

Б 1. Предмет начертательной геометрии (Н.Г.)

Н.Г. – математическая наука. Это тот раздел геометрии, который изучает теоретические основы построения плоских изображений пространственных фигур и способы графического решения пространственных задач при помощи этих изображений. В настоящее время геометрия имеет многочисленные разделы. Существуют элементарная, аналитическая, дифференциальная, начертательная, проектная и др. геометрии. Основными неопределяемыми понятиями геометрии являются точка, прямая, плоскость и расстояние. Понятие «множество» также является основным, неопределяемым, но не только геометрии, а всей математики.

Любую сложную поверхность можно рассматривать как совокупность множества точек. Предмет начертательной геометрии – все многообразие геометрических фигур трехмерного пространства.

Основной метод в Н.Г. – метод проецирования. Существует два вида проецирования – центральное и параллельное и соответственно два вида проекций – центральные и параллельные. Построение проекций предмета сводится к построению проекций некоторого множества его точек. Поэтому изучение метода проецирования начинают с построения проекций точки. Под проекцией предмета на плоскость подразумевают его изображение, отображение с помощью проецирующих лучей, проходящих через каждую точку предмета до пересечения с плоскостью проекции.

В курсе начертательной геометрии решаются две основные задачи. Первая задача (ее называют прямой задачей начертательной геометрии) – *построение изображения пространственной фигуры на плоскости*. Вторая задача (обратная задача начертательной геометрии) – *определение формы и размеров пространственной фигуры по ее плоскому изображению*.

Для решения обратной задачи пригодно не всякое изображение. Если с помощью плоского изображения пространственной фигуры можно решить обратную задачу начертательной геометрии (определить истинную форму и размеры фигуры), то говорят, что изображение обладает свойством обратимости. Изображение пространственной фигуры, обладающее свойством обратимости, называют *чертежом*.

Б 2. Центральное проецирование.

Сущность этого метода заключается в том, что все проецирующие лучи проходят через 1 точку, называемую центром проекции.

На пл. Π_1 можно построить центральные проекции всех точек пространства, за исключением тех, которые принадлежат пл. Π'_1 , проходящей через центр проекций S и параллельной Π_1 . В этом случае проецирующие прямые оказываются параллельными пл. Π_1 и точек пересечения их с плоскостью в обычном смысле нет. Этот недостаток устраняется дополнением Евклидова пространства:

1. Две прямые, лежащие в 1 плоскости всегда пересекаются в 1 точке – собственной или несобственной.

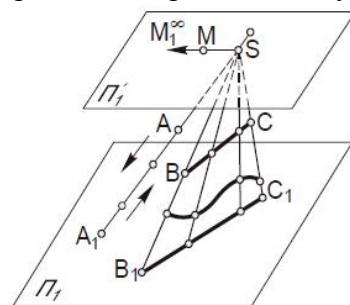
2. Прямая и плоскость всегда пересекаются в 1 точке – собственной или несобственной.

3. Две плоскости всегда пересекаются по прямой – собственной или несобственной.

Следовательно, проекцией т. M , принадлежащей пл. $\Pi'_1 \parallel \Pi_1$, будет несобственная т. M^∞ .

Достоинство метода: однозначность, простота решения.

Недостаток: необратимость чертежа.



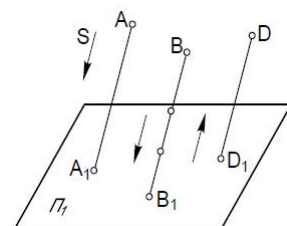
Б 3. Параллельное проецирование.

Сущность: все проецирующие лучи параллельны между собой и параллельны выбранному направлению S . Параллельное проецирование – частный случай центрального проецирования.

При параллельном проецировании каждая точка пространства имеет на пл. Π_1 одну проекцию, но эта проекция не определяет положения точки в пространстве. Следовательно, однопроекционный чертеж тоже необратим.

Достоинство метода: однозначность, простота решения.

Недостаток: необратимость чертежа.

