

# Инженерная графика

Щербинин В.В

28 октября 2019 г.

## Введение

ЕСКД – единая система конструкторской документации (устанавливает взаимосвязь правил по оформлению, конструированию, обращению конструкторской документации)

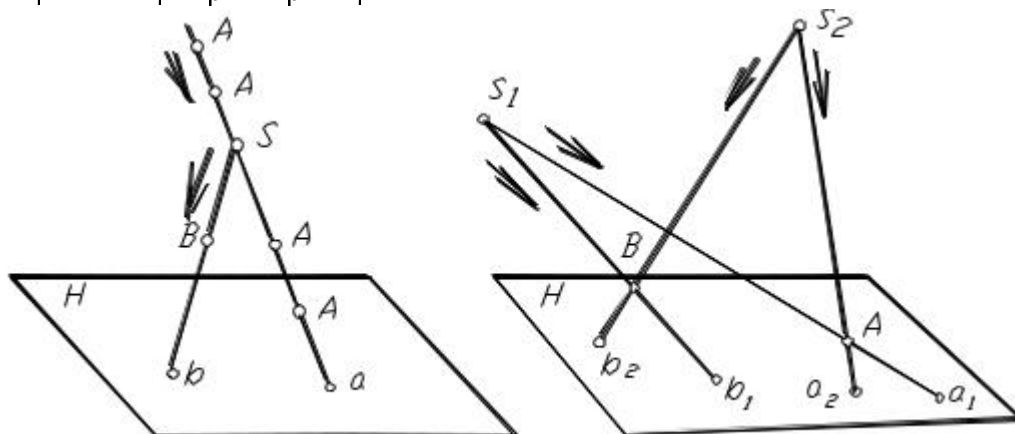
"+":

1. Возможность обмена конструкторской документации между предприятиями.
2. Стабилизация комплектности, исключая дублирование документов.
3. Возможность обеспечивать унификации при конструировании, разработке, проектировании коммерческих изделий
4. Упрощенная форма конструкторской документации.
5. Механизм и автоматизм обработки технической документации.

# 1 Методы проекции

## 1.1 Центральная проекция

Для получения центральных проекций необходимо задаться плоскостью проекций  $H$  и центром проекций  $S$ .



Центр проекций действует как точечный источник света, испуская проецирующие лучи. Точки пересечения проецирующих лучей с плоскостью проекций  $H$  называются проекциями. Проекций не получается, когда центр проецирования лежит в данной плоскости или проецирующие лучи параллельны плоскости проекций.

Свойства центрального проецирования:

1. Каждая точка пространства проецируется на данную плоскость проекций в единственную проекцию.
2. В то же время каждая точка на плоскости проекций может быть проекцией множества точек, если они находятся на одном проецирующем луче
3. Прямая, не проходящая через центр проецирования, проецируется прямой (проецирующая прямая – точкой).
4. Плоская (двумерная) фигура, не принадлежащая проецирующей плоскости, проецируется двумерной фигурой (фигуры, принадлежащие проецирующей плоскости, проецируются вместе с ней в виде прямой).
5. Трехмерная фигура отображается двумерной.

Глаз, фотоаппарат являются примерами этой системы изображения. Одна центральная проекция точки не дает возможность судить о положении самой Точки в пространстве, и поэтому в техническом черчении это проецирование почти не применяется. Для определения положения точки при данном способе необходимо иметь две ее центральные проекции, полученные из двух различных центров. Центральные проекции применяют для изоб-

ражения предметов в перспективе. Изображения в центральных проекциях наглядны, но для технического черчения неудобны.

## 1.2 Параллельная проекция и их свойства

Параллельное проецирование – частный случай центрального проецирования, когда центр проецирования перемещен в несобственную точку, т.е. в бесконечность. При таком положении центра проекций все проецирующие прямые будут параллельны между собой. В связи с параллельностью проецирующих прямых рассматриваемый способ называется параллельным, а полученные с его помощью проекции – параллельными проекциями. Аппарат параллельного проецирования полностью определяется положением плоскости проецирования ( $H$ ) и направлением проецирования.

Свойства параллельного проецирования:

1. При параллельном проецировании сохраняются все свойства центрального проецирования, а также возникают новые:
2. Для определения положения точки в пространстве необходимо иметь две ее параллельные проекции, полученные при двух различных направлениях проецирования.
3. Параллельные проекции взаимно параллельных прямых параллельны, а отношение длин отрезков таких прямых равно отношению длин их проекций.
4. Если длина отрезка прямой делится точкой в каком-либо отношении, то и длина проекции отрезка делится проекцией этой точки в том же отношении.
5. Плоская фигура, параллельная плоскости проекций, проецируется при параллельном проецировании на эту плоскость в такую же фигуру.

Параллельное проецирование, как и центральное, при одном центре проецирования, также не обеспечивает обратимости чертежа.

Применяя приемы параллельного проецирования точки и линии, можно строить параллельные проекции поверхности и тела.

## 1.3 Прямоугольное (ортогональное) проецирование

Прямоугольное проецирование – это частный случай параллельного проецирования при котором проецирующие прямые перпендикулярны плоскости проекции и параллельны друг-другу.

Ортогональные проекции двух взаимно перпендикулярных прямых, одна из

которых параллельны плоскости проекций а другая не перпендикулярна ей взаимно перпендикулярны.

Преимущества:

1. простота
2. при ортогональном проецировании, при ряде условий удастся сохранить форму и размеры фигуры.

#### 1.4 Проецирование на две взаимно перпендикулярные плоскости проекции

Обратимость чертежа может быть обеспечена проецированием на две плоскости проекции.

Состоит из фронтальной и горизонтальной плоскостей проекций, а линия пересечения называется осью проекции и называется  $x$  или  $v/h$ .

В некоторых случаях удобней использовать

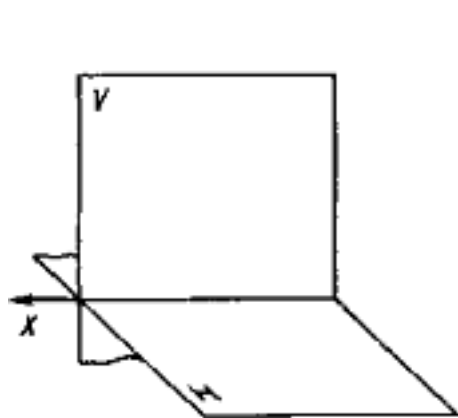


Рис. 1.11

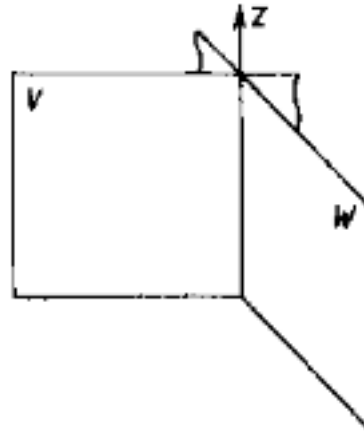


Рис. 1.12

состоит из фронтальной и профильной плоскостей проекций, ось пересечения называется  $v/w$ .

Горизонтальные проекции точки называют прямоугольной проекцией точки на горизонтальную плоскость проекции.

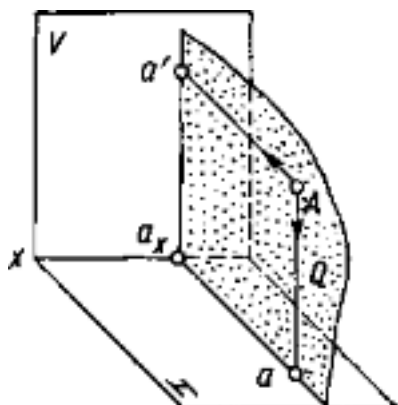


Рис. 1.13

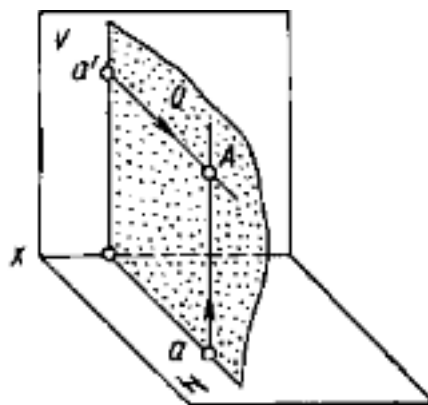


Рис. 1.14

обозначения:  $a$  на  $h$ ,  $a'$  на  $v$  для точки  $A$

плоскость  $Q$  перпендикулярна плоскостям проекции и пересекает ось проекции  $x$

Для того чтобы восстановить положение  $A$  необходимо восстановить перпендикуляры к плоскостям проекций в  $a$  и  $a'$ , на пересечении перпендикуляров находится точка  $A$

Две параллельные проекции точки на различные плоскости проекции вполне определяют ее положение в пространстве, а значит проецирование на две ортогональные плоскости проекции обеспечивает обратимость чертежа для точки.

Эпюры Моджа:

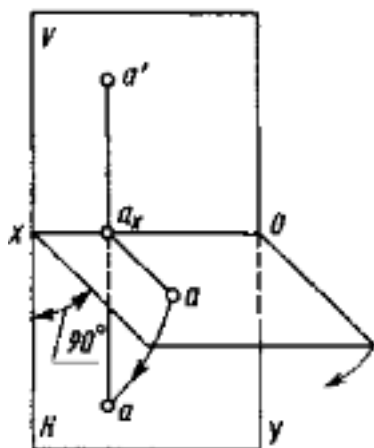


Рис. 1.15

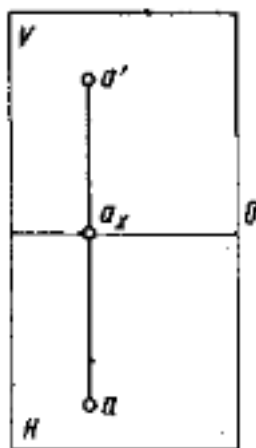


Рис. 1.16

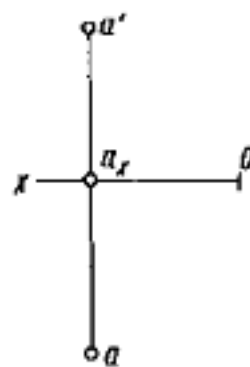


Рис. 1.17

Отрезок  $a'a$  называется линией связи

## 1.5 Проецирование на три взаимно перпендикулярные плоскости проекции

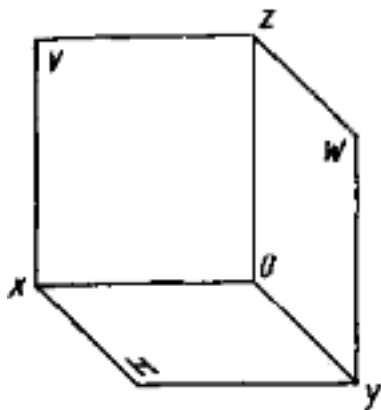


Рис. 1.18

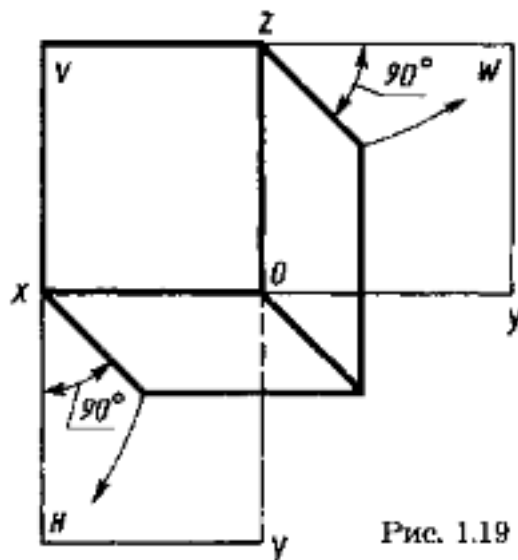


Рис. 1.19

называется V,H,W. Точка O - пересечение трех проекций.

