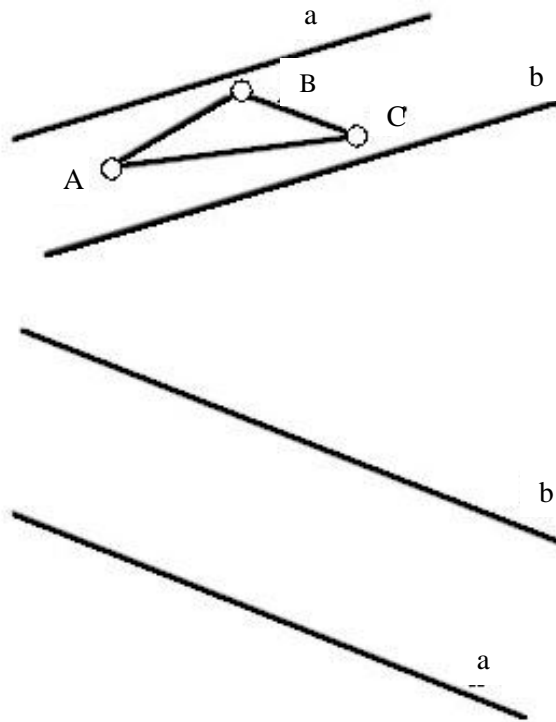


17. Построить точки  $M$  и  $N$  пересечения прямой  $l$  общего положения с четырехугольной призмой.