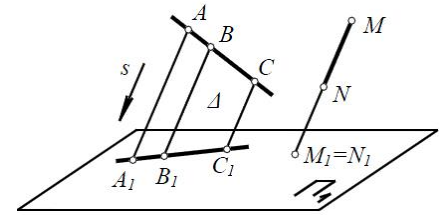


Б 4. Инварианты параллельного проецирования

1. Проекцией точки является точка. Это свойство следует из самого определения проекции точки.

$$A \rightarrow A_1$$

2. Проекцией прямой в общем случае является прямая. Для построения параллельной проекции прямой $a(AB)$ проведем проецирующие лучи из точек A и B . Все они лежат в одной проецирующей плоскости Δ , параллельной направлению проецирования S . Проекция $a_1(A_1B_1)$ пересечения этой плоскости с плоскостью проекций Π_1 и является проекцией прямой $a(AB)$. Это свойство наз. свойством *прямолинейности*. Следовательно, для построения проекций прямой достаточно построить проекции двух её точек.



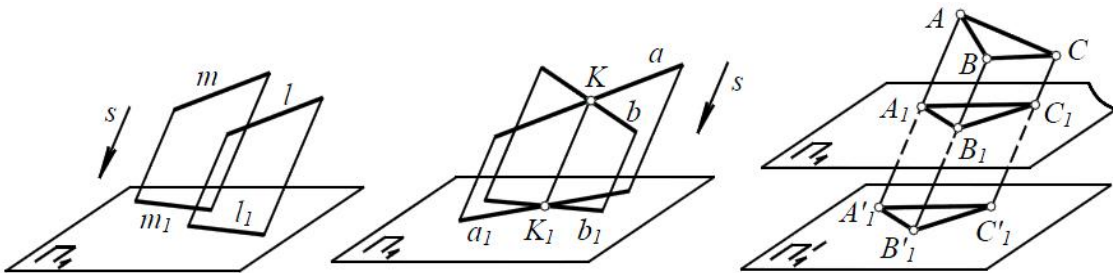
3. Проекция точки, принадлежащей прямой, лежит на проекции этой прямой.

Это свойство вытекает из предыдущего.

4. Если прямая параллельна направлению проецирования, то она вырождается в точку (прямая MN).

5. Если отрезок прямой параллелен плоскости проекции, то он проецируется на нее в истинную величину.

6. Проекции параллельных прямых параллельны. Это свойство наз. свойством *сохранения параллельности*.



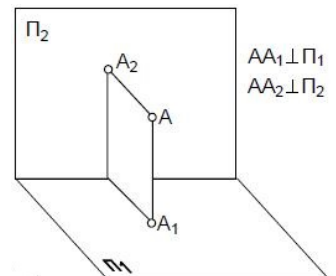
7. Отношение длин отрезков параллельных прямых равно отношению длин их проекций.

8. Проекция геометрической фигуры не изменяется при параллельном переносе плоскости проекций.

9. Метрические характеристики геометрических фигур при параллельном проецировании в общем случае *не сохраняются* (происходит искажение линейных и угловых величин).

Б 5. Прямоугольное (ортогональное) проецирование

Если направление проецирования S перпендикулярно плоскости проекций, параллельное проецирование называется прямоугольным (ортогональным). В этом случае проекция A_1 , точки A называется прямоугольной или ортогональной. В противном случае проецирование называется косоугольным. Ортогональное проецирование, являясь частным случаем параллельного, значительно упрощает построение проекций геометрических фигур и является основным при выполнении комплексных чертежей технических форм.

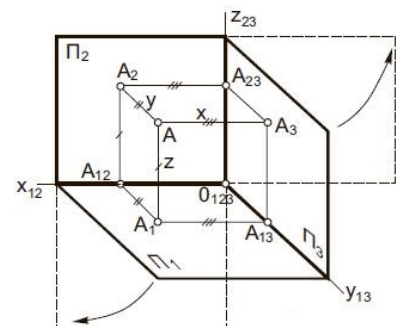


Б 6. Пространственная модель декартовой системы координат

Удобной для фиксирования положения геом. фигуры в пространстве и выявления её формы по прямоугольным проекциям, является декартова система координат, состоящая из 3 взаимно перпендикулярных плоскостей.

Пл. Π_1 – *горизонтальная* пл. проекций; пл. Π_2 – *фронтальная* пл. проекций; пл. Π_3 – *профильная* пл. проекций. Линии пересечения плоскостей проекций образуют *оси координат*. Ось x наз. *осью абсцисс*, ось y – *ординат* и ось z – *апplikат*. Точка пересечения осей принимается за начало координат и обозначается цифрой 0. Проекция этой точки обозначается как 0_{123} .

Длины отрезков, выражающих расстояния точки A до плоскости проекций, отнесенные к единице длины $|e|$, будут координатами точки A . По координатам точки $A(xyz)$ можно построить ее проекции, а по заданным проекциям определить ее координаты.



