

УДК 004.4'27
ББК 32.973.26-018.2
Б79

Большаков, В. П.

Б79 Инженерная и компьютерная графика. Теоретический курс и тестовые задания: учеб. пособие / В. П. Большаков, А. В. Чагина. — СПб.: БХВ-Петербург, 2016. — 384 с.: ил. — (Учебная литература для вузов)
ISBN 978-5-9775-3768-1

Учебник состоит из трех частей. В частях I и II рассматривается традиционный (классический) для дисциплины «Инженерная и компьютерная графика» материал — элементы начертательной геометрии и основы инженерной графики, необходимые для построения изображений и создания конструкторской документации: основные положения начертательной геометрии, формирующие навыки пространственного представления геометрических объектов; элементы инженерной графики, изучающей правила разработки и чтения технической документации; элементы компьютерной графики, знакомящей с общими принципами создания твердотельных моделей и чертежей. Часть III знакомит с современным подходом к автоматизированному проектированию изделий, когда конструкторская документация создается на основе трехмерного моделирования этих изделий. В приложениях представлены тестовые задания, направленные на повышение результативности освоения основ твердотельного моделирования.

Для студентов высших и средних учебных заведений

УДК 004.4'27
ББК 32.973.26-018.2

Группа подготовки издания:

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Людмила Еремеевская</i>
Зав. редакцией	<i>Екатерина Капалыгина</i>
Редактор	<i>Григорий Добин</i>
Компьютерная верстка	<i>Ольги Сергиенко</i>
Корректор	<i>Зинаида Дмитриева</i>
Дизайн серии	<i>Инны Тачиной</i>
Оформление обложки	<i>Марины Дамбиевой</i>
Фото	<i>Кирилла Сергеева</i>

Подписано в печать 30.06.16.
Формат 70×100^{1/16}. Печать офсетная. Усл. печ. л. 30,96.
Тираж 1200 экз. Заказ №
"БХВ-Петербург", 191036, Санкт-Петербург, Гончарная ул., 20.
Первая Академическая типография "Наука"
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12/28

Оглавление

Предисловие	11
ЧАСТЬ I. ЭЛЕМЕНТЫ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ.....	13
Глава 1. Изображение геометрических элементов	
в ортогональных проекциях	15
1.1. Метод проекций. Виды проецирования.....	16
1.2. Инвариантные свойства прямоугольного проецирования	18
1.3. Комплексный чертеж точки.....	18
1.4. Задание и изображение прямой.....	20
1.5. Положение прямой относительно плоскостей проекций	21
1.6. Взаимное положение прямых.....	22
1.7. Проецирование плоских углов	23
1.8. Плоскость	24
1.8.1. Главные линии плоскости.....	26
1.9. Линия	26
1.9.1. Основные способы образования плоских кривых	27
1.10. Поверхности.....	29
1.10.1. Гранные поверхности и многогранники.....	29
1.10.2. Поверхности вращения	30
1.10.3. Винтовые поверхности.....	31
1.11. Тесты.....	32
Глава 2. Способы преобразования чертежа.....	35
2.1. Способ замены плоскостей проекций.....	35
2.1.1. Преобразование прямой общего положения в прямую уровня (ИЗПЧ 1)	35
2.1.2. Преобразование прямой общего положения в проецирующую прямую (ИЗПЧ 2)	37
2.1.3. Преобразование плоскости общего положения в проецирующую плоскость (ИЗПЧ 3).....	37
2.1.4. Преобразование плоскости общего положения в плоскость уровня (ИЗПЧ 4).....	38
2.2. Способ вращения	39
2.2.1. Вращение вокруг проецирующей прямой	39
2.2.2. Вращение плоскости вокруг линии уровня	40
2.3. Тест	41

Глава 3. Позиционные задачи.....	43
3.1. Принадлежность точки поверхности	43
3.2. Пересечение прямой с проецирующей плоскостью	44
3.3. Пересечение плоскостей	45
3.3.1. Пересечение двух плоскостей общего положения, заданных следами.....	46
3.3.2. Пересечение двух плоскостей, заданных прямыми общего положения.....	46
3.4. Плоские сечения	47
3.4.1. Пересечение гранной поверхности с плоскостью.....	47
3.4.2. Пересечение сферы с плоскостью.....	47
3.4.3. Пересечение цилиндра с плоскостью	48
3.4.4. Пересечение конуса с плоскостью	49
3.5. Пересечение прямой с плоскостью общего положения	49
3.6. Пересечение прямой с многогранником.....	50
3.7. Пересечение прямой со сферой.....	51
3.8. Пересечение прямой с цилиндром	51
3.9. Пересечение прямой с конусом.....	52
3.10. Пересечение поверхностей	53
3.10.1. Способ вспомогательных проецирующих плоскостей.....	54
3.10.2. Способ вспомогательных плоскостей общего положения.....	54
3.10.3. Способ вспомогательных секущих сфер	55
3.11. Тест	56
Глава 4. Метрические задачи	57
4.1. Построение взаимно перпендикулярных прямых, прямой и плоскости, плоскостей.....	57
4.1.1. Взаимно перпендикулярные прямые	57
4.1.2. Взаимно перпендикулярные прямая и плоскость	58
4.1.3. Взаимно перпендикулярные плоскости.....	59
4.2. Задачи на определение расстояний	60
4.2.1. Способ прямоугольного треугольника	60
4.2.2. Построение четырех исходных задач преобразования чертежа.....	60
4.3. Задачи на определение углов.....	62
4.4. Развертки поверхностей.....	62
4.4.1. Способ триангуляции	63
4.4.2. Способ нормальных сечений.....	64
4.4.3. Способ раскатки	64
4.5. Тест	65
ЧАСТЬ II. ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКИ	67
Глава 5. Основные сведения о конструкторской документации и ее оформлении	69
5.1. Состав и классификация стандартов ЕСКД	69
5.2. Виды изделий	70
5.3. Обозначение изделий	71
5.4. Виды конструкторских документов	72
5.5. Стадии разработки конструкторских документов	73
5.6. Стандарты оформления чертежей.....	74
5.6.1. Форматы (ГОСТ 2.301-68).....	74

5.6.2. Масштабы (ГОСТ 2.302-68)	75
5.6.3. Линии (ГОСТ 2.303-68).....	75
5.6.4. Шрифты (ГОСТ 2.304-81).....	76
5.6.5. Обозначения графических материалов и правила их нанесения на чертежах (ГОСТ 2.306-68).....	77
5.6.6. Основные надписи (ГОСТ 2.104-68).....	78
5.7. Тест	80
Глава 6. Изображение изделий на чертеже	81
6.1. Основные положения и определения	81
6.2. Виды	83
6.3. Разрезы	84
6.4. Сечения.....	87
6.5. Выносные элементы	89
6.6. Условности и упрощения	89
6.7. Аксонометрические проекции.....	93
6.7.1. Классификация аксонометрических проекций	93
6.7.2. Построение аксонометрических проекций фигур	95
6.7.3. Условности и нанесение размеров	96
6.8. Тест	97
6.9. Разбор карты тестирования по расположению видов на чертеже	98
Глава 7. Нанесение размеров на чертежах.....	101
7.1. Основные требования и определения	101
7.2. Основные правила нанесения размеров.....	102
7.3. Упрощенное нанесение размеров отверстий	109
7.4. Нормальные линейные и угловые размеры	110
7.5. Тест	111
Глава 8. Чертежи деталей	113
8.1. Детали с формой тела вращения	113
8.2. Детали, получаемые штамповкой	118
8.3. Колесо зубчатое	119
8.4. Пружины.....	122
8.5. Эскизирование	124
8.6. Тест	126
Глава 9. Изображение разъемных соединений	127
9.1. Изображение резьбы	127
9.2. Изображение резьбовых соединений.....	131
9.3. Технические требования к болтам, винтам, шпилькам, гайкам	131
9.3.1. Классы прочности.....	132
9.3.2. Группы прочности	132
9.3.3. Классы точности	132
9.3.4. Покрытия.....	132
9.3.5. Схема условного обозначения	133
9.4. Соединения крепежными деталями	133
9.4.1. Болтовое соединение.....	134
9.4.2. Шпилечное соединение.....	135