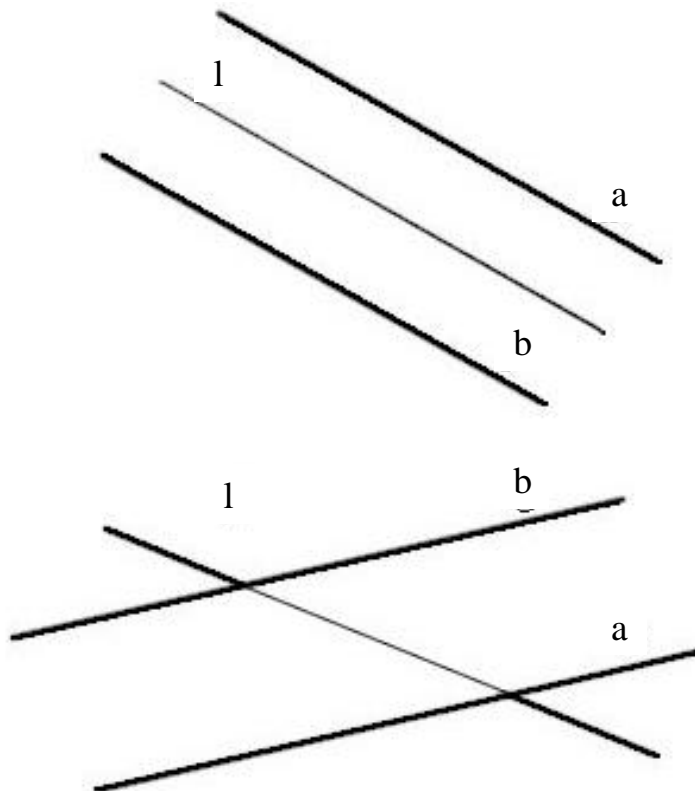




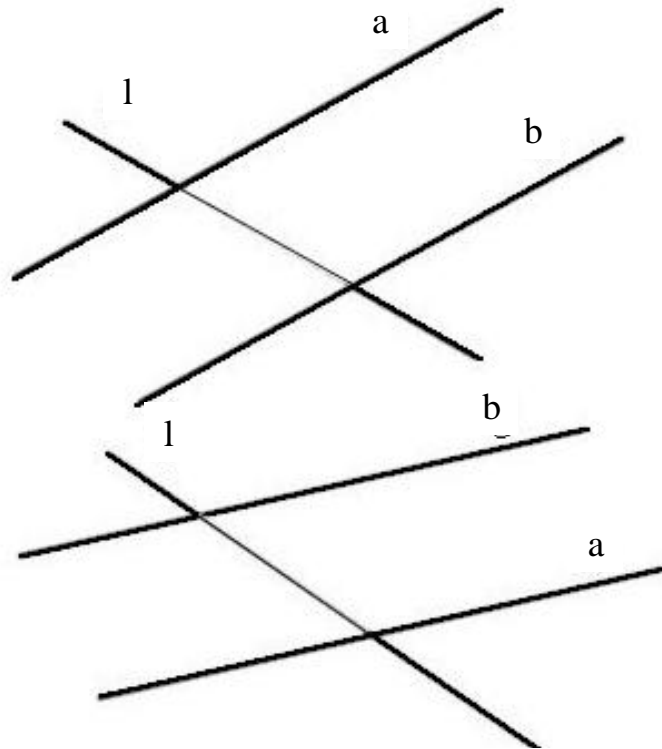
18. Достроить недостающий вид  $\triangle ABC$ , принадлежащего пл. Б ( $a/b$ ).



19. Найти точки пересечения прямой  $l$  с плоскостью Б ( $a/b$ ), определить видимость чертежа.

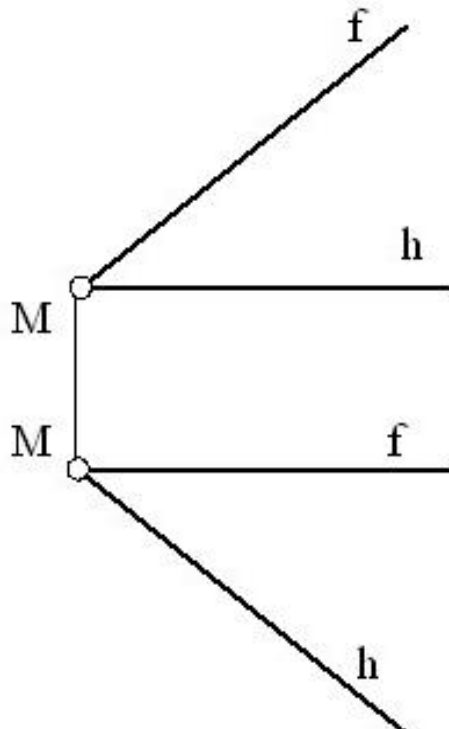


20. Найти точки пересечения прямой  $l$  с плоскостью  $B$  ( $a//b$ ), определить видимость чертежа.