$\frac{AA_3}{e}$	$= x$ – абсцисса (широта)
$\frac{AA_2}{e}$	$= y$ – ордината (глубина)
$\frac{AA_1}{e}$	$= z$ – апплика (высота)

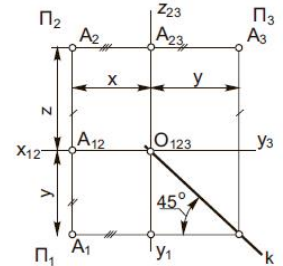
Б 7. Комплексный чертёж точки

Комплексный чертёж точки – проекции точки на 2 и более взаимно-перпендикулярные пл. проекций.

Пространственная модель плоскостей проекции неудобна для практического использования, т.к. на пл. Π_1 происходит искажение формы и размеров горизонтальной проекции геом. фигуры. Для того, чтобы перейти от пространственной модели плоскостей проекций к более простой плоскостной модели, т.е. к плоскому чертежу, совместим пл. Π_1 с пл. Π_2 , вращая её вокруг оси x_{12} .

Возьмем какую-нибудь точку A и построим ее ортогональные проекции A_1 и A_2 соответственно на плоскостях Π_1 и Π_2 . Точка A_1 называется горизонтальной проекцией точки A , а точка A_2 – ее фронтальной проекцией. Расстояние $|AA_1|$ точки A до плоскости Π_1 называется *высотой* точки A , а ее расстояние $|AA_2|$ до плоскости Π_2 – *глубиной* точки A .

По двум заданным проекциям точки можно построить её третью проекцию с помощью постоянной линии чертежа k , или с помощью горизонтальной линии связи и координаты y ($y_1 = y_3$).

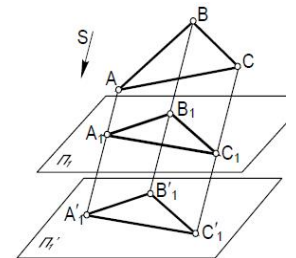


Условия связи между проекциями точки на комплексном чертеже:

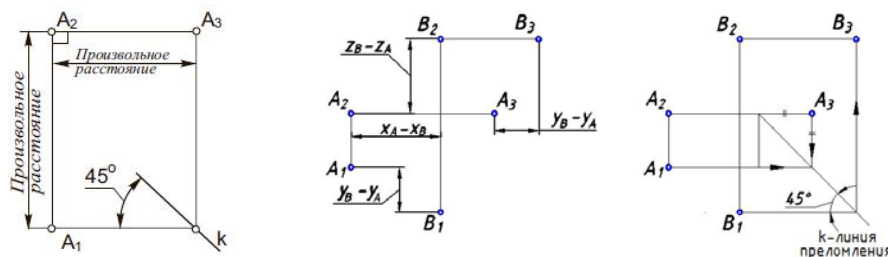
- 1) горизонтальная (A_1) и фронтальная (A_2) проекции точки принадлежат одной вертикальной линии связи;
- 2) фронтальная (A_2) и (A_3) профильная проекции точки принадлежат одной горизонтальной линии связи;
- 3) горизонтальная (A_1) и профильная (A_3) проекции точки принадлежат ломаной линии связи, вершина которой принадлежит постоянной прямой k чертежа (прямая k является биссектрисой прямого угла, образованного ломаной линией связи).

Б 8. Безосный комплексный чертеж

В технической практике для определения формы и размеров предмета применяется принцип внутреннего координирования, при котором задаются размеры предмета, характеризующие форму и взаимное расположение его точек, линий и поверхностей относительно его конструкторских и технологических баз, а не относительно плоскостей проекций. Поэтому в технике принят безосный способ выполнения чертежей. Чертеж, на котором не показаны оси координат, называют *безосным чертежом*. Построение безосного комплексного чертежа основано на инвариантном свойстве параллельного проецирования, при котором параллельный перенос пл. проекций не влияет на проекции фигуры.

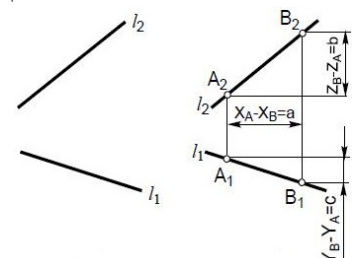


При безосном способе изображения координаты точки становятся неопределенными. В этом случае для построения комплексного чертежа точки следует воспользоваться *разностями координат*, которые не зависят от положения пл. проекций.