9.4.3. Винтовое соединение	137
9.4.4. Гайка, шайба, шплинт	139
9.5. Шпоночное соединение	140
9.6. Штифтовое соединение	141
9.7. Тест	142
Глава 10. Изображение неразъемных соединений	143
10.1. Клепаные соединения	143
10.2. Соединения паяные и клееные	144
10.3. Соединения, получаемые опрессовкой или заливкой арматуры	147
10.3.1. Выполнение чертежей армированных изделий	147
10.3.2. Пример оформления конструкторской документации армированного изделия	149
10.4. Соединения сваркой	150
10.5. Соединения методом деформации	154
10.6. Тест	155
Глава 11. Конструкторская документация сборочных единиц	157
11.1. Спецификация	157
11.2. Сборочный чертеж	159
11.2.1. Номера позиций	159
11.2.2. Линии-выноски	159
11.2.3. Возможные упрощения	160
11.3. Завершение выполнения сборочного чертежа и спецификации	161
11.4. Тест	165
Глава 12. Детализирование чертежей общего вида	167
12.1. Общие сведения о детализировании	167
12.2. Групповые конструкторские документы (КД)	168
12.3. Детализирование чертежа общего вида крана	168
12.4. Тест	174
12.5. Разбор карты тестирования по чтению формы элементов детали	175
Глава 13. Схемы	177
13.1. Общие сведения	177
13.2. Виды и типы схем	177
13.3. Общие требования к выполнению схем	177
13.3.1. Построение схемы	177
13.3.2. Графические обозначения	178
13.3.3. Линии связи	178
13.3.4. Обозначения и перечень элементов	179
13.4. Правила выполнения электрических схем	179
13.4.1. Структурная схема	179
13.4.2. Функциональная схема	180
13.4.3. Принципиальная схема	182
Редактирование схемы	183
Простановка буквенно-цифровых обозначений элементов	184
Заполнение перечня элементов	185
13.5. Тест	185

ЧАСТЬ III. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ.....	187
Глава 14. Введение в геометрическое моделирование	189
14.1. Классификация направлений компьютерной графики. Геометрическая модель	189
14.2. Электронная модель изделия.....	191
14.3. Линейка продуктов КОМПАС для учебных целей.....	193
14.4. Тест	195
Глава 15. Общие принципы создания параметризованных эскизов, твердотельных моделей и ассоциативных чертежей	197
15.1. Основные термины трехмерной модели.....	197
15.2. Использование объектных привязок.....	198
15.3. Параметризация. Использование ограничений.....	200
15.4. Графические примитивы.....	201
15.5. Редактирование изображений.....	203
15.5.1. Выбор (выделение) объектов.....	203
15.5.2. Команды редактирования	203
15.6. Создание и использование групп графических примитивов	205
15.6.1. Параметрические библиотеки	205
15.6.2. Работа с конструкторской библиотекой	205
15.7. Оформление элементов чертежа	207
15.7.1. Нанесение размеров	207
Размеры линейные	207
Размеры угловые	209
Размеры диаметральные	209
Размеры радиальные.....	210
Размеры толщины или длины	210
Размеры конусности и уклона.....	210
15.7.2. Штриховка замкнутых областей	210
15.7.3. Нанесение чертежных символов	211
Знак шероховатости.....	211
Линии-выноски.....	211
Линии разреза или сечения	212
15.7.4. Формирование и редактирование текстовой информации	212
Текстовые строки.....	213
Надписи в таблицах	213
Технические требования.....	213
Основная надпись	213
15.8. Учебные задания с применением 2D-редактора	213
15.8.1. Нанесение размеров	213
15.8.2. Чертеж плоской детали	214
15.8.3. Изображение резьбовых соединений.....	215
15.9. Разбор карты тестирования по рациональному построению параметрических эскизов	216
Глава 16. Основы моделирования деталей в системе КОМПАС-3D.....	219
16.1. Основные типы документов	219
16.2. Элементы интерфейса	220

16.3. Требования к эскизам.....	223
16.4. Добавление и удаление материала детали.....	224
16.5. Дополнительные конструктивные элементы.....	226
16.6. Отсечение, зеркальное копирование и построение массивов элементов	227
16.7. Дерево модели и дерево построения документа	228
16.8. Создание ассоциативных видов.....	229
16.9. Система координат и плоскости проекций.....	231

Глава 17. Создание моделей и ассоциативных чертежей деталей

в КОМПАС-3D	233
17.1. Радиатор пластинчатый.....	234
17.1.1. Создание модели.....	234
17.1.2. Ассоциативный чертеж	237
Создание чертежа.....	237
Создание стандартных видов	238
Оформление чертежа	238
17.2. Втулка	239
17.2.1. Создание модели.....	239
17.2.2. Ассоциативный чертеж	242
Создание чертежа.....	242
Создание стандартных видов	242
Создание произвольных видов.....	244
Оформление чертежа	244
17.3. Опора	244
17.3.1. Создание модели.....	244
17.3.2. Создание ассоциативного чертежа.....	247
Создание чертежа.....	247
Создание стандартных видов	247
Построение разрезов.....	247
Создание произвольного вида.....	249
17.4. Кольцо	249
17.4.1. Создание упрощенной модели.....	249
17.4.2. Редактирование модели	251
17.4.3. Ассоциативный чертеж	251
Создание чертежа.....	251
Создание стандартных видов	251
Вставка библиотечного элемента	253
Создание произвольных видов.....	253
Оформление чертежа	253
17.5. Уголок.....	253
17.6. Пружина	255
17.7. Основание.....	257
17.8. Кронштейн.....	260
17.9. Разбор карты тестирования задания по 3D-моделированию деталей	261
17.10. Разбор карты тестирования задания по редактированию моделей деталей	265

Глава 18. Моделирование сборочных единиц

18.1. Использование детали-заготовки для моделирования сборки.....	267
18.2. Моделирование резьбового соединения	270

18.3. Моделирование опоры	272
18.4. Разнесение компонентов сборочных единиц	277
18.5. Разбор карты тестирования задания по моделированию сборок.....	280
Ответы к тестам	281
Список литературы.....	283
Сокращенный список использованных стандартов.....	284
Стандарты ЕСКД.....	284
Технические стандарты.....	285
ПРИЛОЖЕНИЯ	287
Предварительные замечания к вариантам тестовых заданий	288
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Карты тестирования по изображению точки.....	289
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Карты тестирования по изображению прямой и плоскости	295
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Карты тестирования по изображению точки, прямой и плоскости	301
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Карты тестирования по решению метрических задач.....	309
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Карты тестирования по расположению видов	319
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Карты тестирования по изображению изделий на чертеже	325
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Карты тестирования по нанесению размеров на чертеже.....	335
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Карты тестирования по анализу формы деталей	345
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. Карты тестирования по построению параметрических эскизов	349
ПРИЛОЖЕНИЕ 10. Карты тестирования по 3D-моделированию деталей	359
ПРИЛОЖЕНИЕ 11. Карты тестирования по редактированию моделей деталей.....	371
ПРИЛОЖЕНИЕ 12. Карты тестирования по моделированию сборок	375
Предметный указатель	379

Предисловие

Инженерная и компьютерная графика является наиболее динамично развивающимся учебным курсом среди университетских общеобразовательных дисциплин. В последние годы в области автоматизированного проектирования конструкций произошел переход от двумерного проектирования к трехмерному (3D) моделированию. Это связано с растущим интересом пользователей к этим технологиям и с появлением на рынке доступных и удобных CAD-систем (Computer Aided Design — конструирование, поддержанное компьютером).

Среди многообразия задач, решаемых с помощью CAD-систем, присутствуют и такие, как создание геометрических моделей и компьютерная подготовка конструкторской документации. Успешное решение указанных задач требует от пользователя высокого уровня интеллектуальных умений по обработке графической информации. Составляющими этих умений являются развитое пространственное воображение, знание методов геометрического синтеза и требований стандартов Единой системы конструкторской документации, а также навыки работы с графическими редакторами и готовыми конструкторскими базами данных.

