



ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А. А. Чекмарев

ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

УЧЕБНИК ДЛЯ ПРИКЛАДНОГО БАКАЛАВРИАТА

12–е издание, исправленное и дополненное

Рекомендовано Учебно–методическим отделом высшего образования в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно–техническим направлениям и специальностям

**Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru**

Москва ■ Юрайт ■ 2014

УДК 744(075.8)

ББК 30.119я73

ЧЗ7

Автор:

Чекмарев Альберт Анатольевич — профессор, доктор педагогических наук, академик РАЕН, профессор кафедры электроники и наноэлектроники факультета электроники и телекоммуникаций Московского института электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Рецензенты:

Лайко М. Ю. — доцент Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова.

Чекмарев, А. А.

ЧЗ7

Инженерная графика : учебник для прикладного бакалавриата / А. А. Чекмарев. — 12-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2014. — 381 с. — Серия : Бакалавр. Прикладной курс.

ISBN 978-5-9916-3860-9

В учебнике в соответствии с программой изложен метод проецирования, позволяющий строить изображения пространственных геометрических образов на плоскости, и рассмотрены способы решения основных задач на чертеже, правила изображения на чертежах деталей и собираемых из них изделий.

Даны основы использования персональных ЭВМ для решения графических задач. Широко использован производственный опыт. Приведены сведения по смежным вопросам конструирования, технологии, измерений. Рассмотрены примеры и даны предложения, облегчающие выполнение самостоятельных графических работ студентами.

Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования четвертого поколения.

Для студентов немашиностроительных специальностей высших учебных заведений.

УДК 744(075.8)

ББК 30.119я73

ISBN 978-5-9916-3860-9

© Чекмарев А. А., 2010

© Чекмарев А. А., 2014, с изменениями

© ООО «ИздательствоЮрайт», 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

При подготовке учебника использован опыт преподавания инженерной графики студентам, специализирующимся по автоматике и телемеханике, по конструированию и производству радиоаппаратуры и аппаратуры вычислительной техники, электронным приборам, физической аппаратуры.

Материал книги расположен последовательно: вначале изложены элементы начертательной геометрии с включением элементов черчения, затем — элементы технического черчения, в конце изложен опыт применения ЭВМ. При изучении гранных поверхностей и поверхностей вращения, являющихся элементами формы технических деталей, целесообразно предварительное эскизирование учебных моделей; это учтено в изложении курса.

Правила нанесения размеров на эскизах и чертежах рассмотрены в связи с технологией изготовления и особенностями конструкции изделия. Рассмотрены также некоторые особенности элементарных измерений деталей.

Для улучшения усвоения теоретического материала и закрепления умений и навыков студентов приведено большое количество практических примеров.

Содержание глав по элементам начертательной геометрии согласовано с задачками [5] и [22].

Автор приносит глубокую благодарность Т. Е. Солнцевой, Ю. Б. Иванову, В. И. Куркину, В. А. Герверу, С. М. Демьяновой, В. М. Щавелину, Г. П. Вяткину, И. Г. Винницкому, М. П. Титовой, В. С. Левицкому, А. В. Верховскому, М. Ф. Киселеву, А. А. Пузикову, Е. Д. Ивановой, Е. И. Федорову, Л. В. Швецовоу и М. Ю. Лайко за помощь в работе.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

В обучении специалистов широкого профиля предусматривается углубление теоретической базы, овладение фундаментальными основами инженерной и управленческой деятельности, существенное улучшение практической подготовки. Инженерная графика относится к базовым общеинженерным дисциплинам, хорошее освоение которой — необходимое условие углубленного овладения фундаментальными инженерными дисциплинами и эффективного использования компьютерно-графических систем для автоматизации изготовления чертежей.

Инженерная графика включает элементы начертательной геометрии (теоретические основы построения чертежей геометрических фигур), технического черчения (составление чертежей изделий) и машинной графики.

Предметом изучения являются чертежи деталей и сборочных единиц различных видов аппаратуры и технологического оснащения, теоретические основы и технологические средства их выполнения, соответствующая система конструкторской документации.