Б 9. Комплексный чертёж прямой общего положения

Прямая (отрезок) может занимать в пространстве различное положение относительно пл. проекций. Прямая не параллельная и не перпендикулярная ни одной из пл. проекций, называется *прямой общего положения*. Разность координат двух несовпадающих точек A и B , принадлежащих прямой l общего положения, не равна нулю. Две проекции *прямой общего положения* определяют её положение в пространстве, т.к. каждая точка прямой имеет 2 проекции. Прямая общего положения наз. *восходящей*, если она поднимается по мере удаления от наблюдателя. Проекция такой прямой ориентированы одинаково. Прямая общего положения наз. *нисходящей*, если она опускается по мере удаления от наблюдателя. Проекция такой прямой ориентированы в противоположные стороны.

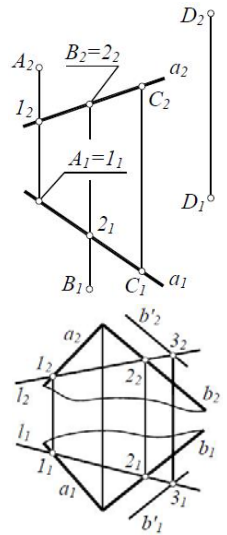


Б 15. Принадлежность точки, прямой, плоскости

Если точка лежит на прямой, то проекции точки лежат на проекциях этой прямой. Например, точка C на рис. лежит на прямой a , так как проекции C_1 и C_2 точки C лежат на проекциях a_1 и a_2 прямой a . Точки 1 и 2 также принадлежат прямой a .

Точки A, B, D не лежат на прямой a . Точка A и точка 1 – горизонтально-конкурирующие точки, причем точка A *выше* точки 1 . Значит, точка A находится *выше* прямой a . Точки B и 2 – фронтально-конкурирующие, причем точка B находится *перед* точкой 2 . Значит, точка B находится *перед* прямой a .

1. Точка лежит в плоскости, если она принадлежит прямой, лежащей в данной плоскости.
2. Прямая лежит в плоскости, если она проходит через две точки, лежащие в этой плоскости.
3. Прямая лежит в плоскости, если она проходит через какую-либо точку плоскости и при этом параллельна какой-либо прямой, лежащей в этой плоскости (то есть проходит через две точки плоскости, одна из которых несобственная).



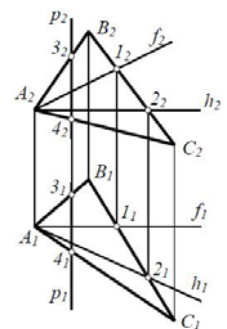
Б 16. Главные линии плоскости

Горизонтالي, фронтالي и профильные пр., принадлежащие плоскости, наз. *главными линиями плоскости*.

Построение горизонтали h , принадлежащей плоскости, начинают с проведения ее фронтальной проекции h_2 перпендикулярно вертикальным линиям связи в области фронтальной плоскости проекций, а горизонтальную проекцию h_1 строят из условия принадлежности горизонтали плоскости.

Построение фронтали f , принадлежащей плоскости, начинают с проведения ее горизонтальной проекции f_1 перпендикулярно линиям связи, в области горизонтальной плоскости проекций, а фронтальную проекцию f_2 строят из условия принадлежности.

Проекция p_1 и p_2 профильной прямой p совпадают с одной вертикальной линией связи. При этом на чертеже следует обозначить проекции двух точек, принадлежащих одновременно прямой p и плоскости.



Б 17. Комплексный чертёж плоскости уровня.

Плоскости уровня относятся к *плоскостям частного положения*. Плоскости частного положения разделяются на две группы: проецирующие плоскости и плоскости уровня.

Плоскость, *параллельная* одной из пл. проекций, наз. *плоскостью уровня*.

Горизонтальная пл. уровня (Σ) – пл., параллельная Π_1 . Любая геом. фигура Φ , принадлежащая пл. Σ , проецируется на горизонтальную пл. проекций *без искажения* (в конгруэнтную ей фигуру Φ_1).

Плоскости уровня являются *дважды проецирующими*. Например, горизонтальная пл. уровня Σ перпендикулярна плоскостям Π_2 и Π_3 .