Инженерную и компьютерную графику можно определить как комплекс знаний, умений и навыков, формирующих способности быстро и правильно воспринимать, перерабатывать и воспроизводить графическую информацию. Учебный курс «Инженерная и компьютерная графика» условно может быть разбит на три раздела:

- элементы начертательной геометрии;
- элементы черчения и конструирования;
- элементы компьютерной графики.

Содержание указанных разделов отражено в этом учебнике.

В *первой части* учебника достаточно полно изложены основные положения начертательной геометрии, необходимые для формирования навыков пространственного представления геометрических объектов.

Инженерная графика, представленная во *второй части* учебника, обеспечивает изучение правил разработки и чтения технической документации. При этом известные положения стандартов дополняются большим числом примеров выполнения чертежей с необходимыми комментариями.

Третья часть учебника знакомит с общими принципами создания твердотельных моделей и чертежей, которые получаются по этим моделям. На примерах раскрыт современный подход к автоматизированному проектированию изделий, когда необходимая информация, требуемая для их создания, формируется на основе трехмерного моделирования этих изделий. Особенности создания 3D-моделей раскрываются в рисунках, на которых в пошаговом режиме показана последовательность операций, связанных с построениями тех или иных изображений и с выполнением формообразующих операций.

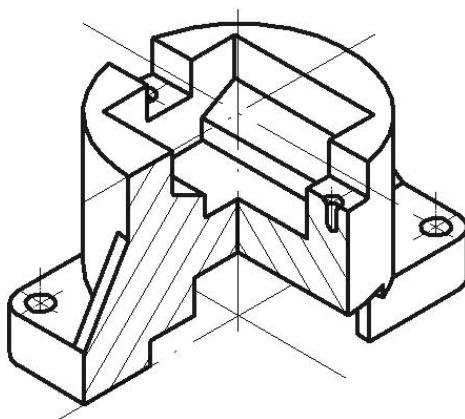
Главы учебника завершаются оригинальными тестами, соответствующими содержанию глав, или разбором тестовых заданий.

В *приложениях* представлены варианты тестовых заданий по 12 основным темам трех частей учебника.

Содержание учебника соответствует требованиям Федеральных образовательных стандартов нового поколения, в которых для общеобразовательной дисциплины «Инженерная и компьютерная графика» обозначено, что в результате изучения дисциплины обучающийся должен знать, что уметь и чем владеть.

Авторы выражают искреннюю благодарность:

- всем преподавателям кафедры «Прикладная механика и инженерная графика» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета («ЛЭТИ») и кафедры графических технологий Национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики («ЛИТМО»), которые принимали активное участие во внедрении и совершенствовании компьютерного сопровождения преподавания курса «Инженерная и компьютерная графика»;
- сотрудникам издательства «БХВ-Петербург», внимание и высокий профессионализм которых позволили состояться этому учебнику.

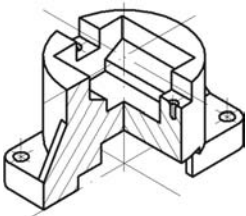


ЧАСТЬ I

Элементы начертательной геометрии

Глава 1.	Изображение геометрических элементов в ортогональных проекциях
Глава 2.	Способы преобразования чертежа
Глава 3.	Позиционные задачи
Глава 4.	Метрические задачи

ГЛАВА 1



Изображение геометрических элементов в ортогональных проекциях

Начертательная геометрия является одним из разделов геометрии, в котором пространственные фигуры (оригиналы), представляющие собой совокупности геометрических элементов, изучаются по их изображениям на плоскости (или какой-либо другой поверхности).

К геометрическим элементам относятся:

- точка — бесконечно малая величина, не имеющая размера;
- линия — состоящая из последовательности бесчисленного множества точек;
- поверхность — состоящая из совокупности множества точек и не имеющая толщины.

В первой части книги приняты следующие обозначения (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Обозначения геометрических элементов

Геометрические элементы		Обозначения
1. Плоскости проекций	фронтальная	Π_2
	горизонтальная	Π_1
	профильная	Π_3
	дополнительная	$\Pi_4, \Pi_5 \dots$
2. Координатные оси, оси проекций в пространстве и на чертеже		x, y, z
3. Новые оси проекций при замене плоскостей проекций		$x_{14}, x_{45} \dots$
4. Точки в пространстве — прописными буквами латинского алфавита или арабскими цифрами		$A, B, C \dots$ или $1, 2, 3 \dots$
5. Линии в пространстве — строчными буквами латинского алфавита		a, b, c
6. Поверхности в пространстве — прописными буквами греческого алфавита		$\Omega, \Delta, \Psi, \dots$

Таблица 1.1 (окончание)

Геометрические элементы		Обозначения
7. Углы в пространстве — строчными буквами греческого алфавита		$\alpha, \beta, \dots$
8. Задание плоскости в пространстве ее элементами		$\Sigma (a \perp b)$
9. Проекции точек, линий, поверхностей и углов — теми же буквами, что и в пространстве, но с дополнением индексов плоскостей проекций, например: A_1 — горизонтальная проекция точки A ; b_2 — фронтальная проекция прямой b ; Σ_3 — профильная проекция плоскости Σ		
10. Основные операции:	а) равенство, совпадение	знаком $=$
	б) параллельность	знаком $\parallel$
	в) перпендикулярность	знаком $\perp$
	г) пересечение	знаком $\cap$
	д) принадлежит	знаком $\in$
	е) включает, содержит	знаком $\supset$

1.1. Метод проекций. Виды проецирования

В основе правил построения изображений в начертательной геометрии лежит *метод проекций*, который заключается в том, что проецирующий луч SA , выходя из точки S , пересекает плоскость Π_l в точке $A = SA$.

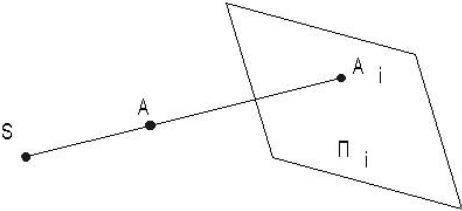


Рис. 1.1

Точка S называется *центром проецирования*, направление SA — *проецирующим лучом*, плоскость Π_l — *плоскостью проекций*, A_l — проекцией точки A на плоскость проекций.

При *центральной проецировании* все проецирующие лучи выходят из одной точки центра проецирования — S , который находится на конечном расстоянии от плоскости проекций (рис. 1.2). Центральное проецирование обладает большой наглядностью, так как оно соответствует зрительному восприятию предметов. Основным недостатком метода заключается в сложности определения реальных размеров предмета по его изображению.

Параллельное проецирование можно рассматривать как частный случай центрального, когда центр проецирования удален в бесконечность. При этом проецирующие лучи параллельны направлению проецирования s^* (рис. 1.3).

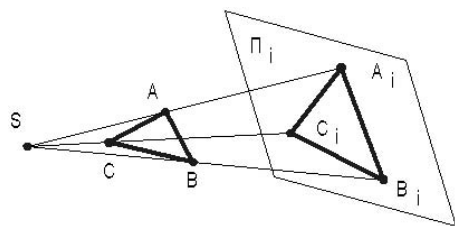


Рис. 1.2

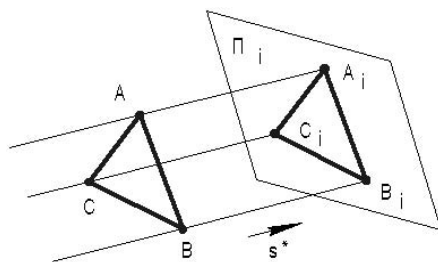


Рис. 1.3

В зависимости от направления проецирующих лучей по отношению к плоскости проекций различают *косоугольное*, когда проецирующие лучи не перпендикулярны к плоскости проекций (рис. 1.4), и *прямоугольное* (ортогональное) проецирование — проецирующие лучи перпендикулярны к плоскости проекций (рис. 1.5).

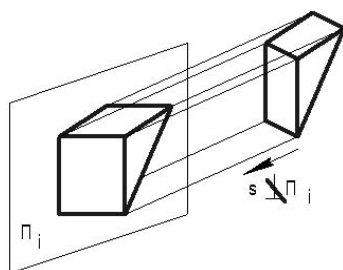


Рис. 1.4

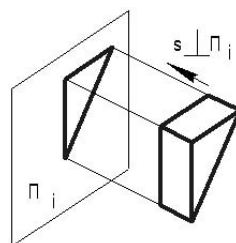


Рис. 1.5

На рис. 1.6 указаны виды проекций, применяемые в инженерной графике.