Принято разрезать ось y

!!!Помнить про чертову прямую -45 градусов  
При параллельных прямых все их проекции параллельны!!!

## 2 Глава. Проецирование отрезка прямой линии

### 2.1 Проецирование отрезка прямой линии и деление его в заданном отношении

Отрезки  $a_p$   $b_p$  лежат в некоторой плоскости Q, эта плоскость перпендикулярна плоскости P, прямая, по которой плоскость Q пересекает плоскость P содержит точки AB

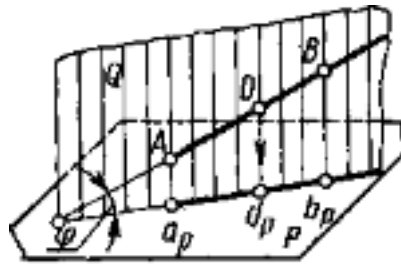


Рис. 2.1

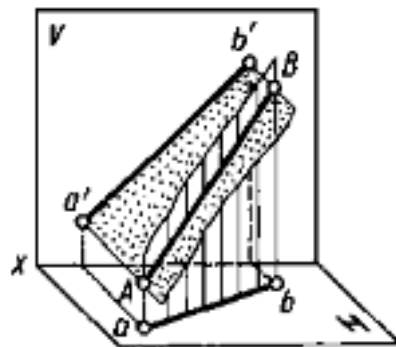


Рис. 2.2

если точка принадлежит никакому отношению то ее проекции принадлежат одноименным проекциям отрезка и делят их в одном и том же отношении.

## 2.2 Положение прямой линии относительно плоскостей проекции. Особые случаи положения прямой

1. прямая не параллельна ни одной из плоскостей проекции (прямая общего положения)
2. прямая параллельна одной из плоскостей проекции или ей принадлежит (прямая частного положения)
3. параллельна двум плоскостям проекции и перпендикулярна третьей (прямая частного положения)

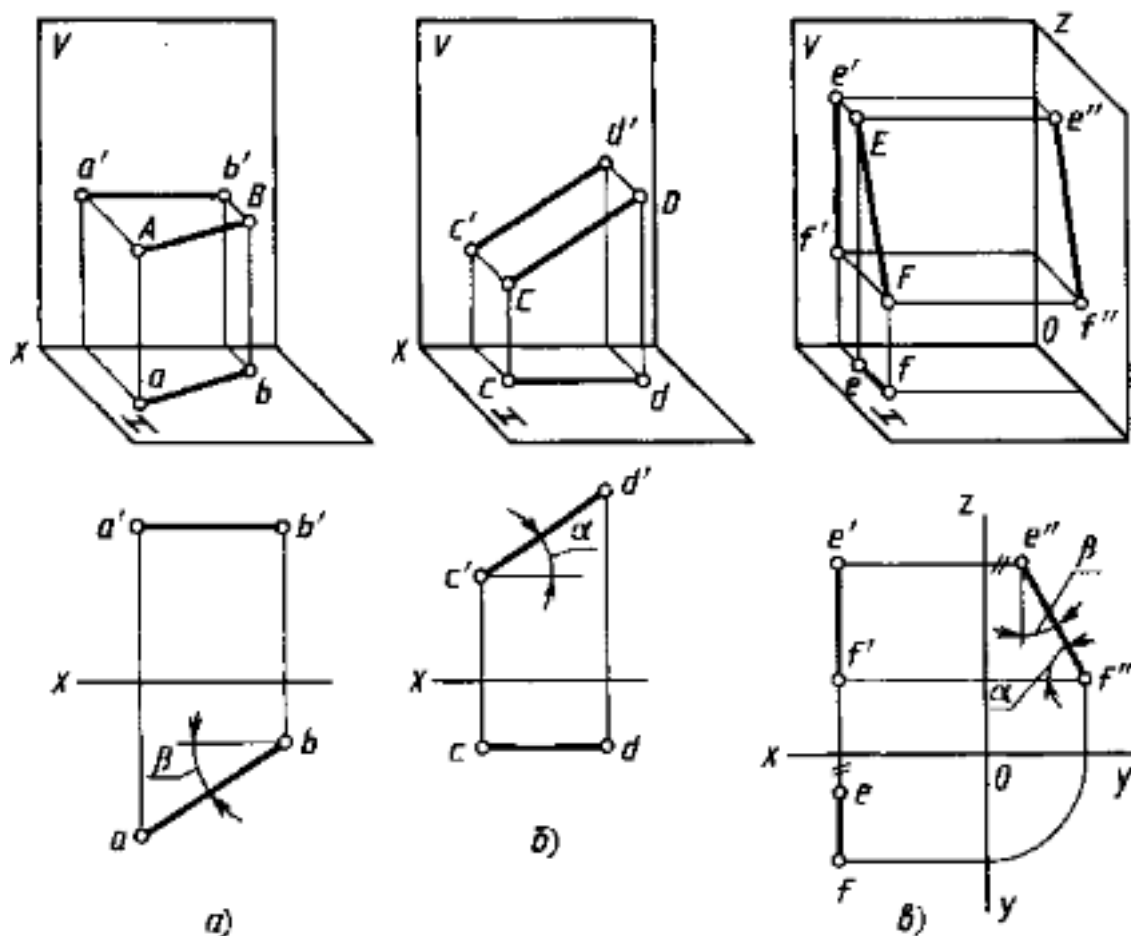


Рис. 2.5

Соответственно называется фронтальной или профильной прямой (в зависимости какой параллельна плоскости).

Если прямая перпендикулярна одной из плоскостей проекции то она называется проецирующей для этой плоскости (горизонтально, фронтально, профильно проецирующей)

Проецирующая прямая проецируется на соответствующую плоскость проекции в точку.



### 2.3 Определение натуральной величины прямой, общего положения и углов его наклона к плоскостям проекции

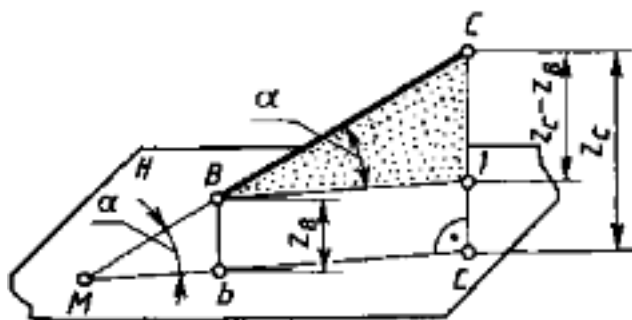


Рис. 2.8

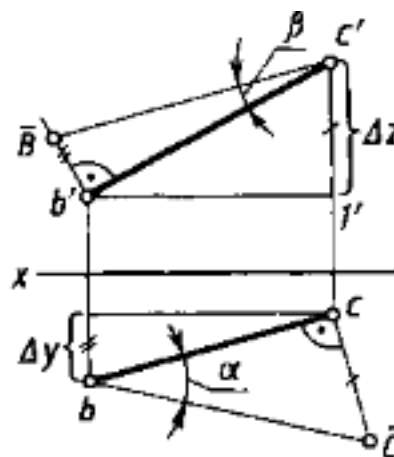


Рис. 2.9

Итак, натуральную величину отрезка определяют как гипотенузу прямоугольного треугольника, одним из катетов которого является горизонтальная (фронтальная) проекция отрезка, другим — разность координат концов отрезка до горизонтальной (фронтальной) плоскости проекций. Этот метод иногда называют способом прямоугольного треугольника.

Угол между прямой и плоскостью проекций определяется как угол между прямой и ее проекцией на эту плоскость

## 2.4 Взаимное положение прямой

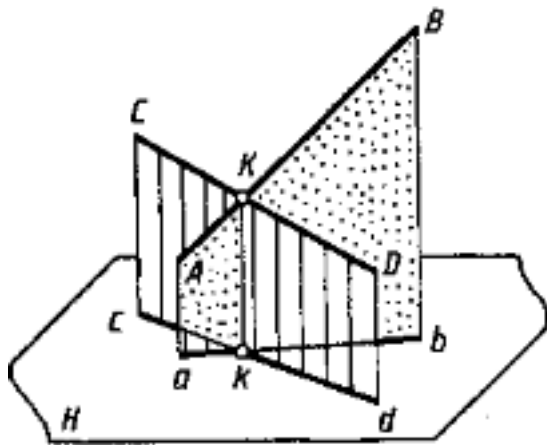


Рис. 2.10

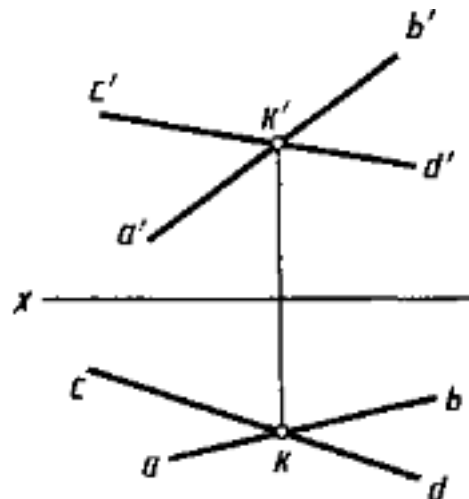


Рис. 2.11

Пересекающиеся прямые – если прямые пересекаются то их одноименные проекции пересекаются между собой а проекции точек пересечения лежат на одной линии связи. В системе VH справедливо для всех прямых кроме профильных и обратное утверждение, если точки пересечения одноименных проекций прямых лежат на одной линии связи то прямые пересекаются.