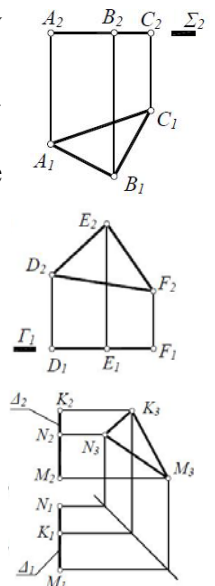
Чтобы задать на чертеже горизонтальную плоскость уровня Σ , достаточно указать ее фронтальную проекцию Σ_2 .

Фронтальная пл. уровня (Γ) – пл., параллельная Π_2 . Любая геом. фигура Φ , принадлежащая пл. Γ , проецируется на фронтальную пл. проекций *без искажения* (в конгруэнтную ей фигуру Φ_2).

Чтобы задать на чертеже фронтальную плоскость уровня Γ , достаточно указать ее горизонтальную проекцию Γ_1 .

Профильная пл. уровня (Δ) – пл., параллельная Π_3 . Любая геом. фигура Φ , принадлежащая пл. Δ , проецируется на профильную пл. проекций *без искажения* (в конгруэнтную ей фигуру Φ_3).

Чтобы задать на чертеже профильную плоскость уровня Δ , достаточно указать ее фронтальную проекцию Δ_2 .



Б 18. Комплексный чертёж проецирующей плоскости

Проецирующие плоскости относятся к *плоскостям частного положения*. Плоскости частного положения разделяются на две группы: проецирующие плоскости и плоскости уровня.

Плоскость, перпендикулярная одной из плоскостей проекций, наз. *проецирующей*.

Горизонтально-проецирующая пл. (Σ) – пл., перпендикулярная Π_1 . Горизонтальная проекция Σ_1 пл. Σ вырождается в прямую линию, положение которой соответствует положению пл. Σ в пространстве. Фронтальная проекция Σ_2 пл. Σ представляет собой множество точек, совпадающее с множеством точек пл. Π_2 ($\Sigma_2 = \Pi_2$). Горизонтальная проекция любой фигуры, лежащей в плоскости Σ (например, треугольника ABC) совпадает с горизонтальной проекцией Σ_1 плоскости Σ , то есть $A_1B_1C_1 \equiv \Sigma_1$.

Чтобы задать на чертеже горизонтально-проецирующую плоскость, достаточно указать ее горизонтальную проекцию Σ_1 . При этом положение плоскости Σ в пространстве вполне определено, так как известны углы наклона β и γ этой плоскости к плоскостям проекций Π_2 и Π_3 .

Фронтально-проецирующая пл. (Δ) – пл., перпендикулярная Π_2 . Фронтальная проекция Δ_2 пл. Δ вырождается в прямую линию, положение которой соответствует положению пл. Δ в пространстве. Горизонтальная проекция Δ_1 пл. Δ представляет собой множество точек, совпадающее с множеством точек пл. Π_1 ($\Delta_1 = \Pi_1$). Чтобы задать на чертеже фронтально-проецирующую плоскость, достаточно указать только ее фронтальную проекцию Δ_2 . При этом положение плоскости Δ в пространстве вполне определено, так как известны углы наклона α и γ этой плоскости к плоскостям проекций Π_1 и Π_3 .

Профильно-проецирующая пл. (Φ) – пл., перпендикулярная Π_3 . Профильная проекция Φ_3 пл. Φ вырождается в прямую линию, положение которой соответствует положению пл. Φ в пространстве. Горизонтальная Φ_1 и фронтальная Φ_2 проекции пл. Φ представляют собой множества точек, совпадающие с множеством точек пл. Π_1 и Π_2 . Чтобы задать на чертеже профильно-проецирующую плоскость, достаточно указать только ее профильную проекцию Φ_3 . При этом положение плоскости Φ в пространстве вполне определено, так как углы наклона α, β этой плоскости к плоскостям Π_1 и Π_2 определяются по ее профильной проекции Φ_3 .