В основе построения комплексных чертежей во всех отраслях промышленности и строительства лежит метод параллельного прямоугольного проецирования.

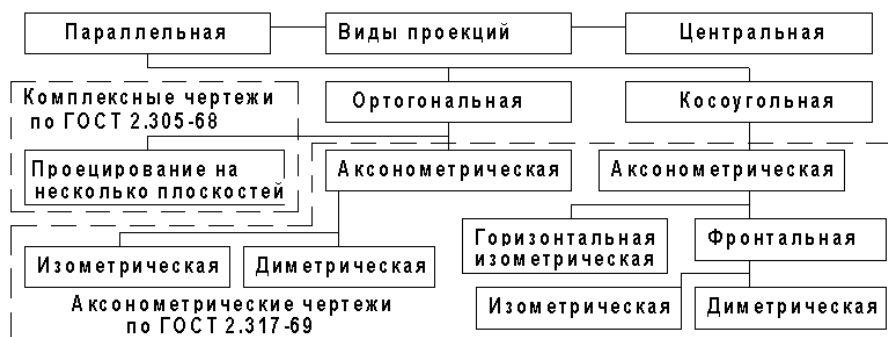


Рис. 1.6

1.2. Инвариантные свойства прямоугольного проецирования

Свойства геометрических фигур, которые не изменяются в процессе проецирования, называются *независимыми* или *инвариантными* относительно выбранного способа проецирования.

Получение прямоугольных проекций оригинала или определение формы и размеров оригинала по его прямоугольным проекциям базируется на следующих инвариантных свойствах прямоугольного (ортогонального) проецирования:

- ☐ точка проецируется в точку;
- ☐ прямая проецируется в прямую;
- ☐ если точка принадлежит прямой, то и проекции точки принадлежат проекции прямой;
- ☐ если прямые параллельны, то и их проекции параллельны между собой;
- ☐ отношение отрезков прямой равно отношению проекций этих отрезков;
- ☐ отношение отрезков параллельных прямых равно отношению проекций этих отрезков;
- ☐ проекция геометрической фигуры по величине и форме не изменяется при параллельном перемещении плоскости проекций;
- ☐ проекция отрезка равна или меньше самого отрезка.

1.3. Комплексный чертеж точки

Способ изображения при помощи прямоугольного проецирования предмета на несколько взаимно перпендикулярных плоскостей проекций впервые был предложен французским ученым Г. Монжем. В результате совмещения плоскостей проекций с плоскостью чертежа образуется плоское изображение — *эпюр* (от франц. *epure* — чертеж, проект), или комплексный (ортогональный) чертеж.

Получение изображения точки на двухпроекционном комплексном чертеже (КЧ) демонстрируют рис. 1.7, *а* и *б*, где на рис. 1.7, *а* показаны:

- ☐ Π_1 — горизонтальная плоскость проекций;
- ☐ Π_2 — фронтальная плоскость проекций;
- ☐ Π_1 и Π_2 разделяют пространство на 4 четверти (квадранта) с показанной нумерацией I, II, III, IV;
- ☐ x, y, z — координатные оси;
- ☐ O — начало координат;
- ☐ A_1, A_2 — проекции точки A с координатами A_x, A_y, A_z .

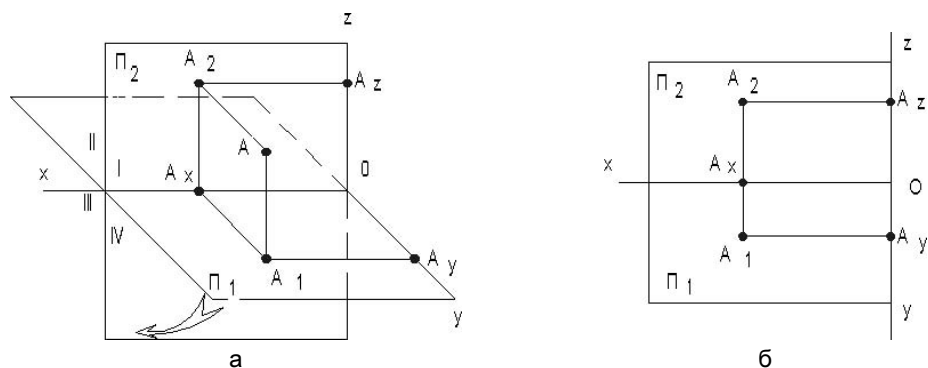


Рис. 1.7

После поворота горизонтальной плоскости Π_1 вокруг оси абсцисс x на угол 90° до совмещения с фронтальной плоскостью Π_2 получают двухпроекционный комплексный чертеж (эпюр Монжа), приведенный на рис. 1.7, б. Линию пересечения плоскостей проекций называют *осью проекций* и обозначают буквой x .

Проекции A_1, A_2 лежат на одной линии, перпендикулярной оси проекций x . Эта линия, соединяющая горизонтальную A_1 и фронтальную A_2 проекции точки A , называется *линией связи*.

Свойства двухпроекционного комплексного чертежа:

- две проекции точки находятся на одной линии связи;
- линия связи перпендикулярна к оси проекций;
- две проекции точки однозначно определяют ее положение в пространстве относительно данной системы плоскостей проекций.

На практике при изображении оригиналов приходится увеличивать число проекций. Например, вводят третью плоскость проекций, перпендикулярную к плоскостям проекций Π_1 и Π_2 . Эту плоскость обозначают Π_3 и называют *профильной плоскостью проекций*. Три плоскости проекций делят пространство на восемь частей-октантов.

На рис. 1.8, а и б рассмотрено получение трехпроекционного комплексного чертежа точки.

После совмещения (рис. 1.8, а) плоскостей проекций Π_1 и Π_3 с плоскостью Π_2 получают трехпроекционный комплексный чертеж (рис. 1.8, б). Для совмещения плоскость Π_1 вращают вниз вокруг оси x , а плоскость Π_3 — вправо вокруг оси z .

При таком совмещении ось y условно продольно разрезают и одну ее часть совмещают с продолжением оси x , а вторую — оси z . Линия связи $A_1 A_3$ при этом разрывается в точке A_y .

Свойства трехпроекционного комплексного чертежа:

- $A_1 A_2 \perp x$;
- $A_2 A_3 \perp z$;
- две проекции точки однозначно определяют положение ее третьей проекции.

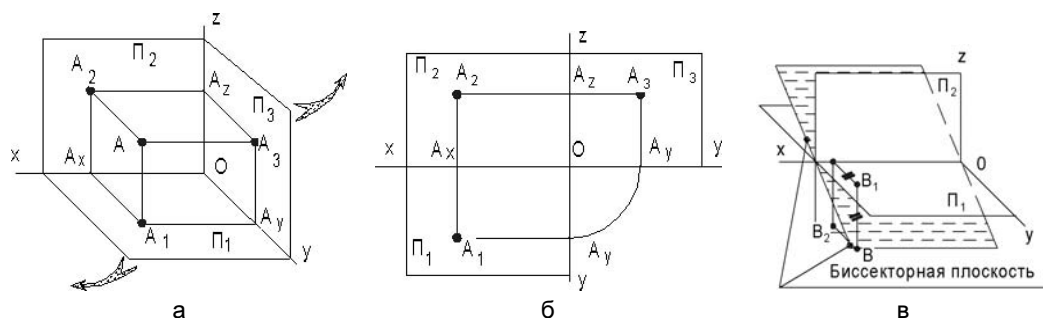


Рис. 1.8

При решении задач часто в рассмотрение вводят *биссекторную плоскость* четвертей 2 и 4, которая делит эти четверти пополам (рис. 1.8, в). Все точки, принадлежащие биссекторной плоскости, равноудалены от плоскостей проекций Π_1 и Π_2 , поэтому горизонтальная и фронтальная проекции таких точек совпадают.