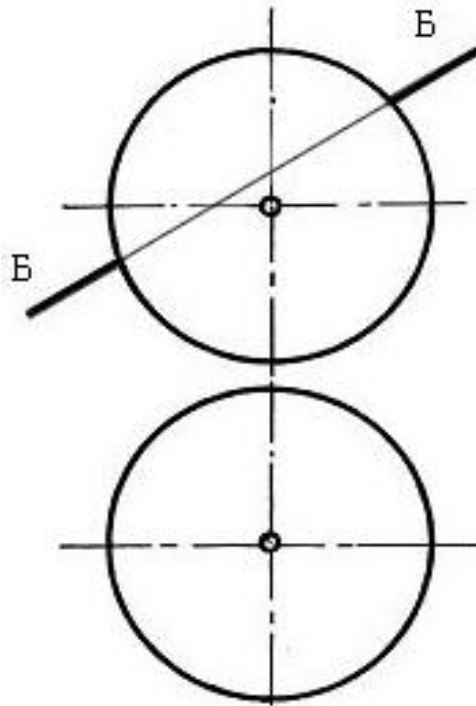


### 3.3. Метрические задачи

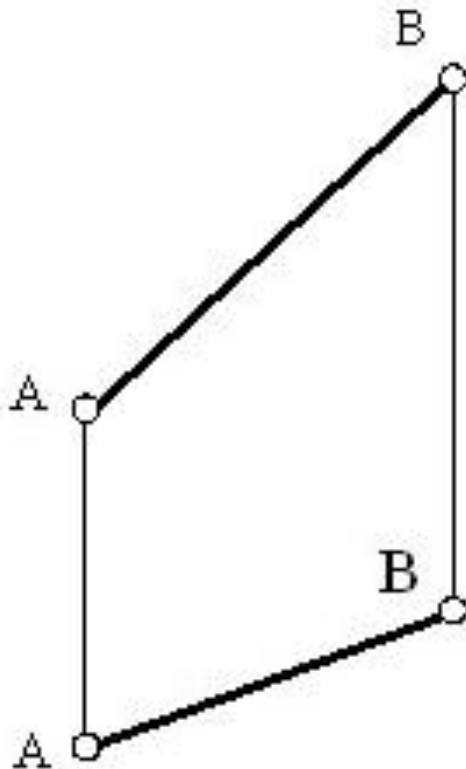
1. В точке  $M$  плоскости  $B(h \cap f)$  восстановить перпендикуляр длиной 40 мм.



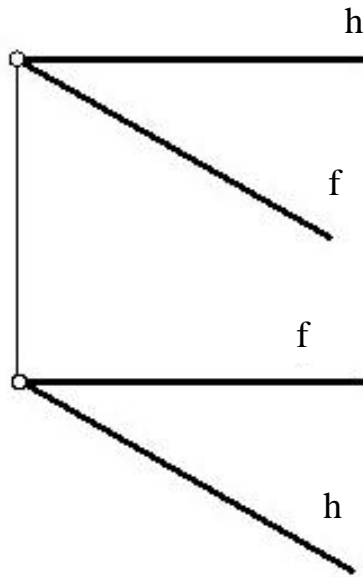
2. Построить сечение сферы наклонной плоскостью Б и определить его натуральную величину.



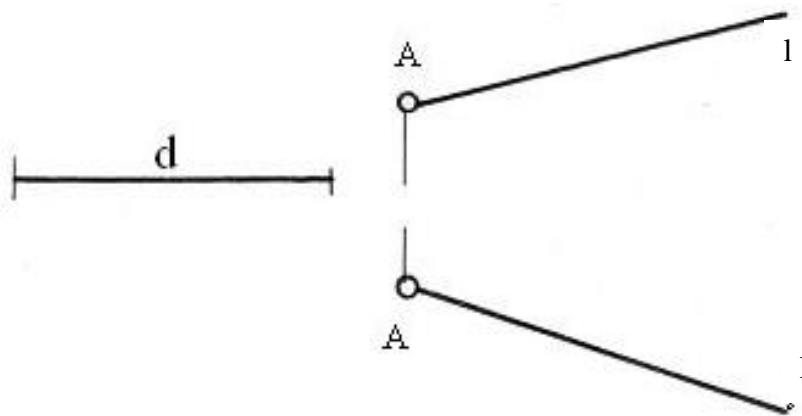
3. Определить натуральную величину отрезка АВ и угол его наклона к горизонтальной плоскости уровня.



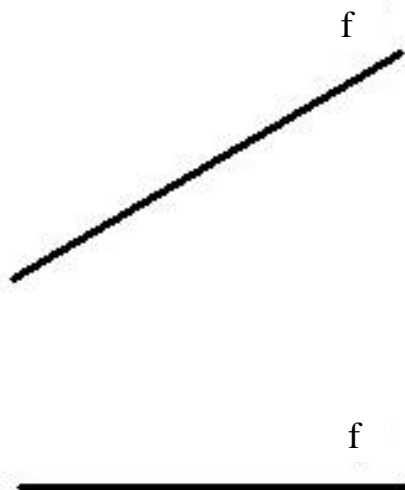
4. Построить перпендикуляр к плоскости  $B(h \cap f)$