$$\frac{b'm'}{a'm'} = \frac{bm}{am}$$

$$\frac{c'm'}{a'm'} = \frac{cm}{am}$$

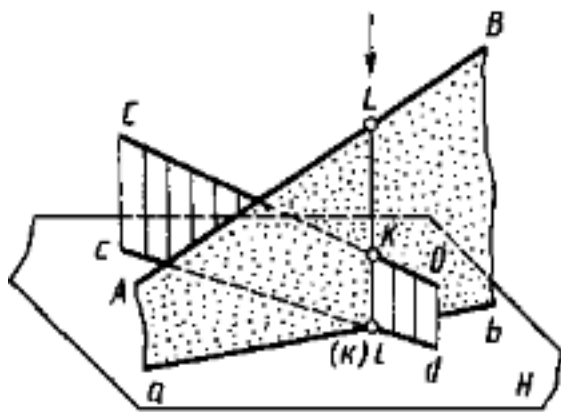


Рис. 2.22

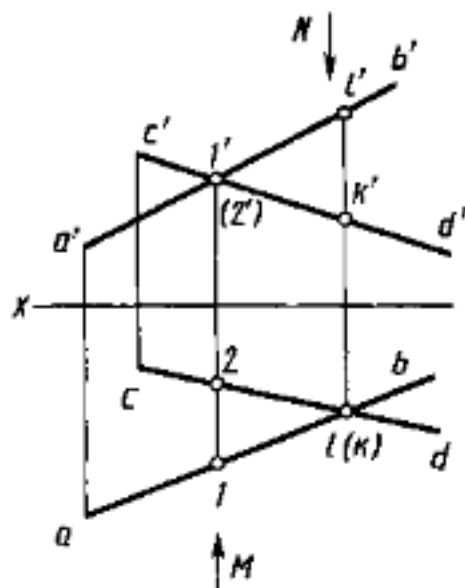


Рис. 2.23

Параллельные прямые – если прямые параллельны то их одноименные проекции параллельны между собой. Для прямых общего положения справедливо и обратное, если проекции прямых общего положения в системе двух плоскостей проекции параллельны то сами прямые также параллельны. Если одноименные проекции прямых параллельны одной из осей проекции то прямые параллельны при условии параллельности одноименных проекций на той плоскости проекций которой параллельны прямые.

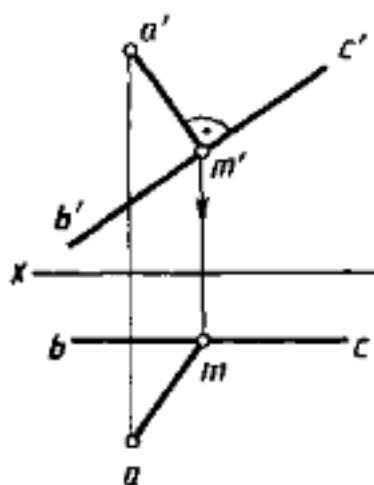


Рис. 2.17

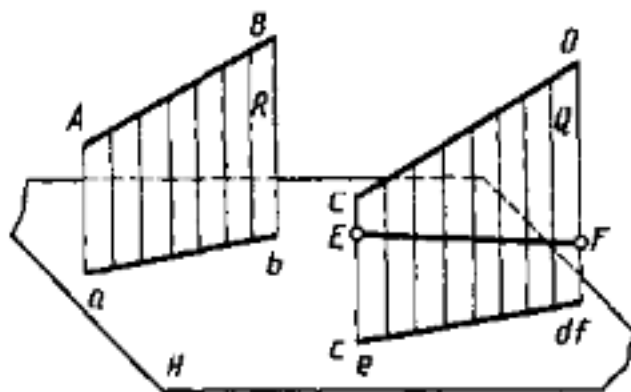


Рис. 2.18

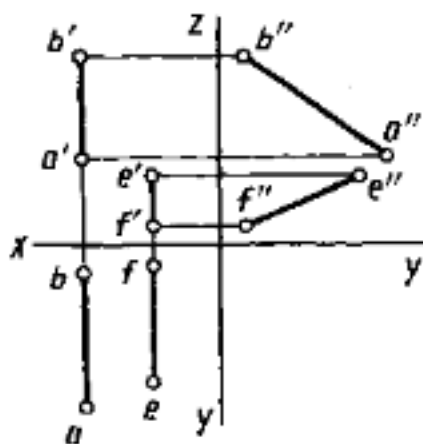


Рис. 2.19

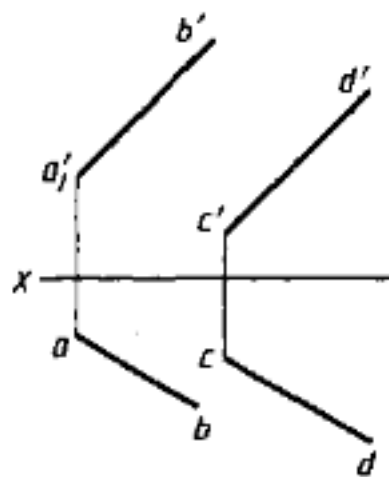


Рис. 2.20

Скрещивающиеся прямые не имеют общих точек. Проекции скрещивающихся прямых пересекаются но точки пересечения проекций не лежат на одной линии связи.

### 3 Глава. Плоскость

#### 3.1 Положение плоскости относительно плоскостей проекции

Плоскость можно задать разными способами:

- 3мя точками, нележащими на одной прямой
- прямой и точкой, взятой вне этой прямой
- двумя пересекающимися прямыми
- двумя параллельными прямыми
- какая-либо плоская фигура

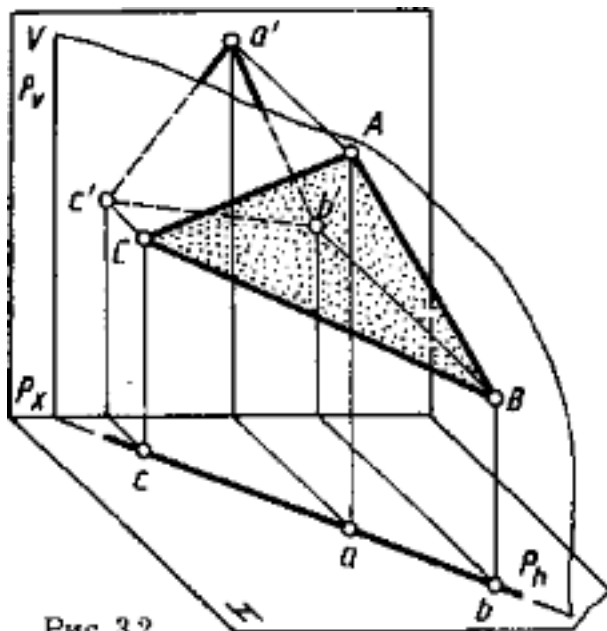


Рис. 3.2

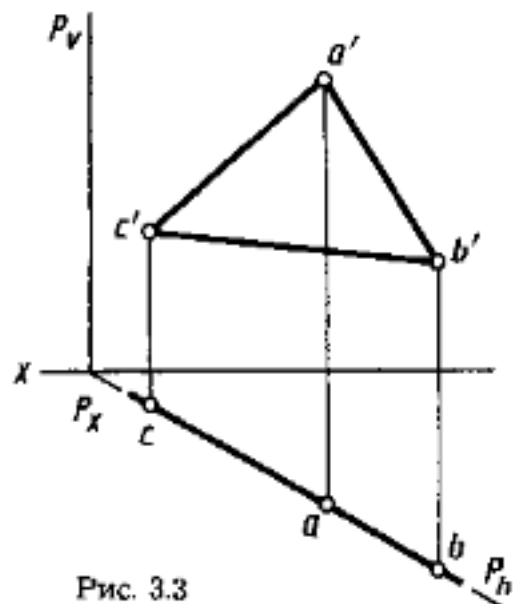


Рис. 3.3

Положение плоскости по отношению к плоскостям проекции:

- 1) Плоскость не перпендикулярна плоскостям проекции (плоскость общего положения)
- 2) плоскость может быть перпендикулярна одной плоскости проекции (плоскости частного положения, проецирующие плоскости)
- 3) плоскость может быть перпендикулярна двум плоскостям проекции (плоскости частного положения, проецирующие плоскости)

След плоскости – это линия пересечения плоскости с плоскостью проекции.

Для плоскости перпендикулярной плоскости H горизонтальный след PH

располагается под углом к оси проекции  $X$  соответствующе углу наклона этой плоскости к фронтальной плоскости проекции, а фронтальный след перпендикулярно оси  $X$ . Для плоскости перпендикулярной плоскости  $V$  фронтальный след располагается под углом к оси  $x$  соответствующим углу наклона этой плоскости к плоскости  $H$  а горизонтальный след перпендикулярен оси  $X$ . На чертежах след перпендикулярный оси проекции не изображают.

Любая геометрическая фигура, лежащая в проецирующей плоскости, проецируется на соответствующую плоскость проекции в прямую линию. Плоскость перпендикулярна двум плоскостям проекции и параллельна третьей.

### 3.2 Прямая и точка в плоскости

задачи:

- 1) Проведения прямой в плоскости
- 2) Построение в плоскости некоторой точки
- 3) Построение недостающей проекции точки
- 4) Проверка принадлежности точки плоскости

Если точка принадлежит плоскости то ее проекции лежат на проекции прямой принадлежащей плоскости.

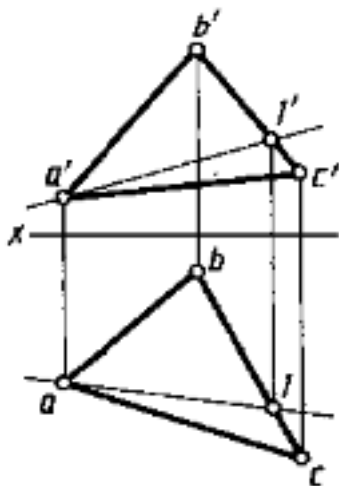


Рис. 3.10

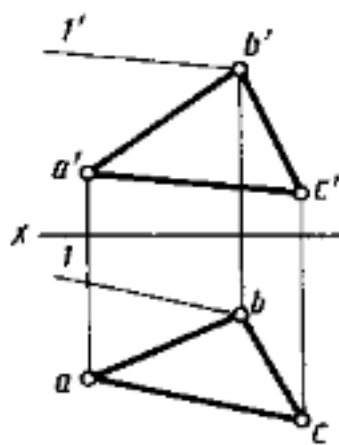


Рис. 3.11

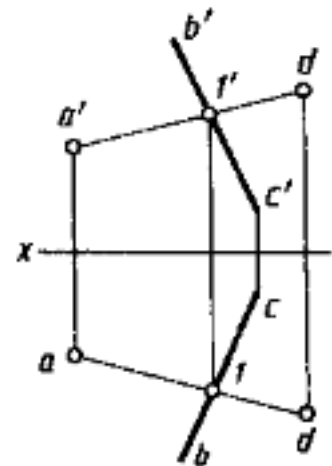


Рис. 3.12

### 3.3 Прямые особого положения плоскости— главные линии плоскости

Горизонтали (принадлежит плоскости и параллельна плоскости проекции  $H$ ), фронтали (лежит в плоскости и параллельна фронтальной плоскости проекции), профильные (лежит в плоскости и параллельна профильной плоскости проекции) прямые и линии наибольшего наклона.