Целью курса является базовая общеинженерная подготовка: развитие пространственного представления и воображения, конструктивно-геометрического мышления на основе графических моделей пространственных форм, выработка знаний и навыков, необходимых для выполнения и чтения чертежей деталей и сборочных единиц, выполнения эскизов, составления конструкторской документации для производства, начальная подготовка в качестве пользователей графических пакетов прикладных программ машинной графики.

В результате изучения инженерной графики студент должен владеть следующими компетенциями:

знать

- теоретические основы построения изображений точек, прямых, плоскостей и отдельных видов пространственных линий и поверхностей на плоскости;
- способы решения задач (частные случаи) на взаимную принадлежность и взаимное пересечение геометрических фигур, а также на определение натуральной величины плоских геометрических фигур;

- способы построения изображений простых предметов и относящиеся к ним условности;

• стандарты «Единой системы конструкторской документации» (ЕСКД);

- изображения двух-трех видов соединений деталей;

уметь

- определить геометрические формы простых деталей по их изображениям и выполнить эти изображения с натуры и по чертежу изделия или его элементов;

- наносить размеры на рабочих чертежах и эскизах деталей и сборочных единиц;

- читать чертежи технических устройств, состоящих из 10—14 простых деталей, а также выполнять эти чертежи с учетом требований стандартов;

- пользоваться изученными стандартами этой системы;

владеть

- техникой черчения по стандартам ЕСКД;

- графическими редакторами на персональных ЭВМ, выполняя геометрическое моделирование и пользуясь основами автоматизированного выполнения чертежей деталей.

Занятия по инженерной графике развивают способность к пространственному представлению.

Умение мысленно представить форму предметов и их взаимное расположение в пространстве особенно важно для эффективного использования современных технических средств на базе вычислительной техники при машинном проектировании технических устройств и технологии их изготовления.

В процессе изучения инженерной графики студенты осваивают основные положения ЕСКД, в которых установлены взаимосвязанные правила и положения по порядку разработки, оформления и обращения к конструкторской документации, которые обязательны для всех организаций и предприятий России.

Установленные в ЕСКД единые правила обеспечивают:

- возможность взаимообмена конструкторскими документами между организациями и предприятиями без их переоформления;

- стабилизацию комплектности, исключаящую дублирование и разработку не требуемому производству документов;

- возможность расширения унификации при конструкторской разработке проектов промышленных изделий;

- упрощение форм конструкторских документов и графических изображений, снижающих трудоемкость проектно-конструкторских разработок промышленных изделий;

- механизацию и автоматизацию обработки технических документов и содержащейся в них информации;
- улучшение условий технической подготовки производства;
- улучшение условий эксплуатации промышленных изделий;
- оперативную подготовку документации для быстрой переналадки действующего производства.

Установленные стандартами ЕСКД объем и содержание данных и технических показателей, включаемых в конструкторские документы, служат основанием для разработки:

- систем и программ их механизированной обработки;
- цифровых кодов, шифрующих данные, содержащиеся в конструкторских документах;
- стандартных программ для статистической обработки информации, содержащейся в конструкторских документах и их классификационных обозначениях;
- систем регистрации конструкторских документов на машинных носителях, обеспечивающих ускоренную выдачу требуемой информации и ее обработку с использованием ЭВМ.

Глава первая

МЕТОД ПРОЕКЦИЙ

В основе правил построения изображений, рассматриваемых в начертательной геометрии и применяемых в техническом черчении, лежит метод проекции*. Изучение начинают с построения проекций точки, так как при построении изображения любой пространственной формы рассматривается ряд точек, принадлежащих этой форме.

В книге приняты следующие обозначения:

1. Точки в пространстве — заглавными буквами латинского алфавита до буквы *O*: *A, B, C, ... N, O*, а также цифрами.

2. Последовательность точек (и других элементов) — подстрочными индексами: A_1, A_2, A_3, \dots .

3. Линии в пространстве — по точкам, определяющим линию.

4. Углы — строчными буквами греческого алфавита.

5. Плоскости — строчными буквами греческого алфавита: $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \eta, \dots$.

6. Поверхности — строчными буквами греческого алфавита: δ, ϵ, ρ и т. д.

7. Плоскости проекций: произвольная плоскость — π , горизонтальная — π_1 , фронтальная — π_2 , профильная — π_3 , дополнительные — π_4, π_5 . Центр проецирования — буквой *S*.