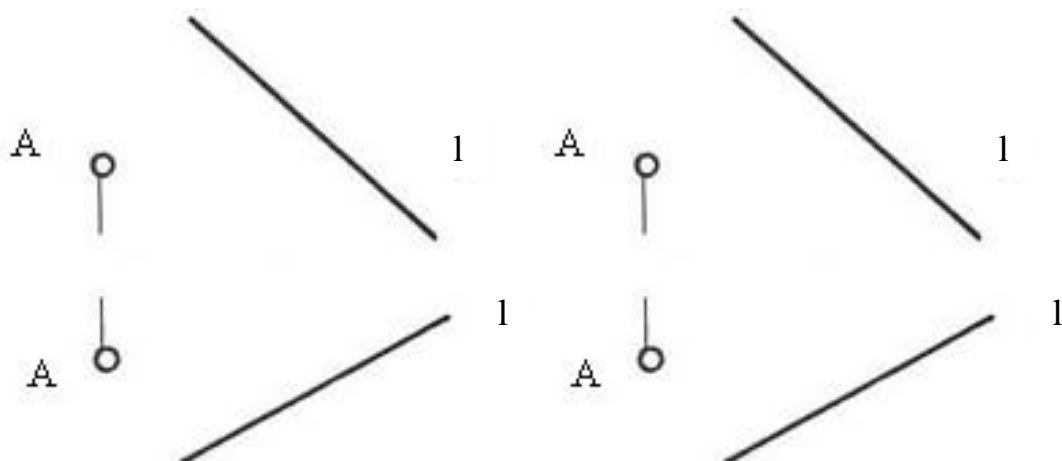
5. На прямой  $l$  от точки  $A$  отложить отрезок, равный  $d$ .



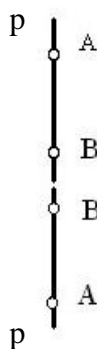
6. Определить угол наклона прямой  $f$  к горизонтальной и фронтальной плоскостям проекций.



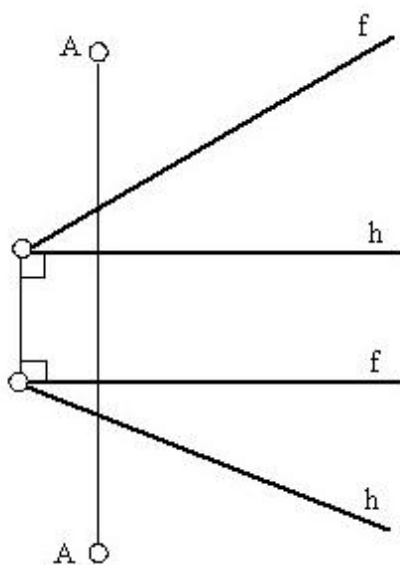
7. Определить расстояние от точки  $A$  до прямой  $l$ .



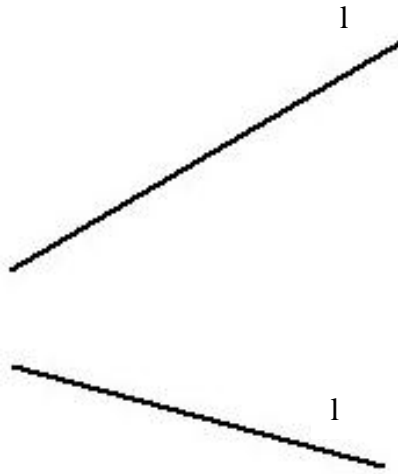
8. Определить натуральную величину отрезка  $AB$  профильной прямой  $p$  и угол его наклона к фронтальной плоскости.



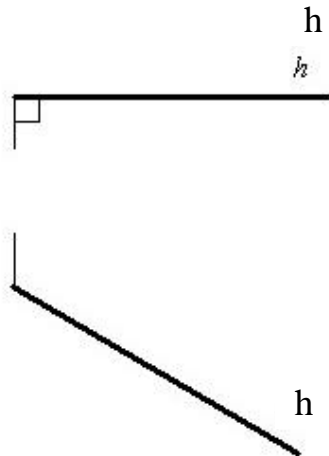
9. Определить кратчайшее расстояние от точки  $A$  до плоскости  $B$  ( $f \cap h$ ).