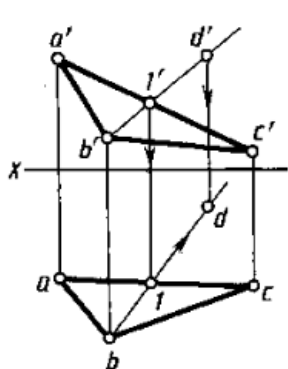


Рис. 3.13

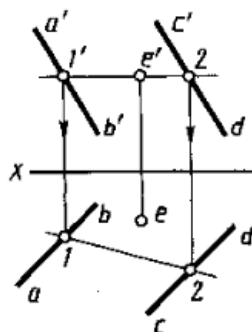


Рис. 3.14

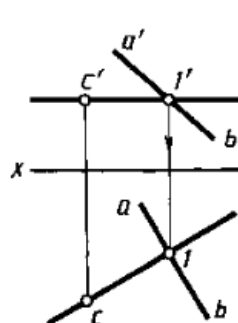


Рис. 3.15

Линии наибольшего наклона — называют прямые лежащие в этой плоскости и перпендикулярные или к горизонталям или к ее фронталям или к ее профильным прямым

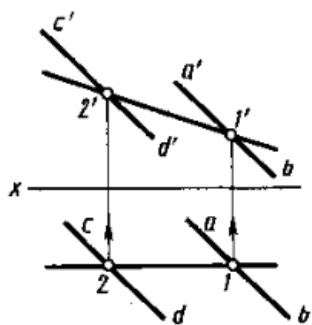


Рис. 3.16

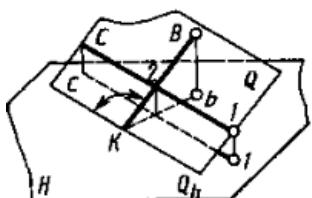


Рис. 3.17

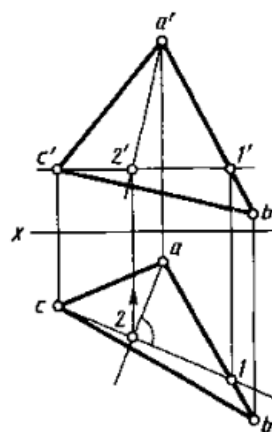


Рис. 3.18

Угол между линией ската и ее горизонтальной проекцией является линейным углом между плоскостью, которой принадлежит линия ската, и плоскостью проекций  $H$

## 4 Глава. Взаимное положение прямой и линии в плоскости, двух плоскостей

### 4.1 Пересечение прямой линии с проецирующей плоскостью

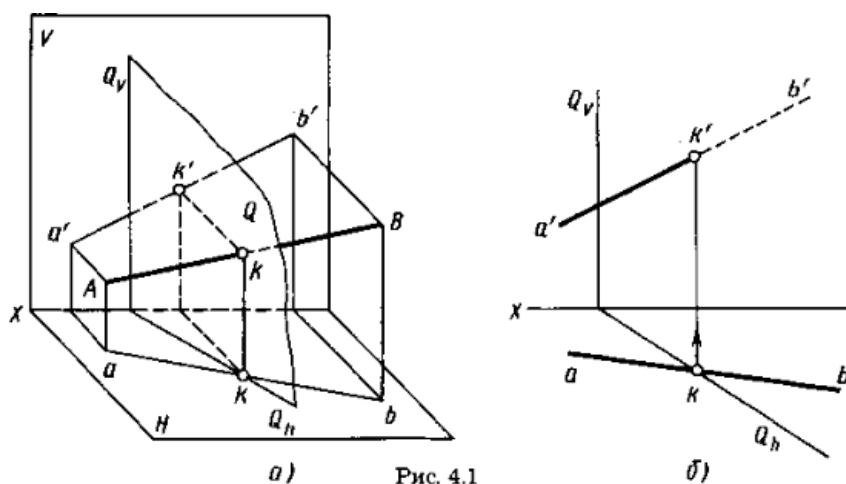


Рис. 4.1

\*для сложных чертежей анализ видимости мы не делаем\*

Правила:

- Условно считают, что данная плоскость непрозрачна. Поэтому точки, линии, участки другой плоскости, расположенные между плоскостью проекций и данной плоскостью, невидимы для наблюдателя, между которым и плоскостью проекций находятся изображаемые объекты. Если линии, точки, участки другой плоскости находятся между данной плоскостью и наблюдателем, то они видимы и закрывают точки, линии, участки данной плоскости, лежащие на одних проецирующих прямых.

- Анализ видимости линий обычно проводят путем анализа видимости точек, как это сделано при анализе видимости конкурирующих точек на скрещивающихся прямых



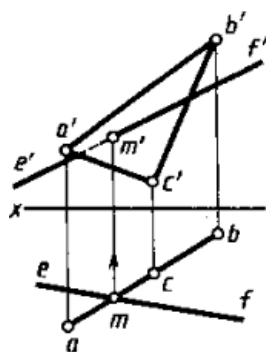


Рис. 4.2

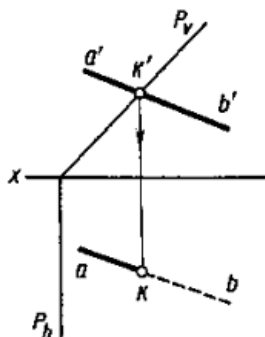


Рис. 4.3

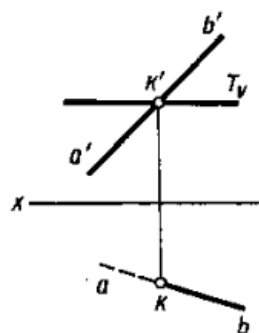


Рис. 4.4

## 4.2 Пересечение двух плоскостей

\*ДОСТАТОЧНО ПОСТРОИТЬ ОДНУ ТОЧКУ А ВТОРУЮ ТОЧКУ МОЖНО ПОЛУЧИТЬ ТАКИМ ЖЕ СПОСОБОМ\*

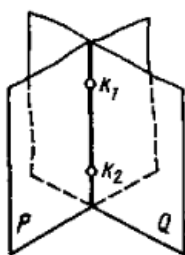


Рис. 4.5

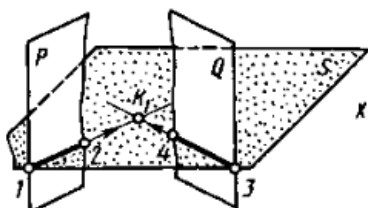


Рис. 4.6

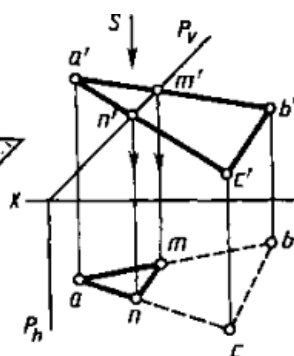


Рис. 4.7

Для того чтобы найти точку принадлежащую двум плоскостям вводим вспомогательную плоскость строят линии пересечения вспомогательной плоскости с двумя заданными плоскостями и в пересечении построенных линий находят общую точку двух плоскостей. Для нахождения второй общей точки построение повторяют с помощью еще одной вспомогательной плоскости.

Частный случай построения линии пересечения двух плоскостей, когда одна из них проецирующая. В этом случае построение линии пересечения упрощается тем, что одна ее проекция совпадает с проекцией проецирующей плоскости на ту плоскость проекций, к которой она перпендикулярна.

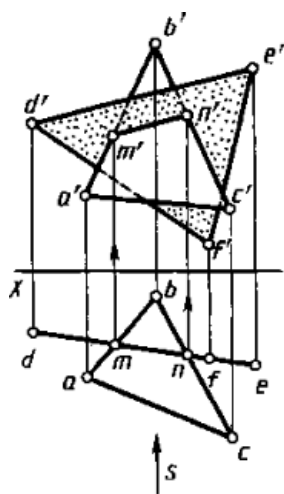


Рис. 4.8

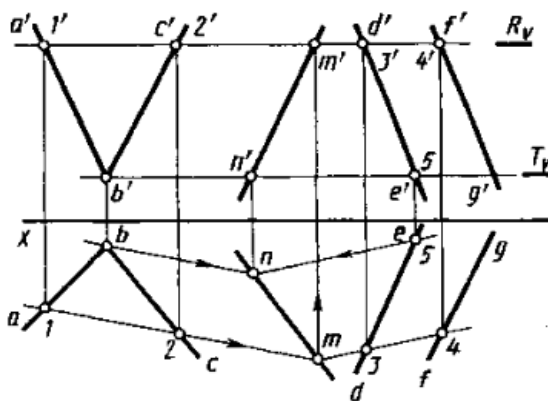


Рис. 4.9

Построение линии пересечения плоскостей общего положения. На рисунке 4.9 приведено построение проекций  $t'p'$ ,  $tp$  линии пересечения двух плоскостей, одна из которых задана проекциями  $a'b'$ ,  $b'c'$ ,  $ab$ ,  $bc$  двух пересекающихся прямых, другая — проекциями  $d'e'$ ,  $f'g'$ ,  $de$ ,  $fg$  двух параллельных прямых.

Вспомогательные плоскости параллельны друг-другу.

### 4.3 Пересечение прямой линии общего положения с плоскостью общего положения

Точку пересечения прямой с плоскостью общего положения строят в следующем порядке:

- а) через заданную прямую АВ проводят вспомогательную плоскость Т;
- б) строят линию пересечения 1—2 вспомогательной плоскости Т и заданной плоскости Q;
- в) в пересечении построенной линии 1—2 с заданной прямой АВ отмечают искомую точку К.