8. Оси проекций — строчными буквами *x, y, z* или (при введении дополнительных плоскостей) $\pi_2/\pi_1, \pi_2/\pi_3, \pi_2/\pi_4, \pi_1/\pi_4$. Начало координат — заглавной буквой *O*.

9. Проекции точек: на произвольную плоскость π — $A^\circ, B^\circ, C^\circ, \dots$, на горизонтальную плоскость — A', B', C', \dots , на фронтальную плоскость — A'', B'', C'', \dots , на профильную плоскость — A''', B''', C''', \dots , на дополнительную плоскость $A^{IV}, B^{IV}, C^{IV}, \dots$.

10. Проекции линии — по проекциям точек, определяющим линию.

11. Для проецирующих плоскостей проекция плоскости: β' — горизонтально проецирующая плоскость, β'' — фронтально проеци-

* От латинского *projectio* — бросание вперед, вдали (от *projicere* — бросить, выставить вперед).

рующая плоскость, β'' — профилно проецирующая плоскость. Точки схода следов плоскости — обозначением плоскости с индексом обозначения соответствующей оси.

12. При образовании чертежа вращением (или совмещением) в новом положении точки — $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \dots$ плоскости, следов плоскости — $\bar{\alpha}, \bar{\beta}, \bar{\gamma}, \dots$ После второго вращения соответственно $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \dots, \bar{\alpha}, \bar{\beta}, \bar{\gamma}, \dots$

1.1. ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ И ИХ ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

При **центральной проецировании** — построении центральных проекций — задают плоскость проекций и центр проецирования — точку, не лежащую в плоскости проекций. На рис. 1.1 плоскость π — плоскость проекций, точка S — центр проецирования.

Для проецирования произвольной точки через нее и центр проецирования проводят прямую. Точка пересечения этой прямой с плоскостью проекций и является центральной проекцией заданной точки на выбранной плоскости проекций.

На рис. 1.1 центральной проекцией точки A является точка A° пересечения прямой SA с плоскостью π . Также построены центральные проекции $B^\circ, C^\circ, D^\circ$ точек B, C, D на плоскости π .

Прямые, проходящие через центр проецирования и проецируемые точки, называют проецирующими прямыми.

Центральные проекции B° и C° двух различных точек B и C в пространстве, которые располагаются на одной проецирующей прямой, совпадают. Все множество точек пространства, принадлежащих од-

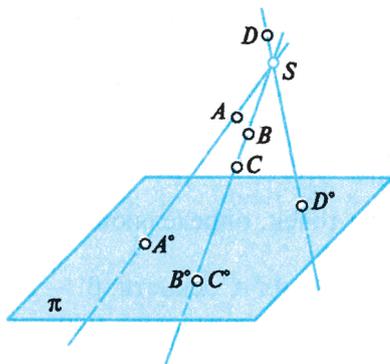


Рис. 1.1

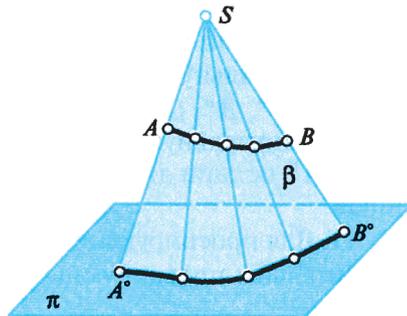


Рис. 1.2

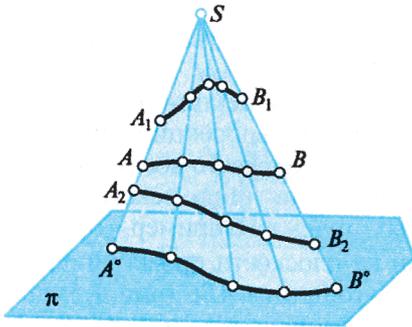


Рис. 1.3

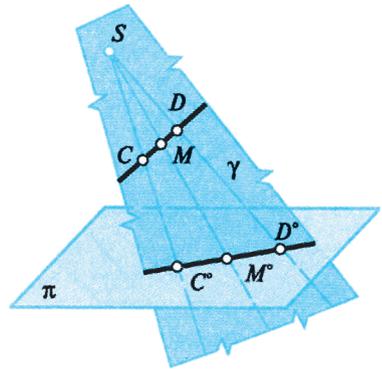


Рис. 1.4

ной проецирующей прямой, имеет при одном центре проецирования одну центральную проекцию на заданной плоскости проекций.