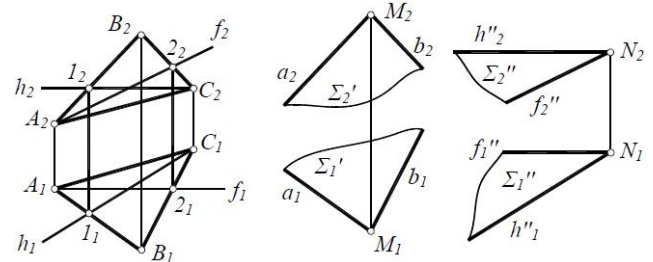
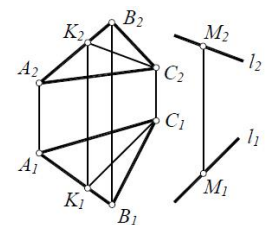
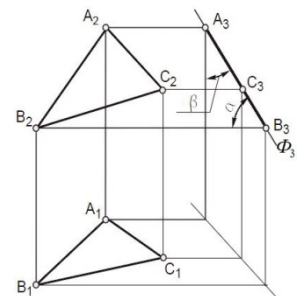
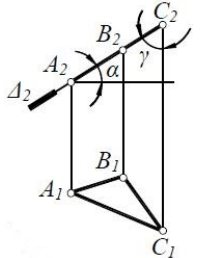
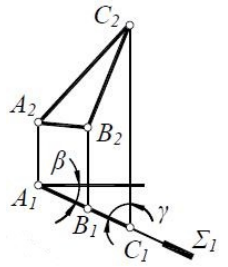
Профильная проекция любой фигуры, лежащей в профильно-проецирующей плоскости Φ (например, треугольника ABC), совпадает с профильной проекцией Φ_3 плоскости Φ – *свойство собирательности* (свойство всех проецирующих плоскостей).

Б 19. Параллельность прямой и плоскости, двух плоскостей

Построение чертежа взаимно параллельных прямой и плоскости основано на теореме стереометрии: *если прямая, не лежащая в данной плоскости, параллельна какой-нибудь прямой, лежащей в этой плоскости, то она параллельна данной плоскости*. Пусть через точку M требуется провести прямую, параллельную данной плоскости Γ . Плоскость Γ задана на чертеже треугольником ABC . Начертим в плоскости Γ произвольную прямую (например, прямую SK) и проведем через точку M прямую l , параллельную прямой SK . Прямая l параллельна плоскости Γ .

Построение чертежа двух параллельных плоскостей основано на теореме стереометрии: *если две пересекающиеся прямые одной пл. соответственно параллельны двум прямым другой пл., то плоскости параллельны* (рис). Пусть через точки M и N требуется провести плоскости, параллельные данной плоскости Σ . Плоскость Σ задана треугольником ABC . Проведем через точку M две прямые a и b , параллельные сторонам AB и BC . Пересекающиеся прямые a и b определяют плоскость Σ' , параллельную данной плоскости Σ .

Проведем в данной плоскости $\Sigma(ABC)$ горизонталь h и фронталь f . Плоскость Σ'' , параллельная плоскости Σ , может быть задана горизонталью h'' и фронталью f'' , параллельными горизонтали h и фронтالي f плоскости Σ . Такая плоскость проведена через точку N . Плоскости $\Sigma(h \cap f)$, $\Sigma'(a \cap b)$ и $\Sigma''(h'' \cap f'')$ взаимно параллельны.



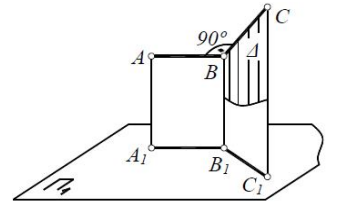
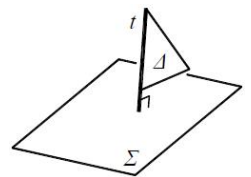
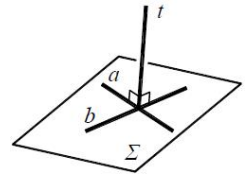
Б 20. Перпендикулярность прямой и плоскости, двух плоскостей

Взаимная перпендикулярность прямой и плоскости:

1) Две прямые в пространстве называются перпендикулярными, если угол между ними равен 90° . Перпендикулярные прямые могут пересекаться, но могут быть и скрещивающимися.

2) Прямая называется перпендикулярной к плоскости, если она перпендикулярна к любой прямой, лежащей в этой плоскости. Если прямая t перпендикулярна какому-нибудь двум пересекающимся прямым, лежащим в плоскости Σ , то прямая t перпендикулярна к этой плоскости Σ .

3) Две пересекающиеся плоскости называются взаимно перпендикулярными, если образованный ими двугранный угол равен 90° . Если плоскость Δ проходит через перпендикуляр к плоскости Σ , то плоскости Δ и Σ взаимно перпендикулярны.