1.4. Задание и изображение прямой

При ортогональном проектировании на плоскость прямая, не перпендикулярная плоскости проекций, проектируется в прямую.

Наглядное проектирование отрезка AB прямой на две плоскости проекций в системе Π_2, Π_1 представлено на рис. 1.9. Показанная прямая пересекает две плоскости проекций. Точку пересечения (встречи) прямой с плоскостью называют *следом*. В зависимости от того, с какой плоскостью проекций происходит встреча прямой, следы называют: M — горизонтальный след прямой, заданной отрезком AB ; N — фронтальный след прямой, заданной отрезком AB .

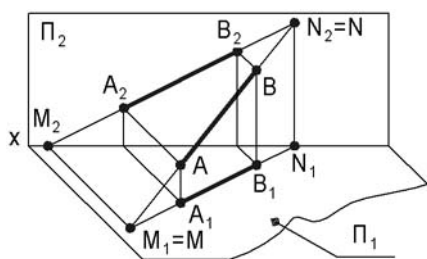


Рис. 1.9

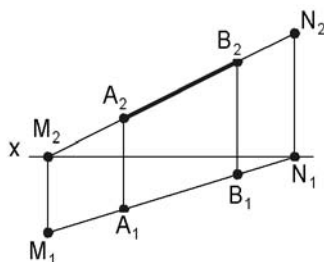


Рис. 1.10

Установим правило нахождения следов прямой на комплексном чертеже, для чего рассмотрим, например, определение M_1 . M — горизонтальный след прямой, заданной отрезком AB , принадлежит горизонтальной плоскости проекций. Поэтому для нахождения проекций этого следа необходимо (рис. 1.10):

1. Отметить точку пересечения фронтальной проекции прямой AB с осью x .
2. Через полученную точку M_2 провести прямую, перпендикулярную оси x .

3. Пересечение этого перпендикуляра с горизонтальной проекцией прямой AB укажет положение M_1 .

Для определения проекций фронтального следа необходимо выполнить аналогичные построения.

1.5. Положение прямой относительно плоскостей проекций

Прямая относительно плоскостей проекций может занимать различное положение и соответственно называться прямой общего положения, прямой уровня и проецирующей прямой.

- *Прямая общего положения* не параллельна ни одной из плоскостей проекций. На комплексном чертеже проекции прямой общего положения не параллельны линиям связи.
- *Прямые частного положения* делят на прямые уровня и проецирующие прямые.
- *Прямые уровня* параллельны одной из плоскостей проекций.
- *Горизонталь* — прямая, параллельная горизонтальной плоскости проекций (рис. 1.11). Фронтальная проекция параллельна оси x и показывает высоту расположения горизонтали над горизонтальной плоскостью. Угол β , образованный горизонтальной проекцией и осью проекций, равен углу наклона горизонтали к фронтальной плоскости проекций.
- *Фронталь* — прямая, параллельная фронтальной плоскости проекций (рис. 1.12). Горизонтальная проекция параллельна оси x и показывает расстояние от фронтали до фронтальной плоскости. Угол α , образованный фронтальной проекцией и осью проекций, равен углу наклона фронтали к горизонтальной плоскости проекций.
- *Профильная прямая* — прямая, параллельная профильной плоскости проекций (рис. 1.13). Фронтальная и горизонтальная проекции перпендикулярны оси x .

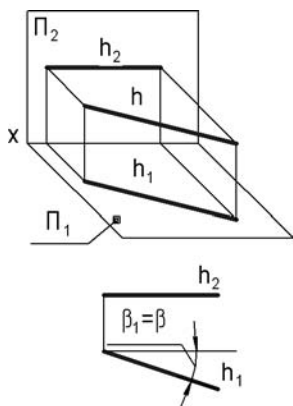


Рис. 1.11

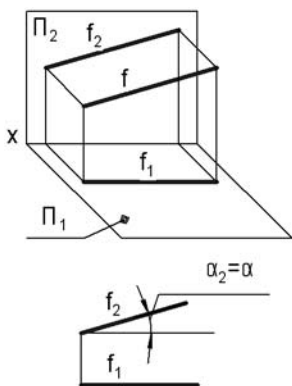


Рис. 1.12

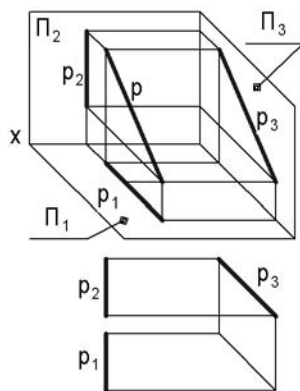


Рис. 1.13

При задании профильной прямой на двухпроекционном чертеже должны быть указаны проекции как минимум двух ее точек, что позволит построить профильную проекцию.

- *Проецирующие прямые* (показаны на рис. 1.14) перпендикулярны к одной из плоскостей проекций (или параллельны одновременно двум плоскостям проекций). На комплексном чертеже одна из проекций проецирующей прямой является точкой.

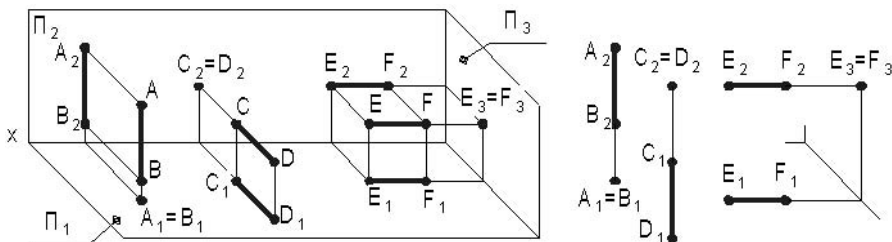


Рис. 1.14

Проецирующие прямые делятся на:

- горизонтально-проецирующие — прямые, перпендикулярные к горизонтальной плоскости проекций;
- фронтально-проецирующие — прямые, перпендикулярные к фронтальной плоскости проекций;
- профильно-проецирующие — прямые, перпендикулярные к профильной плоскости проекций.

Две точки, лежащие на одном проецирующем луче, называются *конкурирующими*. Конкуренция точек помогает определить видимость частей оригинала относительно плоскостей проекций. В примере на рис. 1.14 точка *A* закрывает точку *B*, точка *D* — точку *C*, точка *E* — точку *F*.

1.6. Взаимное положение прямых

Две прямые в пространстве могут совпадать, пересекаться, быть параллельными и скрещиваться.

- *Совпадающие прямые* — прямые, когда точки одной прямой сливаются с точками другой прямой.
- *Пересекающиеся прямые* — прямые, имеющие одну общую точку (точку *K* на рис. 1.15).

Если прямые пересекаются, то их одноименные проекции пересекаются, а проекции точек пересечения лежат на одной линии связи.

Для прямых, кроме профильных, в системе Π_2, Π_1 справедливо и обратное утверждение: если в системе Π_2, Π_1 точки пересечения одноименных проекций

прямых, кроме профильных, лежат на одной линии связи, то прямые пересекаются.

Если одна из прямых (или обе) является профильной, то для определения взаимного положения прямых необходимо построить профильные проекции этих прямых.

- *Параллельные прямые* — прямые, пересекающиеся в бесконечно удаленной точке. Проекции двух параллельных прямых параллельны друг другу (рис. 1.16).
- *Скрещивающиеся прямые* — прямые, не имеющие общей точки (рис. 1.17).

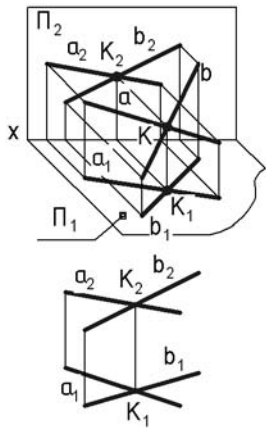


Рис. 1.15

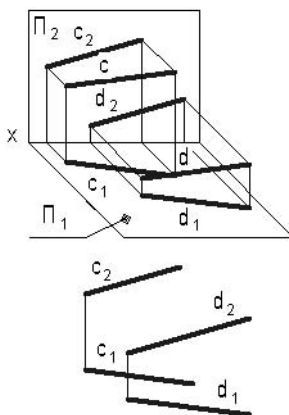


Рис. 1.16

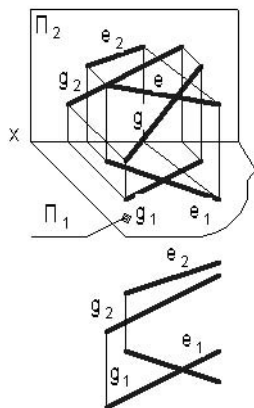


Рис. 1.17

1.7. Проецирование плоских углов

Углы в общем случае могут проецироваться, как показано на рис. 1.18: с уменьшением $\angle ABC$ или с увеличением $\angle DEF$ в зависимости от положения угла относительно плоскости проекций. Прямой угол, как правило, тоже проецируется с искажением, но существует частный случай, когда прямой угол проецируется в натуральную величину (при этом ни одна из его сторон не должна быть перпендикулярна плоскости проекций).