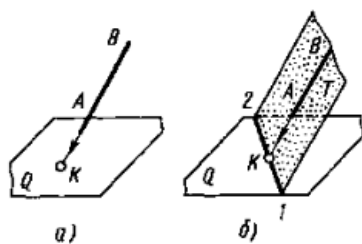


Рис. 4.10

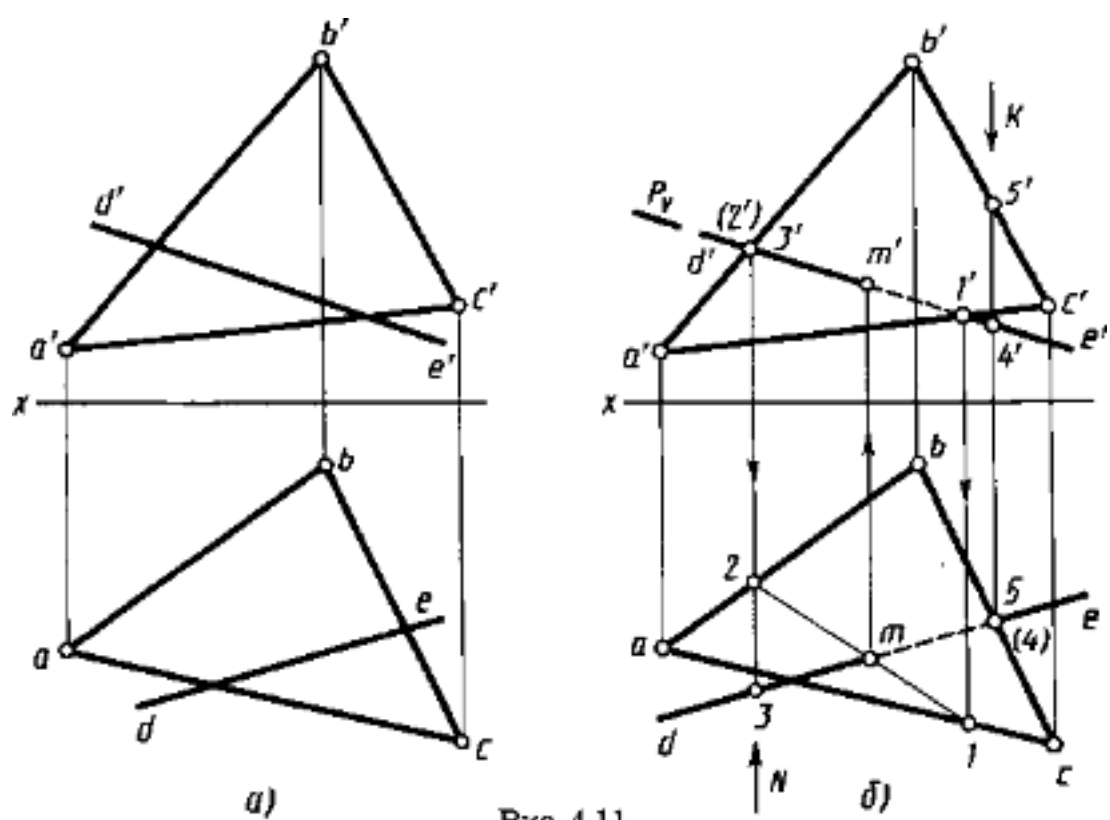


Рис. 4.11

#### 4.4 Построение взаимно-параллельных прямой и плоскости, двух плоскостей

##### 4.4.1 Построение взаимно параллельных прямой линии и плоскости

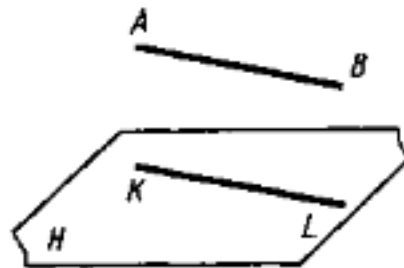


Рис. 4.14

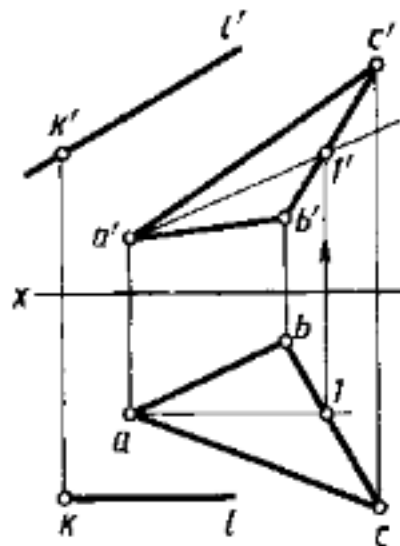


Рис. 4.15

Для построения прямой, проходящей через заданную точку пространства параллельно заданной плоскости, достаточно провести прямую, параллельную любой прямой, принадлежащей плоскости. При этом возможно бесчисленное множество решений. Дополнительные требования могут обусловить единственное решение.

Если необходимо проверить параллельна ли прямая заданной плоскости нужно построить прямую параллельную заданной прямой в плоскости (если не существует – то они не параллельны).

#### 4.4.2 Построение взаимно параллельных плоскостей

Если две пересекающиеся прямые, лежащие в одной плоскости, взаимно параллельны двум пересекающимся прямым лежащим в другой плоскости то плоскости параллельны.

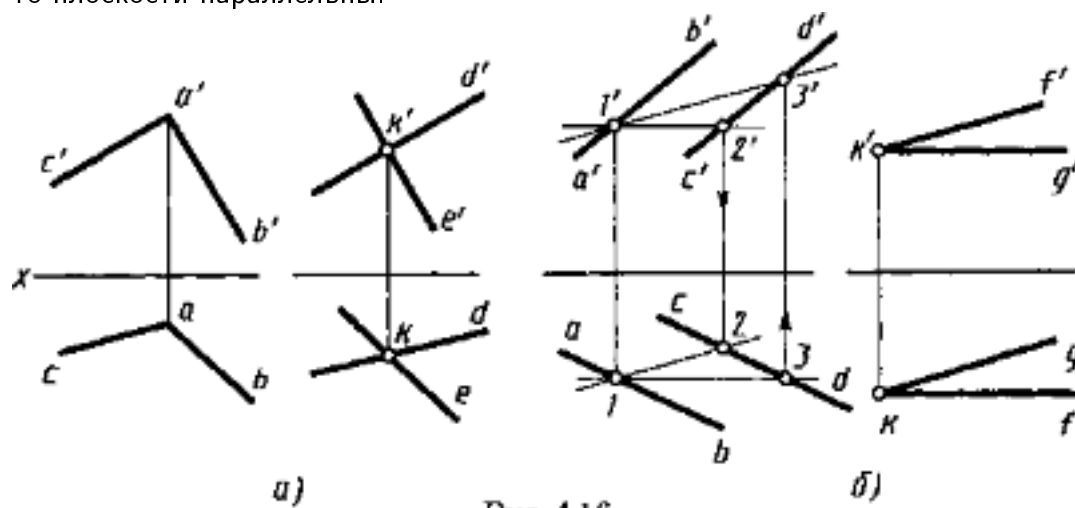


Рис. 4.16

#### 4.5 Построение взаимно перпендикулярных прямой и плоскости

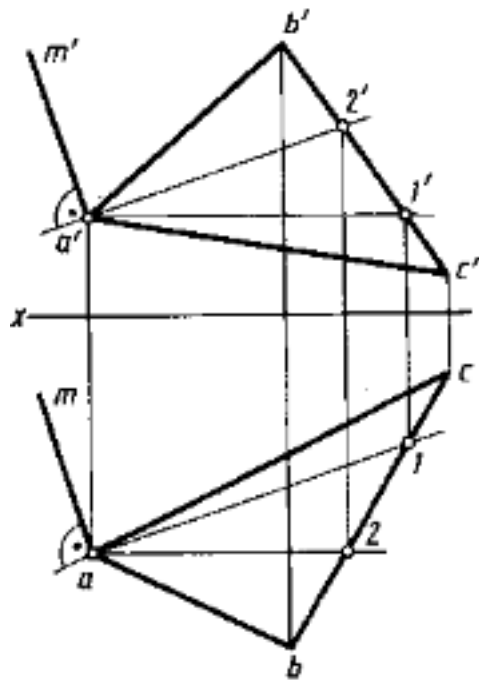


Рис. 4.18

Если прямая перпендикулярна двум пересекающимся прямым, принадлежащим плоскости, то она перпендикулярна этой плоскости.

Чтобы построить две взаимно перпендикулярных плоскости необходимо построить перпендикуляр к одной из плоскостей а затем провести через одну из точек данного перпендикуляра прямую, не принадлежащую исходной плоскости.

## 4.6 Угол между прямой и плоскостью

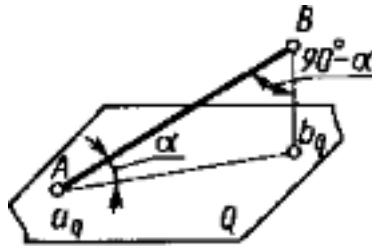


Рис. 4.23

Угол между прямой и плоскостью определяется углом между этой прямой и ее проекцией на плоскости. Для решения этой задачи требуется:

- 1) найти точку пересечения прямой с плоскостью
- 2) провести из некоторой точки прямой перпендикуляр на плоскость.
- 3) определить точку пересечения перпендикуляра с плоскостью.
- 4) соединить эти точки линией
- 5) определить угол между прямой и плоскостью

Обычно достаточно построить только перпендикуляр. Задача определения угла между двумя прямыми рассматривалась нами когда мы решали задачу определения угла наклона прямой к плоскости.

## 5 Глава. Способы преобразования чертежа

### 5.1 Общая характеристика способов преобразования чертежа

Многие задачи рашаются легко если линии и плоские фигуры, образующие объект находятся в частном положении. Такого добится позволяет преобразование чертежа, добится которого позволяют пару способов:

- 1) Переменной плоскостей проекции(в этом случае заданную систему плоскостей и проекций заменяют на новую так, чтобы исходные объекты не меняя своего положения в пространстве оказались в частном положении).
- 2) Способ вращения(в этом случае не изменяя плоскостей проекции исходные объекты поворачивают таким образом, чтобы они приняли частное положение).

## 5.2 Способ перемены плоскостей проекции

– при этом способе преобразовании чертежа положение точек, линий, плоских фигур, поверхностей в пространстве не изменяется, а система  $VH$  дополняется плоскостями, образующими с  $V$  или  $H$  или между собой систему двух взаимно перпендикулярных плоскостей, принимаемых за плоскости проекции.