Следовательно, при заданных плоскости проекций и центре проецирования одна точка в пространстве имеет одну центральную проекцию. Но одна центральная проекция точки не позволяет однозначно определить положение точки в пространстве, т. е. нет обратимости чертежа.

Для обеспечения обратимости чертежа, т. е. однозначного определения положения точки в пространстве по ее проекции, нужны дополнительные условия, например можно задать второй центр проецирования. Центральным проецированием может быть построена проекция любой линии или поверхности как множество проекций всех ее точек. При этом проецирующие прямые в своей совокупности, проведенные через все точки кривой линии, образуют проецирующую коническую поверхность (рис. 1.2) или могут оказаться в одной плоскости как, например, в случае, показанном на рис. 1.4.

Проекция кривой линии представляет собой линию пересечения проецирующей конической поверхности с плоскостью проекций. Так, на рис. 1.2 проецирующая коническая поверхность β пересекается с плоскостью проекций π по кривой $A^\circ B^\circ$, являющейся проекцией линии AB . Однако проекция линии не определяет проецируемую линию, так как на проецирующей поверхности может быть бесчисленное количество линий, проецирующихся в одну и те же линию на плоскости проекций (рис. 1.3).

При проецировании прямой линии, не проходящей через центр проецирования, проецирующей поверхностью служит плоскость. Так, на рис. 1.4 проецирующая плоскость γ , образуемая проецирующими прямыми SC и SD , проходящими через точки C и D прямой, пе-

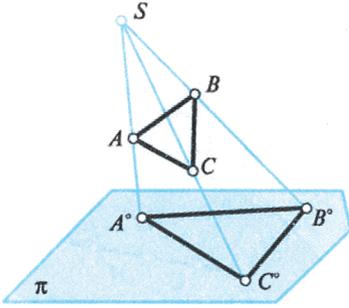


Рис. 1.5

ресекает плоскость проекций π по прямой $C^{\circ}D^{\circ}$, которая и является проекцией прямой CD . Соответственно проекция M° точки M прямой CD принадлежит и проекции $C^{\circ}D^{\circ}$.

Для построения проекций линий, поверхностей или тел часто достаточно построить проекции лишь некоторых характерных точек. Например, при построении на плоскости проекций π проекции треугольника ABC (рис. 1.5) достаточно построить проекции $A^{\circ}, B^{\circ}, C^{\circ}$

трех его точек — вершин A, B, C .

Обобщая, отметим следующие **свойства центрального проецирования**.

1. При центральном проецировании:

а) точка проецируется точкой;

б) прямая, не проходящая через центр проецирования, проецируется прямой (проецирующая прямая — точкой);

в) плоская (двумерная) фигура, не принадлежащая проецирующей плоскости, проецируется двумерной фигурой (фигуры, принадлежащие проецирующей плоскости, проецируются вместе с ней в виде прямой);

г) трехмерная фигура отображается двумерной.

2. Центральные проекции фигур сохраняют взаимную принадлежность, непрерывность и некоторые другие геометрические свойства.

3. При заданном центре проецирования фигуры на параллельных плоскостях подобны.

4. Центральное проецирование устанавливает однозначное соответствие между фигурой и ее изображением, например изображения на киноэкране, фотопленке.

Центральные проекции применяют для изображения предметов в перспективе. Изображения в центральных проекциях наглядны, но для технического черчения неудобны.

1.2. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ И ИХ ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

Параллельное проецирование (рис. 1.6) можно рассматривать как частный случай центрального проецирования, при котором центр проецирования удален в бесконечность (S_{∞}). При параллельном проецировании применяют параллельные проецирующие прямые, проведенные в заданном направлении относительно плоскости проек-

$AA^\circ \parallel CC^\circ \parallel S_\infty$. Следовательно, проекции $M^\circ N^\circ$ и $K^\circ L^\circ$ параллельны как линии пересечения параллельных плоскостей β и γ с плоскостью π .