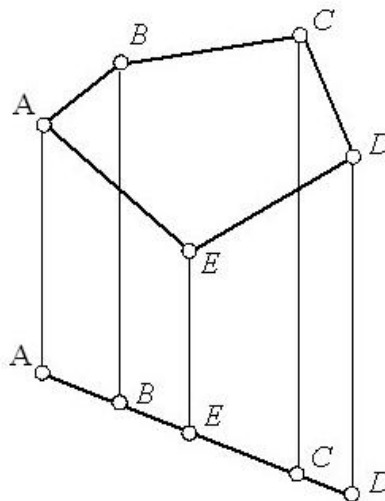
10. Определить угол наклона прямой  $l$  к горизонтальной плоскости проекций.



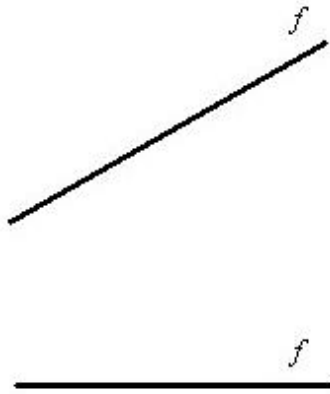
11. Определить угол наклона прямой  $h$  к фронтальной плоскости проекций.



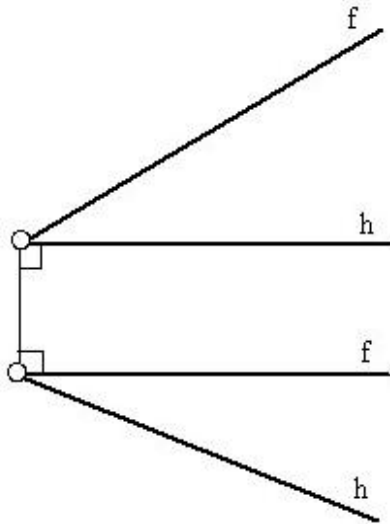
12. Определить натуральную величину пятиугольника  $ABCDE$ .



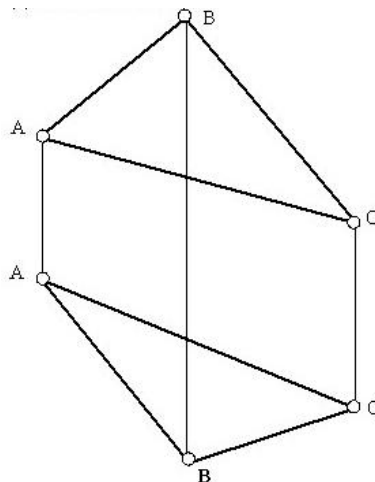
13. Определить угол наклона прямой  $f$  к горизонтальной и профильной плоскостям проекций.



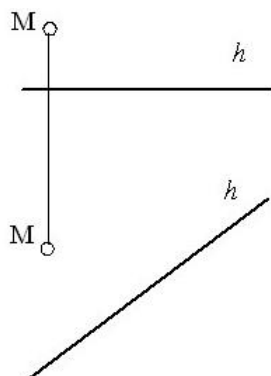
14. Определить натуральную величину угла между горизонталью  $h$  и фронталью  $f$ .



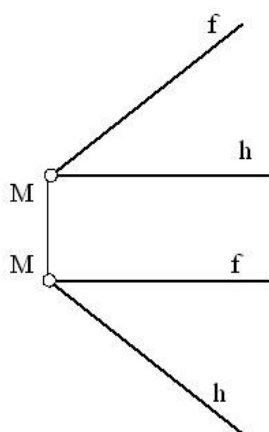
15. В точке  $C$  плоскости  $B(\triangle ABC)$  восстановить перпендикуляр длиной 25 мм.