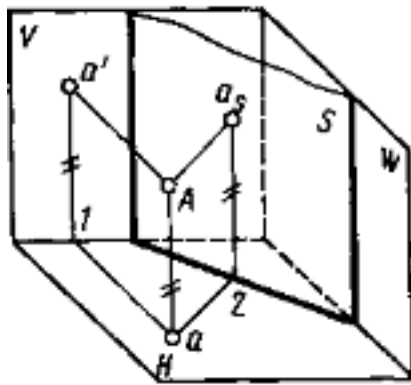


Рис. 5.1

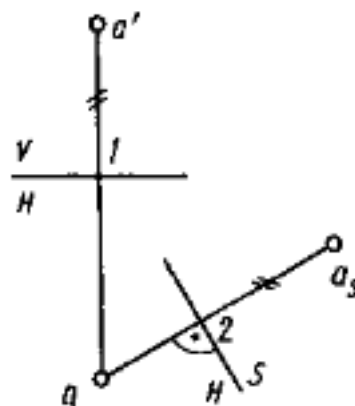


Рис. 5.2

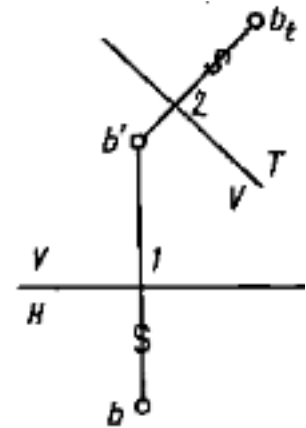


Рис. 5.3

Можно проводить несколько раз.

4 основные задачи преобразования:

- 1) определение величины отрезка общего положения.
- 2) приведение плоской фигуры общего положения в проецирующее положение.
- 3) Определение натурального вида плоской фигуры, расположенной в проецирующем положении.
- 4) Приведение отрезка прямой общего положения в проецирующее положение.



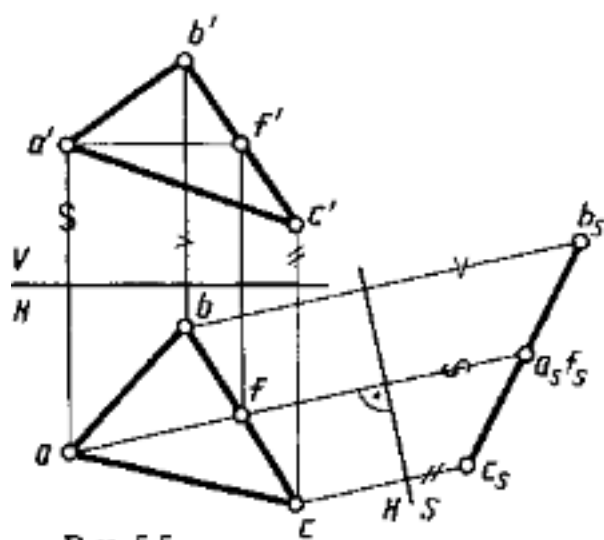


Рис. 5.5

ние.

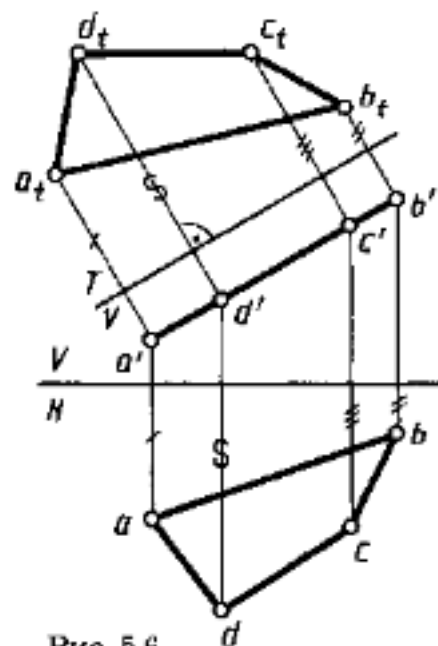


Рис. 5.6

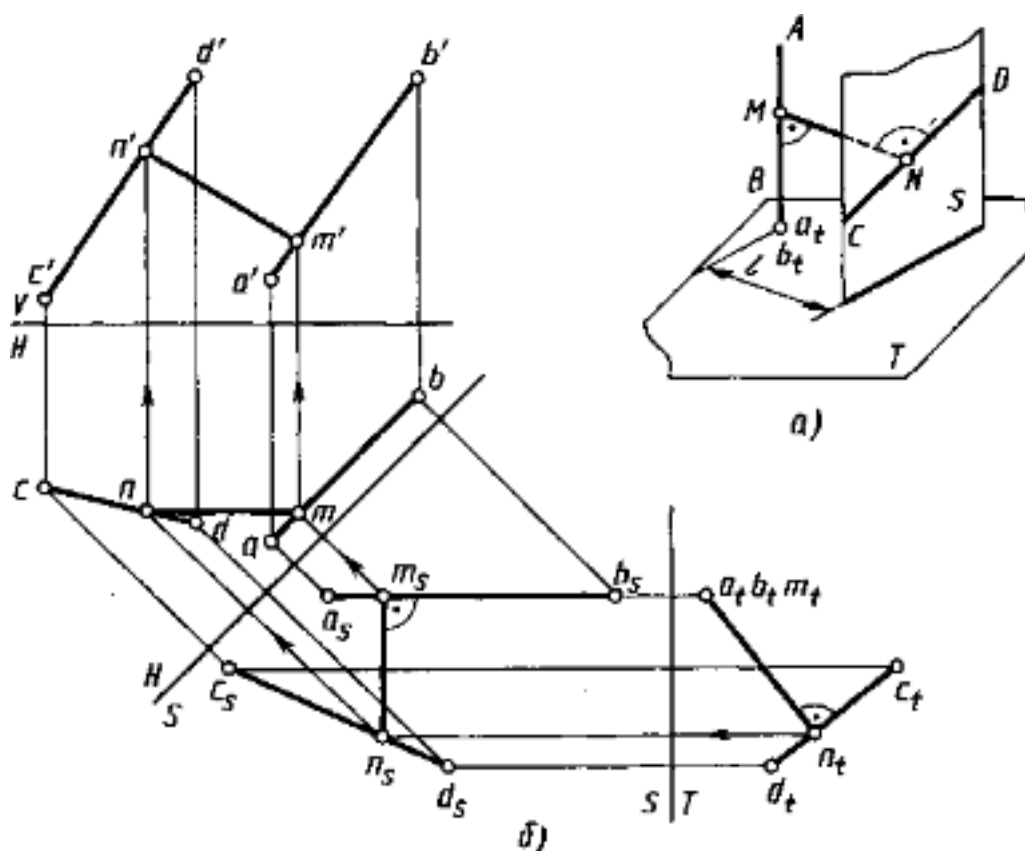


Рис. 5.7

с помощью переменной плоскостей проекции можно определять расстояние, это расстояние представляет собой длину общего перпендикуляра, его длину удобно определять когда одна из скрещивающихся прямых находится в проецирующем положении, таким образом мы вводим новую плоскость проекций такую, в которой одна из прямых находится в проецирующем положении, строим перпендикуляр ко второй прямой и определяем его длину.

### 5.3 Способ вращения

чтобы применить преобразование чертежа необходимо задать несколько элементов:

1. ось вращения
2. плоскость вращения точки
3. центр вращения
4. радиус вращения (расстояние от центра вращения до точки)

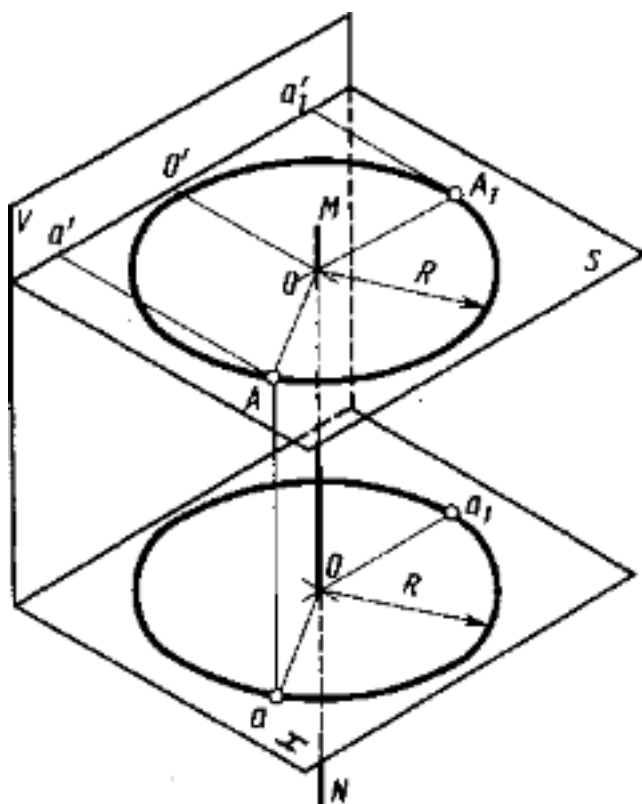


Рис. 5.8

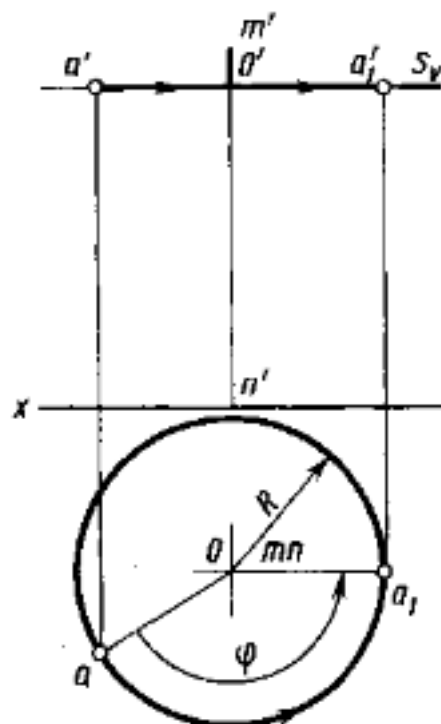


Рис. 5.9

В качестве оси вращения обычно используют прямые, перпендикулярные или параллельные плоскостям проекций. Она может быть прямой общего положения но на практике не применяется.

Вращение точки A относительно MN, перпендикулярной относительно плоскости проекции.