Отметим на прямой MN произвольный отрезок AB и на прямой KL произвольный отрезок CD . Проведем в плоскости β через точку A прямую $A-1 \parallel A^\circ B^\circ$ и в плоскости γ через точку C прямую $C-2 \parallel C^\circ D^\circ$. Отрезки $[A-1] \cong [A^\circ B^\circ]$, $[C-2] \cong [C^\circ D^\circ]$ как отрезки параллельных между параллельными. Отрезки $C-2 \parallel C^\circ D^\circ \parallel A^\circ B^\circ$ и, следовательно, $C-2 \parallel A-1$. Отрезки $B-1 \parallel D-2 \parallel S_\infty$. $\Delta AB-1 \sim \Delta CD-2$, так как все их стороны взаимно параллельны. Из подобия треугольников $AB-1$ и $CD-2$ следует:

$$|AB| : |CD| = |A-1| : |C-2| = |A^\circ B^\circ| : |C^\circ D^\circ|.$$

Из рассмотренного следует:

а) если длина отрезка прямой делится точкой в каком-либо отношении, то и длина проекции отрезка делится проекцией этой точки в том же отношении (рис. 1.8):

$$|AK| : |KB| = |A^\circ K^\circ| : |K^\circ B^\circ|;$$

б) проекции равных по длине отрезков взаимно параллельных прямых взаимно параллельны и равны по длине.

Это очевидно, так как (см. рис. 1.7) при $|AB| : |CD| = 1$ будет $|A^\circ B^\circ| = |C^\circ D^\circ|$. Поэтому при косоугольном проецировании в общем случае параллелограмм, ромб, прямоугольник, квадрат проецируются в параллелограмм.

2. Плоская фигура, параллельная плоскости проекций, проецируется при параллельном проецировании на эту плоскость в такую же фигуру.

3. Параллельный перенос фигуры в пространстве или плоскости проекций не изменяет вида и размеров проекции фигуры.

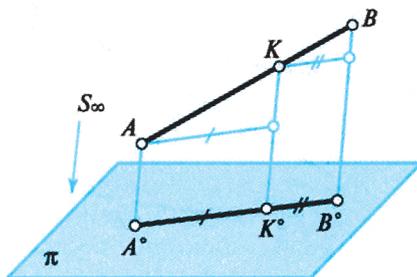


Рис. 1.8

Параллельные проекции, как и центральные при одном центре проецирования, также не обеспечивают обратимости чертежа.

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

Параллельные проекции применяют для построения наглядных изображений различных технических устройств и их деталей.

1.3. ПРЯМОУГОЛЬНОЕ (ОРТОГОНАЛЬНОЕ) ПРОЕЦИРОВАНИЕ

Частный случай параллельного проецирования, при котором направление проецирования перпендикулярно плоскости проекций, называют **прямоугольным** или **ортогональным проецированием**. Прямоугольной (ортогональной) проекцией точки называют основание перпендикуляра, проведенного из точки на плоскость проекций. Прямоугольная проекция D° точки D показана на рис. 1.9.

Наряду со свойствами параллельных (косоугольных) проекций **ортогональное проецирование имеет следующее свойство:**

ортогональные проекции двух взаимно перпендикулярных прямых, одна из которых параллельна плоскости проекций, а другая не перпендикулярна ей, взаимно перпендикулярны.

На рис. 1.10 $\hat{A}BC = 90^\circ$; $(AB) \parallel \pi$; $(CB) \not\parallel \pi$. Докажем, что $A^\circ \hat{B}^\circ C^\circ = 90^\circ$.

Проецирующая прямая BB° перпендикулярна плоскости проекций π , проекции $B^\circ A^\circ$ и прямой BA . Плоскость $\beta (\beta \supset BB^\circ$; $\beta \supset BC$) перпендикулярна прямой BA , так как она перпендикулярна двум пересекающимся прямым этой плоскости ($\hat{A}BC = 90^\circ$ — по условию, а $\hat{A}BB^\circ = 90^\circ$ по построению). Проекция $B^\circ A^\circ$ перпендикулярна плоскости β , так как $(B^\circ A^\circ) \parallel (BA)$. Следовательно, проекция плоскости β на плоскости π — прямая KL перпендикулярна проекции $B^\circ A^\circ$, а с прямой KL совпадает проекция $B^\circ C^\circ$, т. е. $A^\circ \hat{B}^\circ C^\circ = 90^\circ$, что и требовалось доказать.