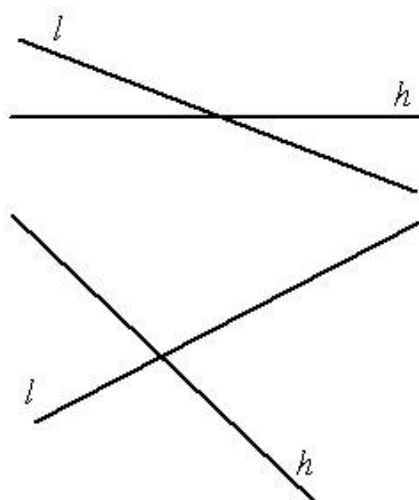
16. Определить кратчайшее расстояние от точки  $M$  до горизонтали  $h$ .



17. В точке  $M$  плоскости  $B$  ( $h \cap f$ ) восстановить перпендикуляр длиной 30 мм.

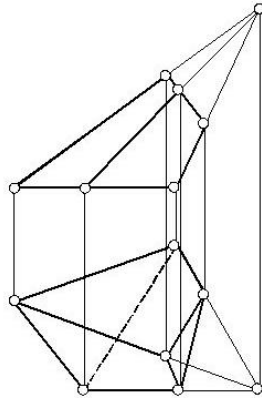


18. Определить расстояние между прямой  $l$  и горизонталью  $h$ .



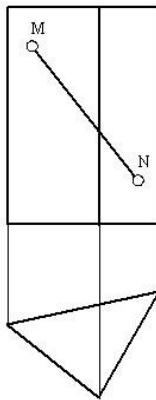


19. Построить натуральную величину верхнего основания усеченной пирамиды.

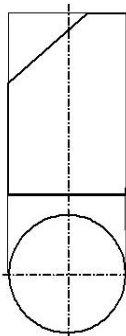


### 3.4. Кривые линии и поверхности

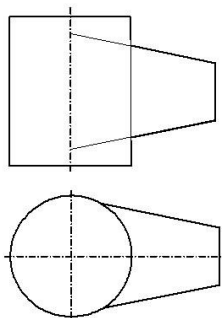
1. Построить развертку призмы и нанести на нее линию MN, принадлежащую поверхности призмы.



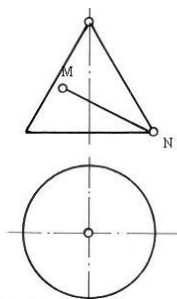
2. Построить развертку усеченного цилиндра вращения.



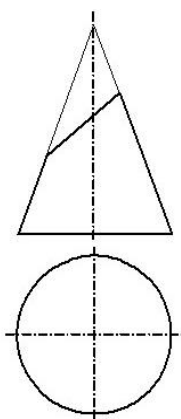
3. Построить линию пересечения цилиндра вращения и усеченного конуса вращения.



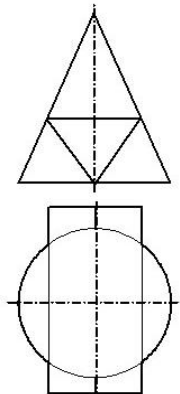
4. Построить развертку конической поверхности и нанести на ней линию MN.



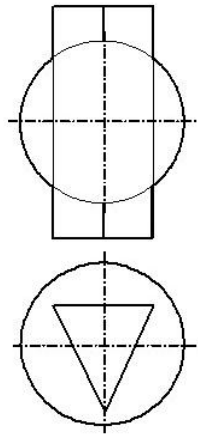
5. Построить развертку усеченной конической поверхности.



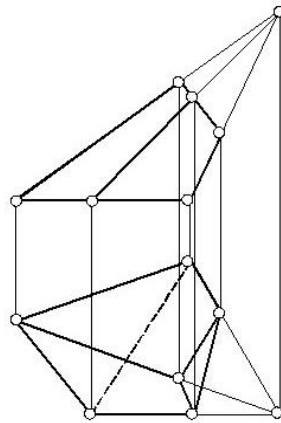
6. Построить линию пересечения поверхности конуса вращения с треугольной призмой.