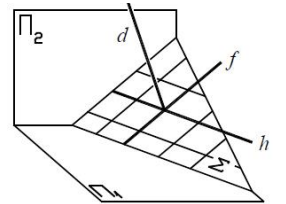
Б 21. Теорема о проекциях прямого угла

Если одна сторона прямого угла параллельна какой-либо плоскости проекций, а другая сторона является прямой общего положения, то прямой угол изображается на этой плоскости проекций прямым углом.

Б 22. Теорема об изображении на комплексном чертеже перпендикуляра к плоскости общего положения

Если прямая d перпендикулярна к плоскости в пространстве, то на комплексном чертеже горизонтальная проекция d_1 прямой d перпендикулярна горизонтальной проекции горизонтали ($d_1 \perp h_1$), а фронтальная проекция d_2 прямой d перпендикулярна фронтальной проекции фронтالي ($d_2 \perp f_2$), принадлежащим этой плоскости.

Доказательство: прямая $d \perp \Sigma$, проведем в пл. Σ произвольные горизонталь h и фронталь f . Т.к. d перпендикуляр к пл. образует прямые углы со всеми прямыми, принадлежащими плоскости, то $d \perp h$ и $d \perp f$. Прямые d и h образуют прямой угол, причем сторона h параллельна горизонтальной плоскости проекций. Следовательно, в соответствии с теоремой 1, горизонтальные проекции прямых d и h взаимно перпендикулярны: $d_1 \perp h_1$. Первая часть теоремы доказана.



Прямые d и f также образуют прямой угол, причем сторона f параллельна фронтальной плоскости проекций. Следовательно, в соответствии с теоремой 1, фронтальные проекции прямых d и f взаимно перпендикулярны: $d_2 \perp f_2$. Вторая часть теоремы, а вместе с тем и вся теорема, доказана. Теорема 2 в символической форме:

если $d \perp \Sigma$, то $d_1 \perp h_1$, а $d_2 \perp f_2$, где h и f – главные линии плоскости Σ .

Б 23. Алгоритм решения 1-ой позиционной задачи

Первая позиционная задача: определение точки (или точек) пересечения произвольной кривой линии с произвольной поверхностью. В простейшем случае надо найти точку пересечения прямой с плоскостью (прямая – это простейшая линия, а плоскость – простейшая поверхность).

Для решения задачи надо выполнить три действия.

1. Через прямую l проведем вспомогательную секущую плоскость Σ и обязательно отметим ее на чертеже $l \subset \Sigma \perp \Pi_2$

2. Секущая плоскость Σ разрезает данную плоскость ABC . Отмечаем на чертеже линию разреза $m(1,2)$

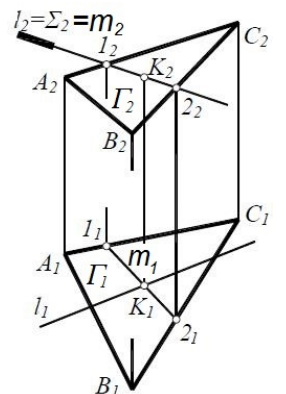
$$\Sigma \cap \Gamma(ABC) = m(1,2)$$

3. Линия разреза $m(1,2)$ и прямая l лежат в одной и той же плоскости (в секущей плоскости Σ). Следовательно, прямые $m(1,2)$ и l пересекутся между собой в некоторой точке K

$$l \cap m(1,2) = K$$

Эта точка и есть искомая точка пересечения прямой l и плоскости ABC .

Для полного решения первой позиционной задачи надо не только найти точку K пересечения прямой с плоскостью, но и показать на чертеже видимые участки этой прямой (определить видимость). Для определения видимости проекций прямой l применяют способ конкурирующих точек. Чтобы определить видимость на горизонтальной плоскости проекций, берем какую-либо пару



чтобы заданные геом. фигуры оказались бы в наивыгоднейшем положении относительно плоскостей проекций.

Способы преобразования комплексного чертежа основаны на одном из следующих принципов:

1) на изменении положения плоскостей проекций относительно неподвижных геом. фигур (*способ замены плоскостей проекций*);

2) на изменении положения заданных геом. фигур относительно плоскостей проекций (*способ плоскопараллельного движения и способ вращения вокруг проецирующей прямой или вокруг прямой уровня*);

3) на изменении направления проецирования, т.е. на замене ортогонального проецирования косоугольным, или центральным на одну из старых плоскостей проекций, или на какую-нибудь новую.