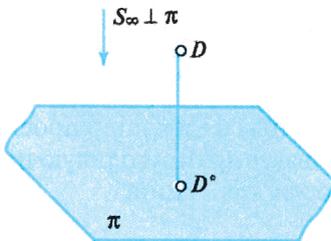


Рис. 1.9

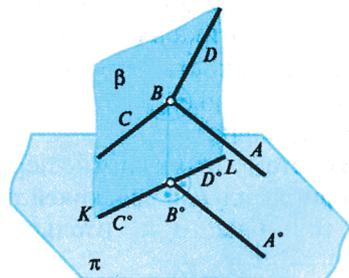


Рис. 1.10

Соответственно при $D\hat{B}A = 90^\circ$, $(DB) \nparallel \pi$ и $(AB) \parallel \pi$ имеем $D^\circ \hat{B}^\circ A^\circ = 90^\circ$.

Ортогональное проецирование имеет ряд преимуществ перед центральным и косоугольным параллельным проецированием. К ним в первую очередь относятся простота геометрических построений ортогональных проекций точек и сохранение на проекциях при определенных условиях формы и размеров проецируемой фигуры.

Указанные преимущества обеспечили применение ортогонального проецирования для разработки чертежей во всех отраслях промышленности и в строительстве.

1.4. ПРОЕЦИРОВАНИЕ НА ДВЕ ПЛОСКОСТИ ПРОЕКЦИЙ

Обратимость чертежа, т. е. однозначное определение положения точки в пространстве по ее проекциям, может быть обеспечена проецированием на две непараллельные плоскости проекций.

Для удобства проецирования в качестве двух плоскостей проекций выбирают две взаимно перпендикулярные плоскости (рис. 1.11). Одну из них принято располагать горизонтально — ее называют **горизонтальной плоскостью проекций**, другую — вертикально, параллельно плоскости чертежа. Такую вертикальную плоскость называют **фронтальной плоскостью проекций**. Эти плоскости проекций пересекаются по линии, называемой **осью проекций**.

Ось проекций разделяет каждую из плоскостей проекций на две полуплоскости, или полы.

Обозначим плоскости проекций: π_2 — фронтальную, π_1 — горизонтальную, ось проекций — буквой x или в виде дроби π_2/π_1^* . Плоскости проекций π_2 и π_1 образуют систему π_2, π_1 .

Плоскости проекций, пересекаясь, образуют четыре двугранных угла, из которых приведенный на рис. 1.11 (с обозначениями граней π_2, π_1) считают первым.

В промышленности чертежи многих деталей выполняют также в системе двух взаимно перпендикулярных плоскостей, пересекающихся по вертикальной оси проекций z (рис. 1.12). При этом фронтальной плоскостью проекций оставляют также плоскость π_2 , а перпендикулярную ей и обозначаемую π_3 , называют **профильной плоскостью проекций**.

В системе двух взаимно перпендикулярных плоскостей проекций: **горизонтальной проекцией точки** называют прямоугольную проекцию точки на горизонтальной плоскости проекций;

* Наряду с указанными обозначениями плоскостей проекций в литературе применяют и другие обозначения, например буквами V, H, W .

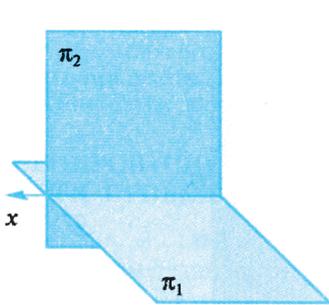


Рис. 1.11

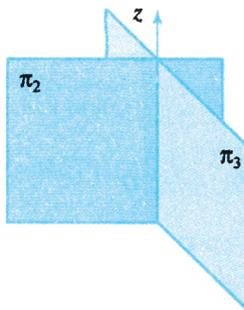


Рис. 1.12

фронтальной проекцией точки называют прямоугольную проекцию точки на фронтальной плоскости проекций.

Наглядное изображение построения проекций произвольной точки A в системе π_2, π_1 показано на рис. 1.13. Горизонтальную проекцию, обозначенную A' , находят как пересечение перпендикуляра, проведенного из точки A к плоскости π_1 , с этой плоскостью. Фронтальную проекцию, обозначенную A'' , находят как пересечение перпендикуляра, проведенного из точки A к плоскости π_2 , с этой плоскостью.