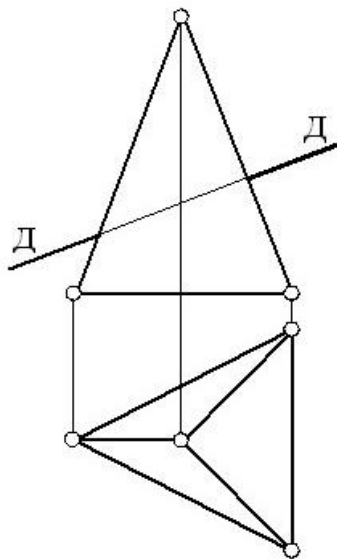
7. Построить линию пересечения сферы с призмой.



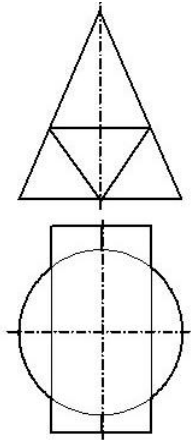
8. Построить развертку поверхности усеченной пирамиды.



9. Построить развертку пирамиды и нанести на нее линию пересечения пирамиды с наклонной плоскостью Д.

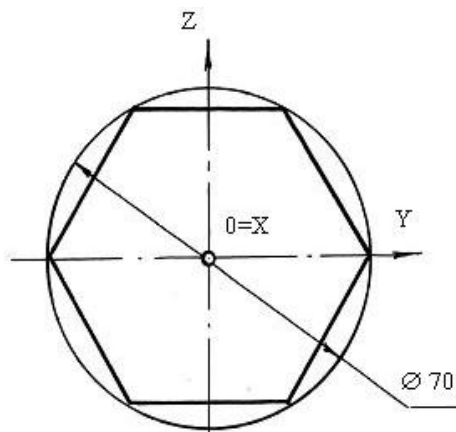


10. Построить развертку призмы и нанести на нее линию пересечения с конусом вращения.

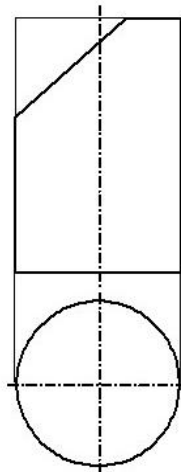


### 3.5. Аксонометрические проекции

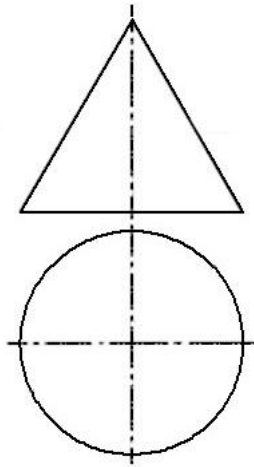
1. Построить прямоугольную изометрию шестиугольника, расположенного в координатной плоскости ZOY.



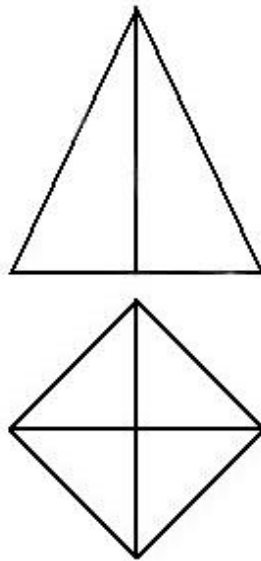
2. Построить прямоугольную изометрию цилиндра вращения.



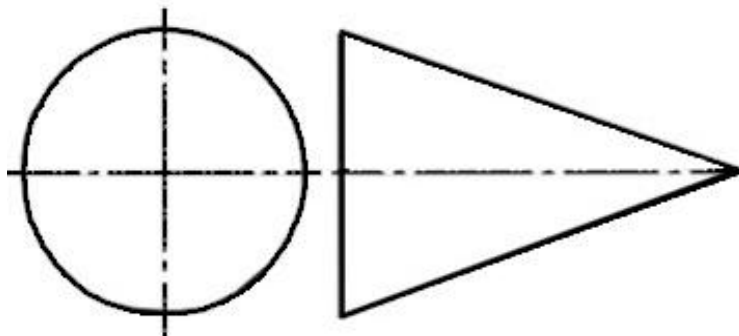
3. Построить прямоугольную диметрию прямого кругового конуса.