Теорема о частном случае проецирования прямого угла. Если одна сторона прямого угла параллельна плоскости проекций, а вторая сторона ей не перпендикулярна, то прямой угол проецируется на эту плоскость проекций без искажения.

Доказательство. Дан прямой угол ABC (рис. 1.19), у которого по условию прямая $BC \perp AB$ и $BC \parallel$ плоскости проекции Π_1 . По построению прямая $BC \perp$ к проецирующему лучу BB_1 . Следовательно, прямая $BC \perp$ к плоскости Σ , поскольку она $\perp$ к двум пересекающимся прямым (AB и BB_1), лежащим в этой плоскости. По условию прямая $B_1C_1 \parallel BC$, поэтому B_1C_1 тоже $\perp$ к плоскости Σ , а значит, и к прямой A_1B_1 , принадлежащей этой плоскости. Следовательно, угол между прямыми A_1B_1 и B_1C_1 равен 90° (рис. 1.20).

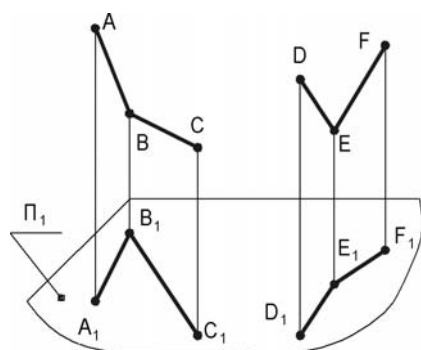


Рис. 1.18

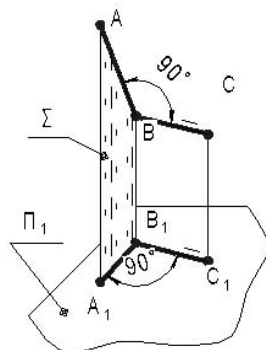


Рис. 1.19

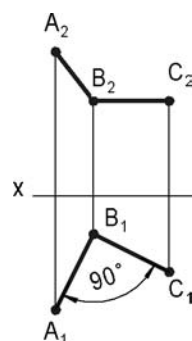


Рис. 1.20

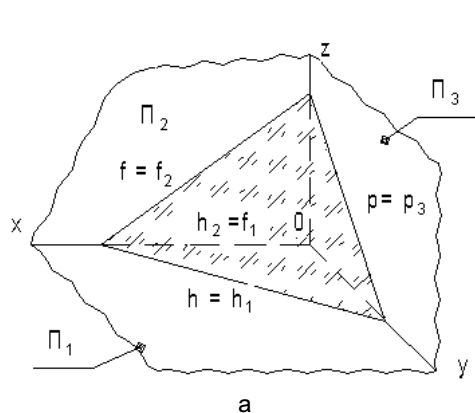
1.8. Плоскость

Для задания плоскости на чертеже достаточно указать проекции трех точек этой плоскости, не лежащих на одной прямой. Плоскость также может быть задана следующими способами:

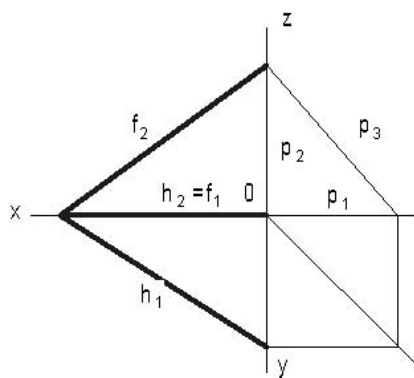
- ☐ прямой и точкой, не лежащей на этой прямой;
- ☐ двумя пересекающимися прямыми;
- ☐ двумя параллельными прямыми;
- ☐ любой плоской фигурой.

По расположению относительно плоскостей проекций различают плоскости общего и частного положения.

- ☐ *Плоскостью общего положения* называют плоскость, не перпендикулярную ни к одной из плоскостей проекций. На рис. 1.21, а показана такая плоскость, заданная следами (линиями пересечения плоскости с плоскостями проекций): горизонтальным h , фронтальным f , профильным p . Рисунок 1.21, б показывает,



а



б

Рис. 1.21

что плоскость общего положения может быть задана и двумя проекциями двух прямых (отрезков) h и f .

□ *Плоскости частного положения* делятся на проецирующие плоскости и плоскости уровня.

- *Проецирующими* плоскостями называют плоскости, перпендикулярные одной из плоскостей проекций (рис. 1.22).

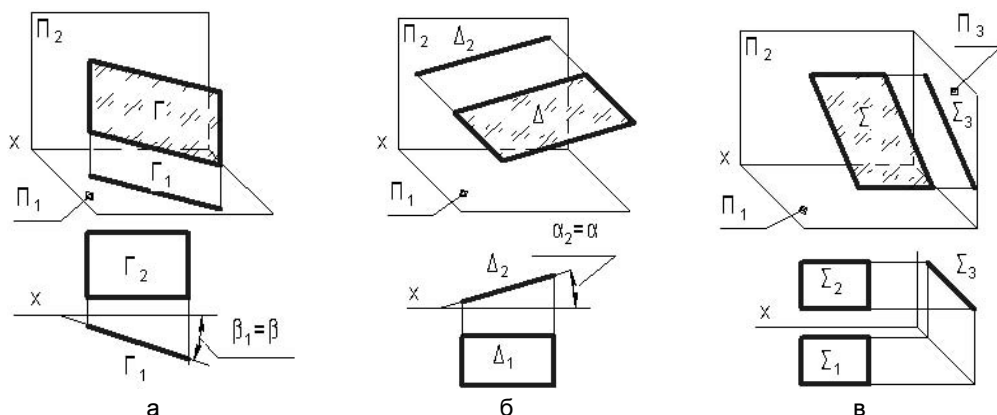


Рис. 1.22

На рис. 1.22, а: Γ — горизонтально-проецирующая плоскость, т. е. $\Gamma \perp \Pi_1$.

На рис. 1.22, б: Δ — фронтально-проецирующая плоскость, т. е. $\Delta \perp \Pi_2$.

На рис. 1.22, в: Σ — профильно-проецирующая плоскость, т. е. $\Sigma \perp \Pi_3$.

- *Плоскостями уровня* называют плоскости, параллельные одной из плоскостей проекций. На рис. 1.23 показаны примеры задания разными способами плоскостей уровня.

На рис. 1.23, а: Γ — горизонтальная плоскость уровня, заданная следом Γ .

На рис. 1.23, б: Δ (b, c) — фронтальная плоскость уровня, заданная отрезками b и c .

На рис. 1.23, в: $\Sigma (ABC)$ — профильная плоскость уровня, заданная треугольником ABC .