Проецирующие прямые AA'' и AA' , перпендикулярные к плоскостям π_2 и π_1 , принадлежат плоскости α . Она перпендикулярна плоскостям проекций и пересекает ось проекций в точке A_x . Три взаимно перпендикулярные плоскости α, π_2 и π_1 пересекаются по взаимно перпендикулярным прямым, т. е. прямые $A''A_x, A'A_x$ и ось x взаимно перпендикулярны.

Построение некоторой точки A в пространстве по двум заданным ее проекциям — фронтальной A'' и горизонтальной A' — показано на рис. 1.14. Точку A находят в пересечении перпендикуляров, прове-

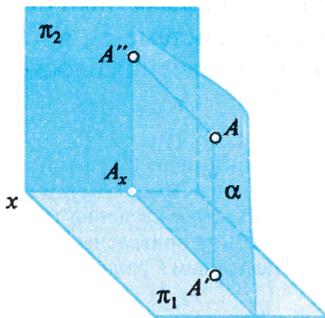


Рис. 1.13

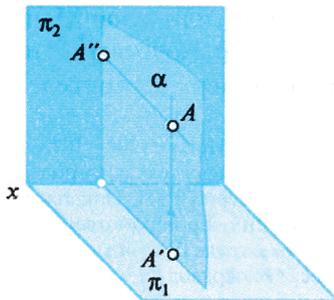


Рис. 1.14

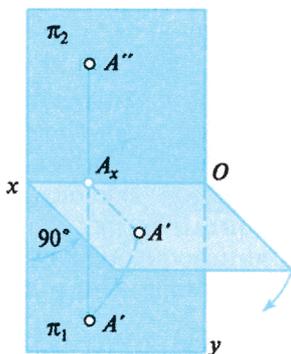


Рис. 1.15

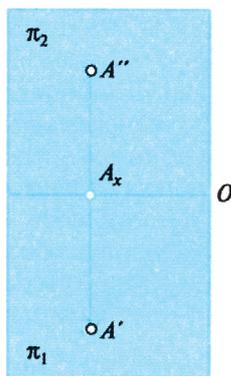


Рис. 1.16

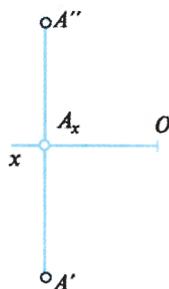


Рис. 1.17

денных из проекции A'' к плоскости π_2 и из проекции A' к плоскости π_1 . Проведенные перпендикуляры принадлежат одной плоскости α , перпендикулярной плоскостям π_2 и π_1 , и пересекаются в единственной искомой точке A пространства.

Таким образом, две прямоугольные проекции точки вполне определяют ее положение в пространстве относительно данной системы взаимно перпендикулярных плоскостей проекций.

Рассмотренное наглядное изображение точки в системе π_2, π_1 для целей черчения неудобно ввиду сложности. Преобразуем его так, чтобы горизонтальная плоскость проекций совпала с фронтальной плоскостью проекций, образуя одну плоскость чертежа. Это преобразование осуществляют (рис. 1.15) путем поворота вокруг оси x плоскости π_1 на угол 90° вниз. При этом отрезки $A_x A''$ и $A_x A'$ образуют один отрезок $A''A'$, расположенный на одном перпендикуляре к оси проекции — на линии связи. В результате указанного совмещения плоскостей π_2 и π_1 получается чертеж — рис. 1.16, известный под названием эпюр* или эпюр Монжа. Это чертеж в системе π_2, π_1 (или в системе двух прямоугольных проекций). Без обозначения плоскостей π_2 и π_1 этот чертеж приведен на рис. 1.17.

Гаспар Монж (1746—1818) — французский ученый, общественный и государственный деятель в период французской революции 1789—1794 гг. и правления Наполеона I [7]. Накапливавшиеся с древних времен сведения и приемы изображения пространственных форм на плоскости были приведены в систему и развиты в труде Г. Монжа, изданном в 1799 г. под названием *Géométrie descriptive* (русский перевод [13]).

* Еpure (франц.) — чертеж, проект.