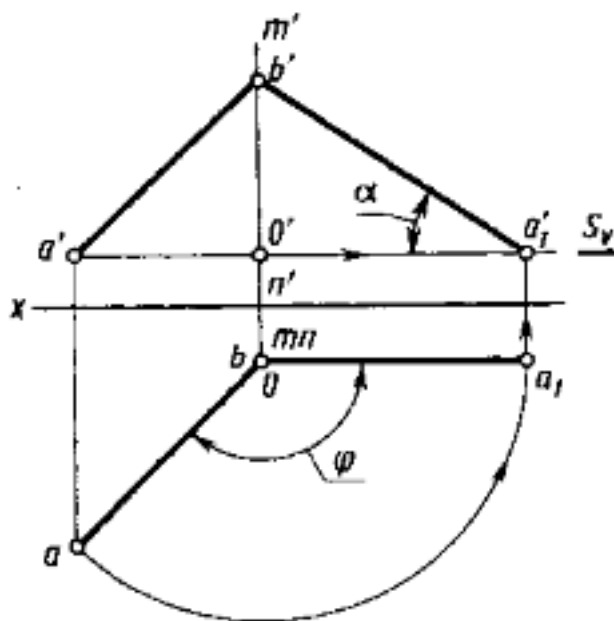


Рис. 5.10

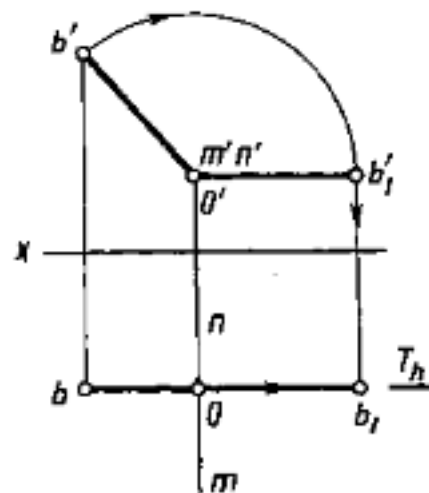


Рис. 5.11

Вращение вокруг прямых параллельных плоскостям проекции  
 – Натуральную величину фигуры можно определить вращением вокруг оси параллельной плоскости проекции. В этом случае одним поворотом фигура приводится в плоскость параллельную плоскости проекции.

## 6 Изображение многогранников

### 6.1 Применение многогранников в технике

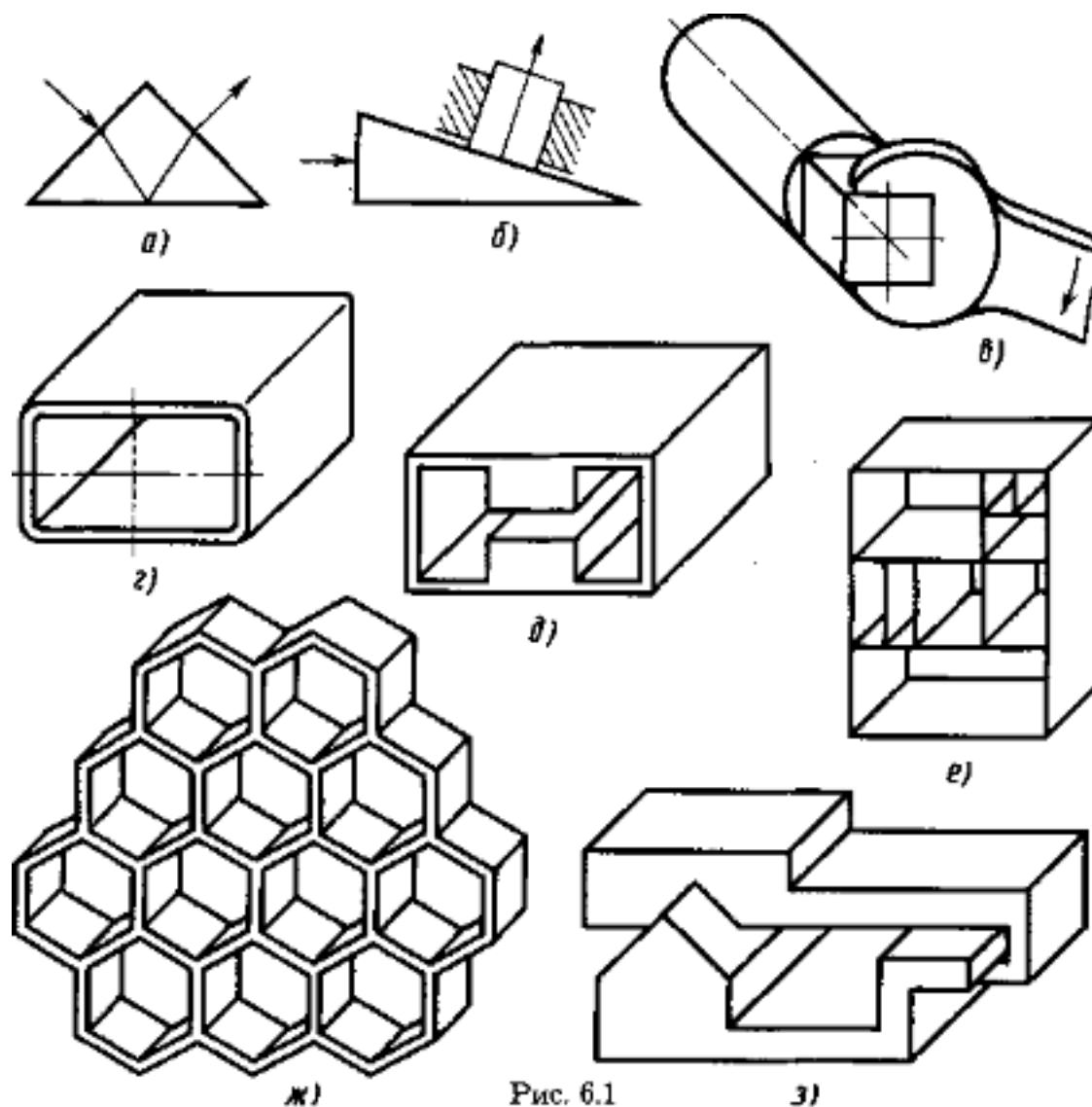


Рис. 6.1

з)

### 6.2 Чертежи призмы и пирамиды

Грани призмы и пирамид ограничиваются ребрами, а ребра представляют собой прямолинейные отрезки, которые пересекаются между собой, поэтому построение чертежей призмы пирамид сводится к построению точек (вершин)

и отрезков прямых(ребер).

Призматическая поверхность может быть представлена на чертеже проекциями ребер или проекцией фигуры, которая получается при пересечении боковых граней плоскостью. Пересекая призматическую поверхность двумя параллельными плоскостями получают основание призмы. На чертеже основания призм удобно располагать параллельно плоскостям проекции.

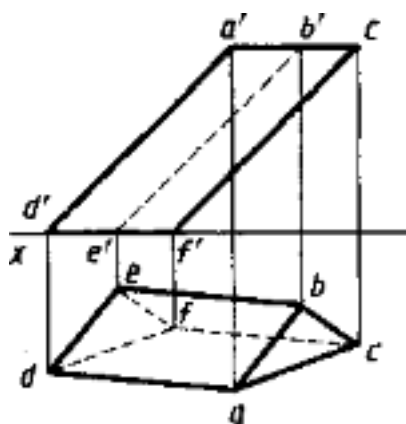


Рис. 6.2

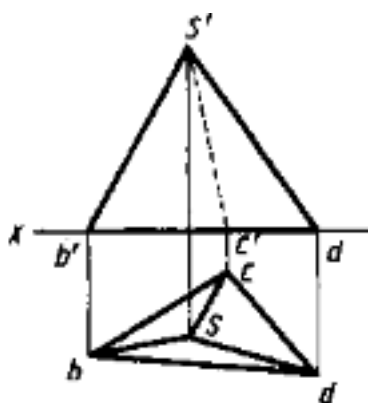


Рис. 6.3

Одноименные проекции ребер призмы параллельны между собой. Пирамиду создает основание ребер и её вершин.

## Призмы и пирамиды в трех проекциях. Точки на поверхности

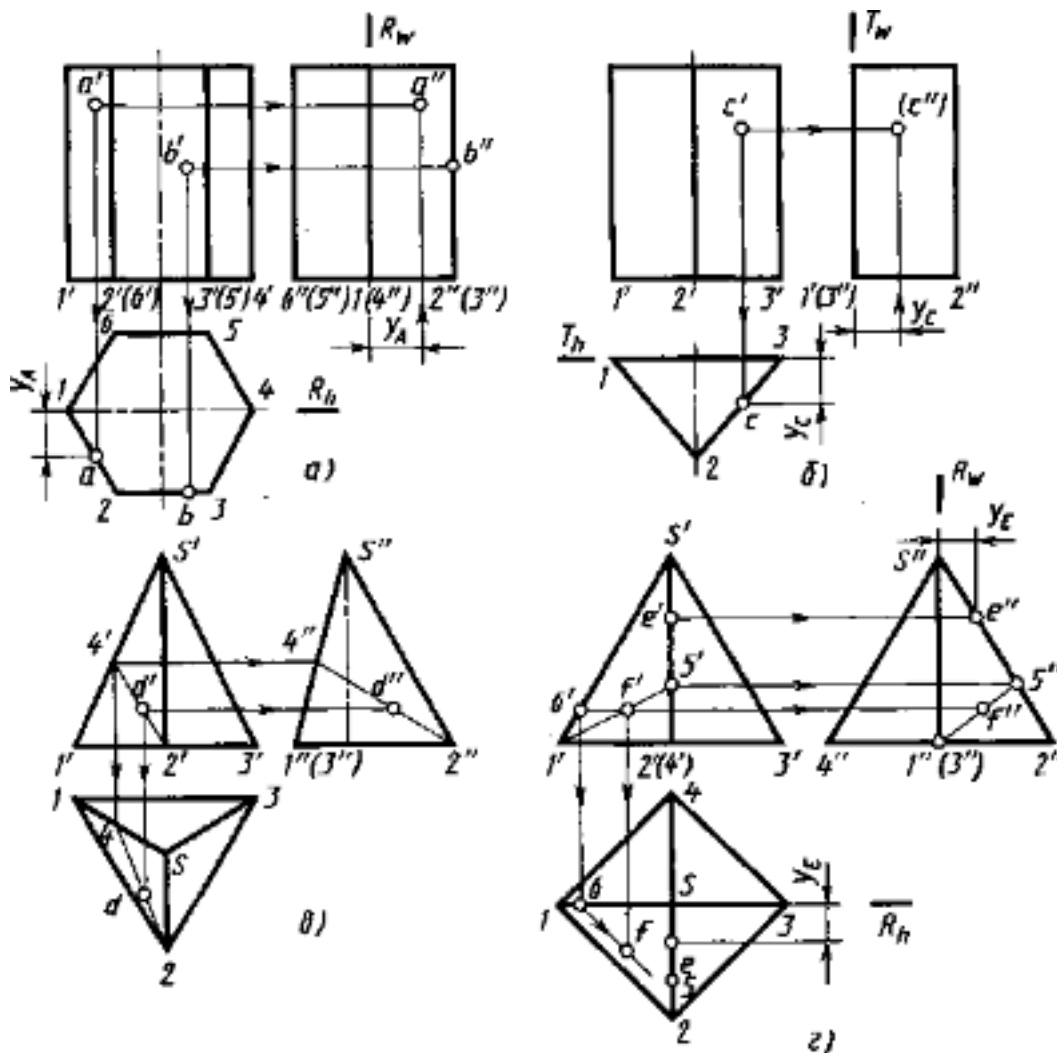


Рис. 6.4

### 6.3 Определение высоты пирамиды

Высота пирамиды – расстояние от вершины до плоскости основания. Если пирамида состоит из участков плоскостей общего положения, то определение её высоты проводится с помощью способа перемены плоскостей проекции. Новая плоскость проекций выбирается перпендикулярной прямой частного положения проходящей через точку пересечения перпендикуляра к плоскости основания пирамиды опущенного из её вершин, т.е:

- 1) строим перпендикуляр из вершины пирамиды к плоскости её основания.