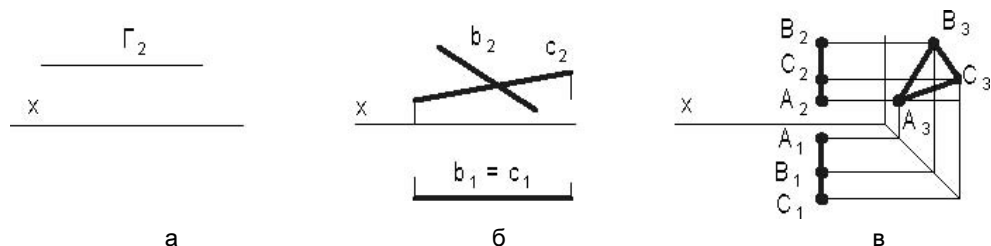


Рис. 1.23

1.8.1. Главные линии плоскости

Главными (характерными) линиями плоскости называют:

- *Горизонталь* — прямую, принадлежащую плоскости и параллельную горизонтальной плоскости проекций.
- *Фронталь* — прямую, принадлежащую плоскости и параллельную фронтальной плоскости проекций.
- *Линию наибольшего наклона* — прямую, принадлежащую плоскости и перпендикулярную к горизонтали или фронтالي этой плоскости.
- *Линию ската* — прямую, принадлежащую плоскости и перпендикулярную к горизонтали этой плоскости.

На рис. 1.24, *а* показана проекция горизонтали h плоскости, заданной следами a и b . Очевидно, что горизонталь h плоскости параллельна ее горизонтальному следу b , следовательно, $h_1 \parallel b_1$.

На рис. 1.24, *б* проекции фронтали проведены через проекции $1_1, 1_2$ и $2_1, 2_2$ точек $1, 2$.

Горизонтальная проекция $f_1 = 1_1 2_1$ фронтали параллельна оси x .

На рис. 1.24, *в* показаны проекции $1_1 2_1$ и $1_2 2_2$ линии наибольшего наклона плоскости Γ , заданной следами e и g . Отличительной особенностью линии 12 наибольшего наклона плоскости $\Gamma(e, g)$ к горизонтальной плоскости является перпендикулярность $1_1 2_1$ и e_1 .

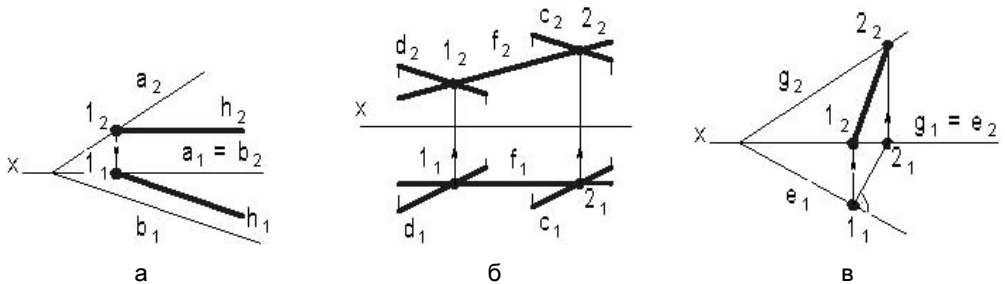


Рис. 1.24

1.9. Линия

Линия — это множество всех последовательных положений (траектория) движущейся точки. Линии могут быть пространственными и плоскими.

- *Пространственными*, или линиями двоякой кривизны, называют линии, все точки которых не принадлежат одной плоскости.
- *Плоскими* называют линии, все точки которых принадлежат одной плоскости.

□ *Кривая* — это разновидность линии, которая получается тогда, когда движущаяся точка изменяет направление своего движения.

Чтобы установить, плоская или пространственная кривая линия задана на чертеже, необходимо выяснить, принадлежат ли все точки кривой одной плоскости.

Заданная на рис. 1.25 кривая l — пространственная, так как точка F , взятая на кривой, не принадлежит плоскости, определяемой тремя другими точками A, B, C этой кривой (этой плоскости принадлежит точка E , которая, однако, не принадлежит кривой l).

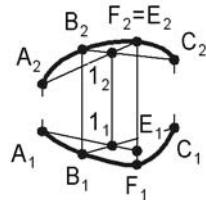


Рис. 1.25

Отмеченная некоторая ненаглядность задания ортогональными проекциями пространственных или плоских кривых обусловила преимущественное распространение для решения технических задач плоских кривых, изображение которых получается на однопроекционном чертеже в результате параллельного проецирования кривой на плоскость проекций, параллельную этой кривой.

1.9.1. Основные способы образования плоских кривых

Способ 1. Кривая определяется как множество точек, обладающих заданным свойством. Например, параболу определяют как множество всех точек плоскости, равноудаленных от данной точки F и данной прямой MN той же плоскости (рис. 1.26). Точка F называется *фокусом* параболы, прямая MN — *директрисой*, точка O пересечения параболы с осью симметрии — *вершиной*, а расстояние AF — *параметром* p параболы. Построение параболы сводится к определению точек пересечения вспомогательных вертикальных отрезков и дуг (рис. 1.26).

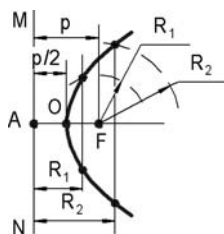


Рис. 1.26

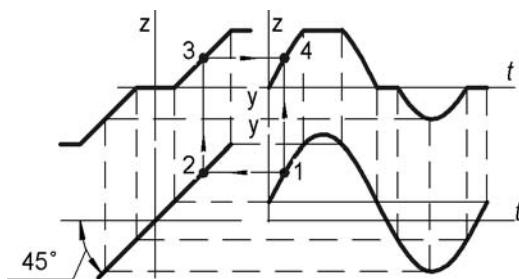


Рис. 1.27

Способ 2. Кривая определяется как линия, получаемая в результате геометрического преобразования уже известной кривой (рис. 1.27). Этот способ является особенно эффективным, так как дает неиссякаемые возможности для определения новых кривых.

На рис. 1.27 показаны статическая характеристика $z(y)$ нелинейного элемента с насыщением и зоной нечувствительности и график зависимости от времени входного, например синусоидального, сигнала. Чтобы получить точку кривой $z(t)$, изображающей вид выходного сигнала нелинейного элемента, необходимо сделать построения взаимно перпендикулярных лучей, показанных на рис. 1.27 штриховыми линиями. Установление функциональной связи, например, между точками 1 и 4 также сводится к проведению взаимно перпендикулярных отрезков (12, 23, 34, 14).

Способ 3. Кривая определяется как траектория точки, характер движения которой обусловлен тем или иным образом. Например, синусоида — это плоская кривая, получающаяся в результате двойного равномерного движения точки: поступательного и возвратно-поступательного в направлении, перпендикулярном первому.

Построить синусоиду (рис. 1.28) можно при помощи окружности радиуса R с центром в точке O . Через центр O проводим горизонтальную прямую OA_{12} . От точки A откладываем отрезок $T = 2\pi R$, где T — период колебания синусоиды.

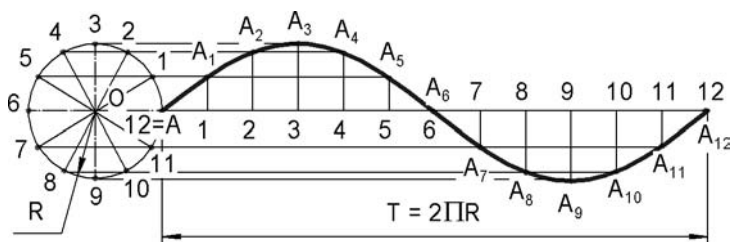


Рис. 1.28

Окружность и отрезок AA_{12} делим на одинаковое число равных частей, например на 12. Из точек деления окружности проводим прямые параллельные OA_{12} , а из точек деления отрезка — перпендикулярные к OA_{12} . Точки пересечения одноименных прямых и дадут точки $A_1, A_2, \dots, A_{12}$ искомой синусоиды.

Расстояние между крайними точками синусоиды по высоте, равное диаметру $2R$ производящей окружности, называется *амплитудой*. Расстояние AA_{12} называется *шагом* амплитуды.

Способ 4. Кривая определяется как проекция пространственной линии на плоскость.

Способ 5. Кривая определяется как линия пересечения данной поверхности плоскостью, положение которой определено. Этот способ образования кривых рассматривается в разд. 3.4.

Способ 6. Кривая задается в аналитической форме и представляет собой график той или иной функции.

1.10. Поверхности

Геометрическое тело — часть пространства, ограниченная со всех сторон поверхностью.

Поверхность — это множество всех последовательных положений движущей линии. Эта линия, называемая *образующей*, при движении может сохранять или изменять свою форму.

Закон перемещения образующей обычно определяется другими линиями, называемыми *направляющими*, по которым скользит образующая при своем движении.