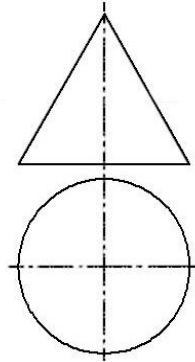
4. Построить прямоугольную диметрию четырехугольной пирамиды.



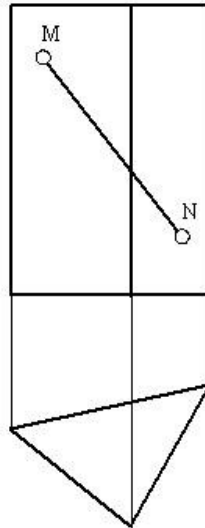
5. Построить фронтальную диметрию конуса вращения.



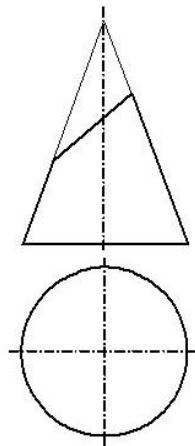
6. Построить прямоугольную изометрию прямого кругового конуса.



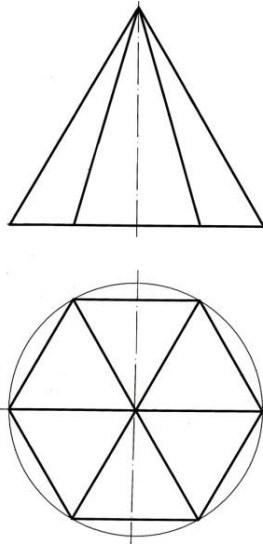
7. Построить прямоугольную изометрию призмы и линии MN на ее поверхности.



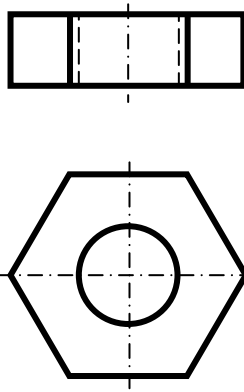
8. Построить прямоугольную изометрию усеченного прямого кругового конуса.



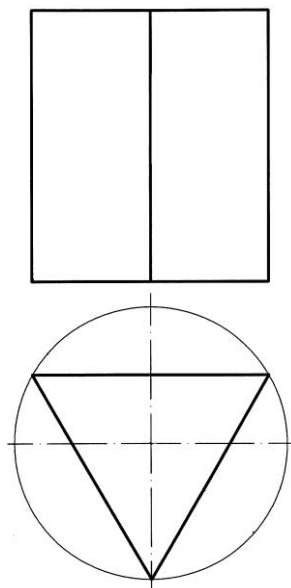
9. Построить прямоугольную изометрию шестиугольной пирамиды.



10. Построить прямоугольную изометрию призмы с отверстием.



11. Построить прямоугольную диметрию призмы.



Валентин Иванович Горячёв  
Татьяна Петровна Кузнецова  
Игорь Иванович Михеев

**Начертательная геометрия и инженерная графика**  
**(базовые знания дидактических единиц)**

*Учебное пособие*

Редактор М.Б. Юдина  
Корректор Ю.А. Якушева  
Технический редактор Ю.Ф. Воробьёва

---

Подписано в печать 13.11.2017

Формат 60 x 84/16

Физ. печ. л. 11,5

Тираж 300 экз. (1-й завод 1–100)

Усл. печ. л. 10,7

Заказ № 67

Бумага писчая

Уч.-изд. л. 10,005

С – 66

---

Редакционно-издательский центр  
Тверского государственного технического университета  
170026, Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22