



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 ■ 2015

УДК 744(075.8)
ББК 30.119я73
Ч37

Автор:

Чекмарев Альберт Анатольевич — профессор, доктор педагогических наук, академик Российской академии естественных наук, 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.

Ч37

Инженерная графика : учебник для прикладного бакалавриата / А. А. Чекмарев. — 12-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2015. — 381 с. — Серия : Бакалавр. Прикладной курс.

ISBN 978-5-9916-4893-6

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 актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов немашиностроительных специальностей высших учебных заведений.

УДК 744(075.8)

ББК 30.119я73

ISBN 978-5-9916-4893-6

© Чекмарев А. А., 2010

© Чекмарев А. А., 2014, с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2015

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. Швецовой 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 требуемых 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 ,

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

4. Углы — строчными буквами греческого алфавита.

5. Плоскости — строчными буквами греческого алфавита: α , β , γ , δ , η ,

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) π_2/π_1 , π_2/π_3 , π_2/π_4 , π_1/π_4 . Начало координат — заглавной буквой *O*.

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

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, вдаль (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 $\bar{\bar{A}}, \bar{\bar{B}}, \bar{\bar{C}}, \dots, \bar{\bar{\alpha}}, \bar{\bar{\beta}}, \bar{\bar{\gamma}}, \dots$

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-

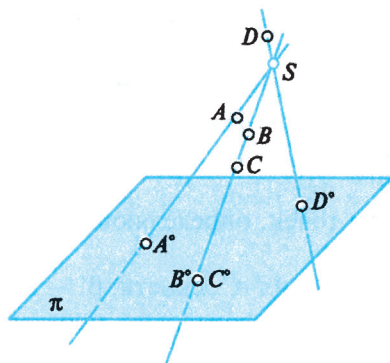


Рис. 1.1

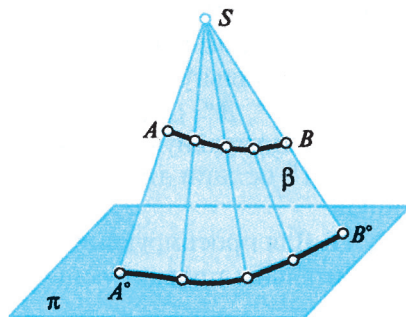


Рис. 1.2

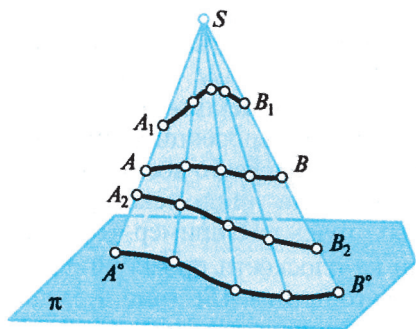


Рис. 1.3

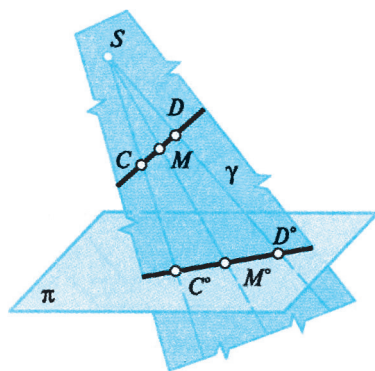


Рис. 1.4

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 ту 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-

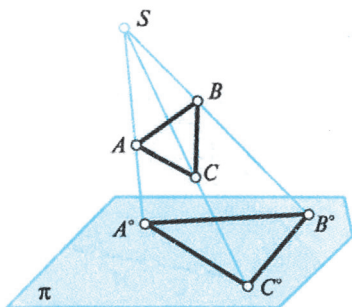


Рис. 1.5

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° , B° , C°

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-

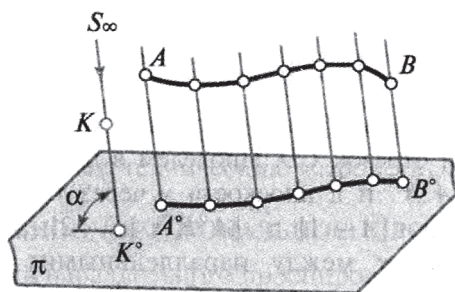


Рис. 1.6

ций. Если направление проецирования перпендикулярно плоскости проекций, то проекции называют прямоугольными или ортогональными, в остальных случаях — косоугольными (на рис. 1.6 направление проецирования указано стрелкой под углом $\alpha \neq 90^\circ$ к плоскости проекций π).

При параллельном проецировании сохраняются все свойства центрального проецирования, а также возникают следующие новые свойства.

1. Параллельные проекции взаимно параллельных прямых параллельны, а отношение длин отрезков таких прямых равно отношению длин их проекций.

Если прямые MN и KL (рис. 1.7) параллельны, то проецирующие плоскости β и γ параллельны, так как пересекающиеся прямые в этих плоскостях взаимно параллельны: $MN \parallel KL$ — по условию,

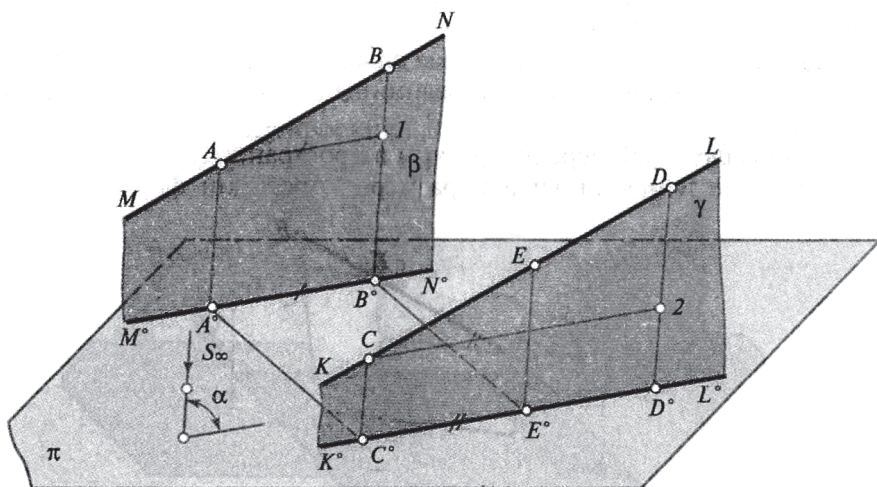


Рис. 1.7

$AA^\circ \parallel CC^\circ \parallel S_\infty$. 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 $B-1 \parallel D-2 \parallel S_\infty$. $\triangle AB-1 \sim \triangle CD-2$, 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.

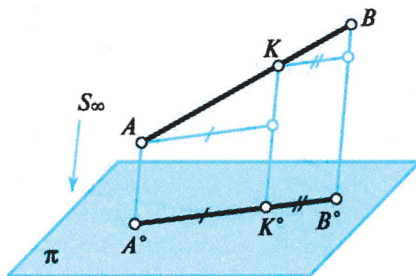


Рис. 1.8