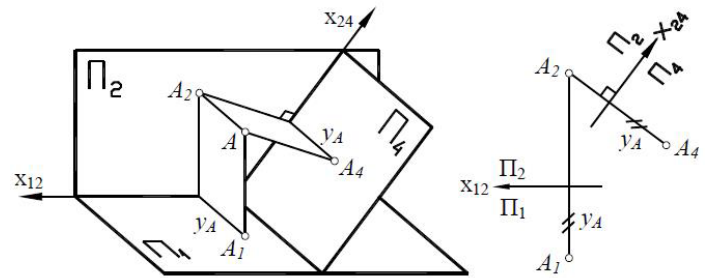
Б 26 Способ замены плоскостей проекций

Сущность способа состоит в том, что одну из заданных плоскостей проекций (Π_1 или Π_2) заменяют новой плоскостью Π_4 . При этом положение второй плоскости проекций и заданных геом. фигур остается неизменным. Новая плоскость проекций Π_4 выбирается с таким расчетом, чтобы она занимала частное положение по отношению к рассматриваемой геом. фигуре и была при этом перпендикулярной к неизменяемой плоскости проекций. Большинство задач решается с применением одного или двух последовательных преобразований исходной системы плоскостей проекций. Одновременно можно заменять только одну плоскость проекций Π_1 (или Π_2), др. плоскость Π_2 (или Π_1) должна оставаться неизменной.

Б 27. Замена горизонтальной плоскости проекций

При переходе от системы координатных плоскостей Π_1/Π_2 к системе координат Π_4/Π_2 остались неизменными (*инвариантными*):

- положение точки A ,
- положение плоскости проекций Π_2 ,
- фронтальная проекция A_2 точки A ,
- глубина y_A точки A (расстояние от точки A до плоскости Π_2).

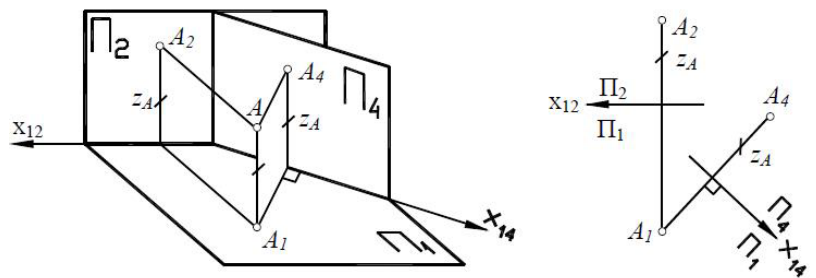


Б 28. Замена фронтальной плоскости проекций

При переходе от системы координатных плоскостей Π_1/Π_2 к системе Π_1/Π_4 остались неизменными (*инвариантными*):

- положение точки A ,
- положение плоскости проекций Π_1 ,
- горизонтальная проекция A_1 точки A ,
- высота z_A точки A (расстояние от точки A до плоскости Π_1).

Новая ось координат x_{14} определяется как линия пересечения неизменяемой плоскости проекций Π_1 с новой плоскостью проекций Π_4 . Линия связи A_1A_4 на новом чертеже (в системе координат Π_1/Π_4) перпендикулярна новой оси координат x_{14} .



Б 29. Замена двух плоскостей проекций

При замене двух плоскостей проекций, обе плоскости сразу не изменяются. Замена происходит в 2 этапа. Для преобразования прямой общего положения в проецирующую прямую необходимо выполнить две последовательные замены плоскостей проекций. В результате первой замены прямая общего положения преобразуется в прямую уровня. В результате второй замены прямая уровня преобразуется в проецирующую прямую. Первая замена плоскостей проекций: $\Pi_1/\Pi_2 \rightarrow \Pi_1/\Pi_4$, где $\Pi_4 \parallel AB$, $\Pi_4 \perp \Pi_1$. Проекция A_4 , B_4 концов отрезка AB на новой плоскости проекций Π_4 определяются в соответствии с основным правилом замены плоскостей проекций: координата любой точки на новой плоскости проекций (на Π_4) равна координате этой же точки на заменяемой плоскости проекций (в данном примере – на Π_2). В системе координат Π_1/Π_4 прямая AB стала прямой уровня ($AB \parallel \Pi_4$). Вторая замена плоскостей проекций: $\Pi_1/\Pi_4 \rightarrow \Pi_5/\Pi_4$, где $\Pi_5 \perp AB$. В системе координат