- 2) проводим через эту точку линию частного положения лежащего в плоскости основания пирамиды.
- 3) перпендикулярно этой линии вводим новую плоскость проекции.
- 4) искомая высота пирамиды будет найдена как длина проекции на эту плоскость перпендикуляра, построенного на первом шаге.

## 6.4 Пересечение многогранников плоскостью

При пересечении призмы или пирамиды плоскостью, в сечении получается плоская фигура, ограниченная линиями пересечения секущей и плоскостью с гранями призмы или пирамиды.



Рис. 6.8

### Определение натурального вида сечения пирамиды плоскостью

Для определения натурального вида сечения плоскостью можно использовать метод переменных плоскостей.



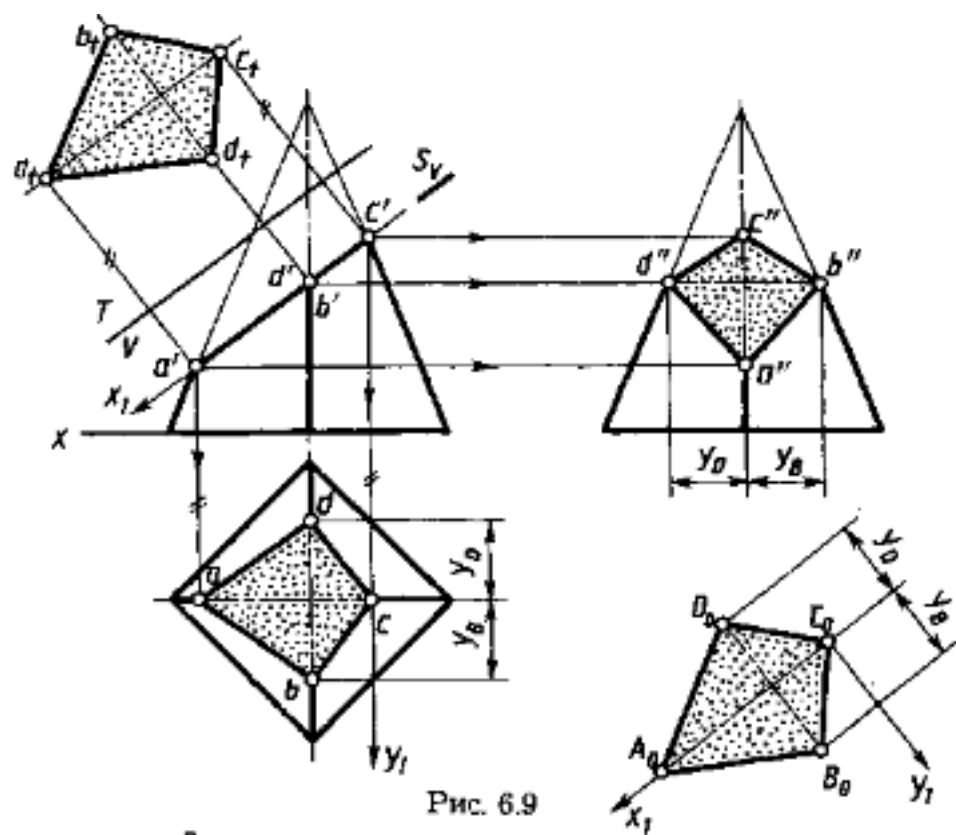


Рис. 6.9

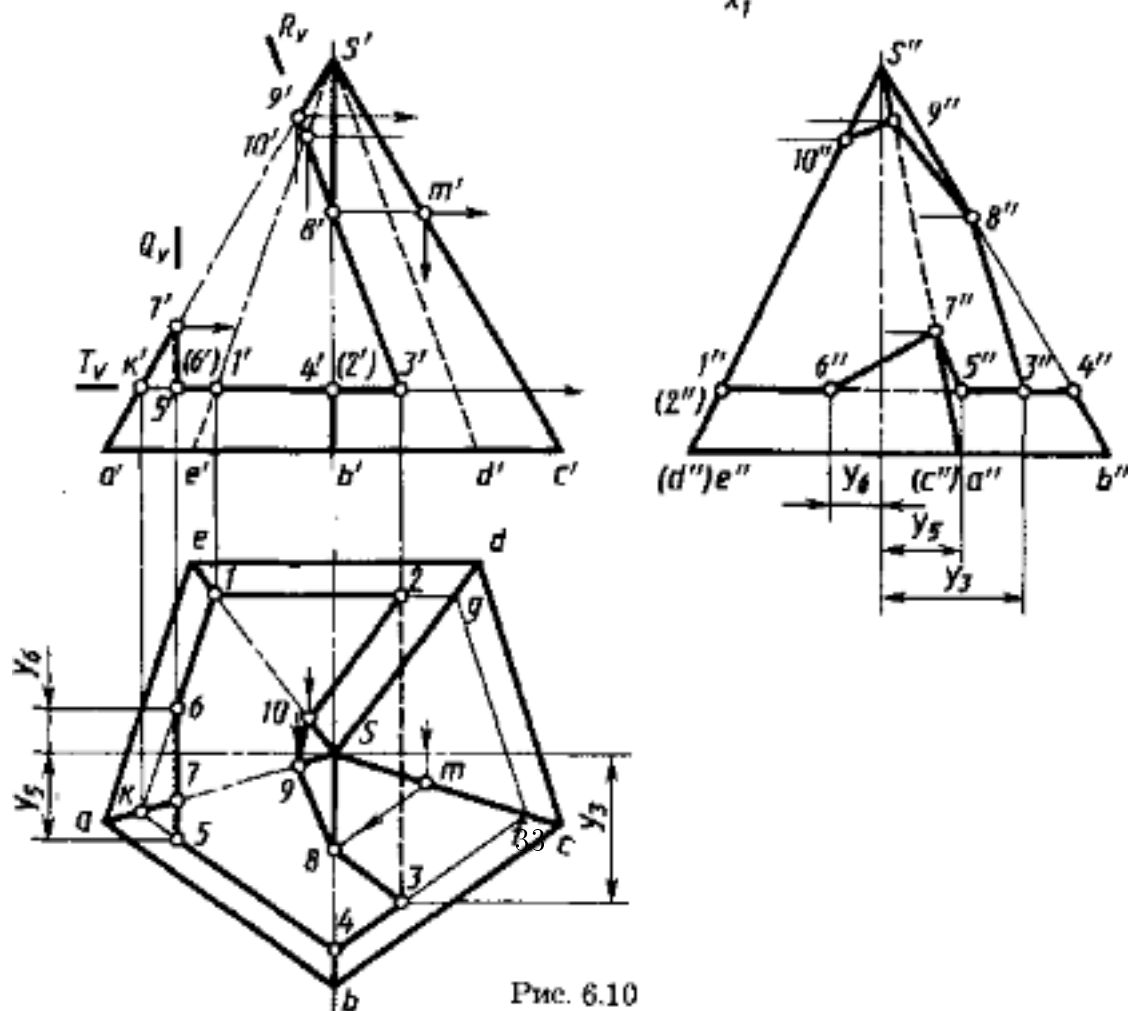
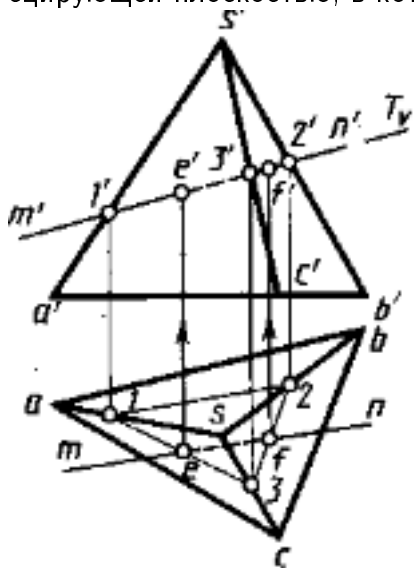


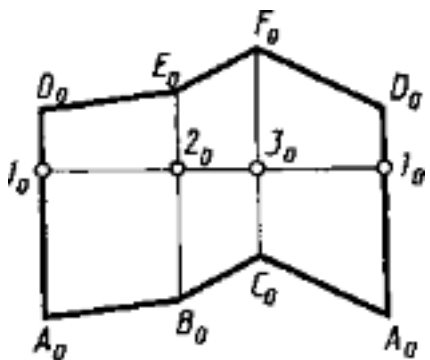
Рис. 6.10

## 6.5 Построение точек пересечения прямой с поверхностью многогранника

Чтобы построить точки пересечения поверхности многогранника какой-либо прямой сначала необходимо найти пересечение этого многогранника проецирующей плоскостью, в которой лежит эта прямая.



## 6.6 Развертка гранных поверхностей



Разверткой поверхности многогранника называют плоскую фигуру полученную при совмещении с плоскостью всех его граней. Развертывание гранных поверхностей выполняют для проведения раскроя листового материала

при изготовлении детали или для определения площади поверхности детали покрываемых различными покрытиями (не только декоративные, но и защитные или придающие поверхности материала заданные свойства). Для построения развертки необходимо определить размеры граней многогранника. Универсальный способ, пригодный для любого многогранника – грань разбивается на треугольники, а натуральный вид треугольников определяется любым из ранее рассмотренных методов.

## **7 Глава. Аксонометрические поверхности**

### **7.1 Аксонометрические поверхности как способ представления детали**

Способ аксонометрического проецирования состоит в том, что данная фигура вместе с осями прямоугольных координат, к которым она отнесена в пространстве, проецируется параллельно на некоторую плоскость принятую за плоскость аксонометрических проекций, эту плоскость также называют картинной плоскостью.

Прямоугольные аксонометрические проекции оси присоединенных прямоугольных координат к детали располагают не параллельно к плоскости аксонометрических проекций.

Аксонометрических проекций существует бесконечное множество. Они будут отличаться направлением осей.

#### **Коэффициент искажения**

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 2$$

### **7.2 Изометрическая проекция**

На практике применяют коэффициент искажения = 1, его называют приведенным коэффициентом искажения