Определителем поверхности называют совокупность геометрических элементов, определяющих поверхность.

1.10.1. Гранные поверхности и многогранники

Гранные поверхности — поверхности, образованные перемещением прямолинейной образующей по направляющей, представляющей собой ломаную линию. На рис. 1.29, а и б показаны примеры пирамидальной и призматической поверхностей соответственно.



Рис. 1.29

- *Пирамидальная поверхность* образована движением прямолинейной образующей по ломаной направляющей, при этом одна точка этой образующей (вершина) неподвижна.
- *Призматическая поверхность* образована движением прямолинейной образующей по ломаной направляющей, при этом образующая перемещается параллельно некоторому наперед заданному направлению.
- *Многогранники* — замкнутые поверхности, образованные некоторым количеством граней.
 - *Выпуклый многогранник* расположен по одну сторону плоскости каждой грани многогранника. Сами грани также являются выпуклыми многогранниками.
 - *Пирамида* (рис. 1.30, а) — многогранник, у которого одна грань, принимаемая за основание, является многоугольником, а остальные грани (боковые) — треугольники с общей точкой *S*, называемой *вершиной*.

В зависимости от числа вершин у многоугольника основания, пирамиду называют: треугольной, если в основании треугольник; четырехугольной, если в основании четырехугольник, и т. д.

- *Призма* (рис. 1.30, б) — многогранник, у которого две грани — основания — являются одинаковыми и взаимно параллельными многоугольниками, а остальные грани (боковые) — четырехугольниками.



Рис. 1.30

Прямая призма имеет боковые ребра, которые перпендикулярны основанию.

Правильная призма — это прямая призма, у которой основания — правильные многоугольники.

Правильные многогранники имеют все грани в виде правильных и конгруэнтных многоугольников, а многогранные углы при вершинах выпуклые и содержат одинаковое число граней.

Гранями правильных многогранников могут быть только правильные треугольники, четырехугольники и пятиугольники. Одной из особенностей правильных многогранников является то, что каждый из них вписывается в сферу. Примерами правильных многогранников являются:

- тетраэдр — правильный четырехгранник (рис. 1.31, а);
- гексаэдр — правильный шестигранник (рис. 1.31, б);
- октаэдр — правильный восьмигранник (рис. 1.31, в);
- додекаэдр — правильный двенадцатигранник (рис. 1.31, г);
- икосаэдр — правильный двадцатигранник (рис. 1.31, д).

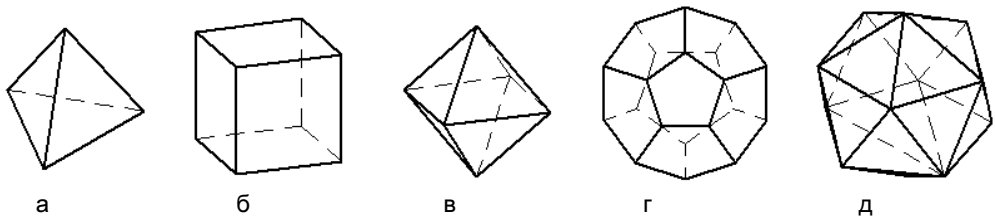


Рис. 1.31

1.10.2. Поверхности вращения

Поверхности вращения — это поверхности, образованные вращением линии (образующей) вокруг прямой — оси вращения (рис. 1.32).

При образовании поверхности вращения любая точка образующей описывает в пространстве окружность. Эти окружности, называемые *параллелями*, принадле-

жат плоскостям, перпендикулярным к оси вращения. Параллель наибольшего диаметра (среди соседних с ней) называют *экватором*, а наименьшего диаметра (также среди соседних с ней) — *горлом*. Линии пересечения поверхности вращения с плоскостью, проходящей через ось вращения, называют *меридианами* (рис. 1.32, а).

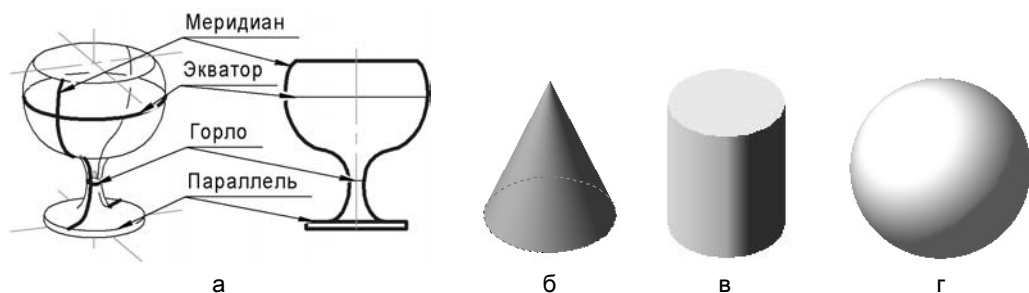


Рис. 1.32

Если у поверхности вращения образующая — прямая линия, то получаем *линейчатую* поверхность вращения, — например, коническую (рис. 1.32, б) или цилиндрическую (рис. 1.32, в), а если кривая — то *нелинейчатую*, — например, сферическую (рис. 1.32, г) или торическую (рис. 1.33).

Торическая поверхность получается при вращении окружности или ее части вокруг оси, расположенной в плоскости этой окружности. Тор называется *закрытым*, если ось вращения расположена в пределах окружности (рис. 1.33, б), и *открытым*, если ось вращения находится за пределами окружности (рис. 1.33, а). Открытый тор называют также *кольцом*.

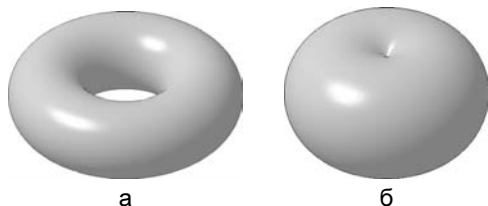


Рис. 1.33

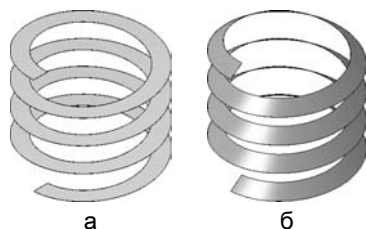


Рис. 1.34

1.10.3. Винтовые поверхности

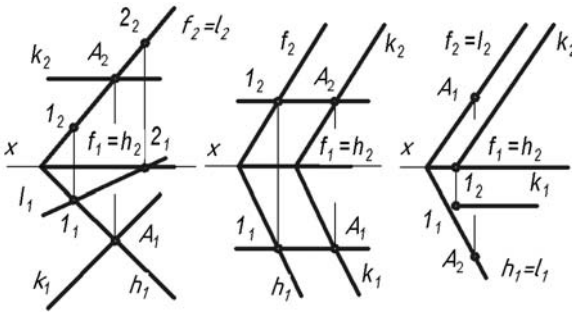
Винтовая поверхность — это кривая поверхность, описываемая образующей линией, которая, равномерно вращаясь вокруг неподвижной кривой (оси винтовой поверхности), одновременно совершает поступательное перемещение вдоль этой же оси.

Винтовую линию постоянного шага, построенную на поверхности прямого кругового цилиндра, называют *гелисой*. Поэтому линейчатые винтовые поверхности, направляющая которых — гелиса, называют *геликоидами*. Если образующая пересекает ось под прямым углом, то геликоид называют *прямым* (рис. 1.34, а), в противном случае образуется *косой* или *наклонный* геликоид (рис. 1.34, б).

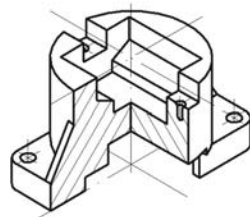
1.11. Тесты

Тест 1.1	Изображение точки	Вопрос	Ответ
		1. Какая из точек 1, 2, 3, 4, 5 расположена в 4-й четверти?	
		2. Какая из точек 1, 2, 3, 4, 5 симметрична точке A биссекторной плоскости 1-й и 3-й четвертей?	
		3. Какая из точек 1, 2, 3, 4, 5 расположена ниже остальных?	
		4. Укажите номера точек, для которых правильно определена профильная проекция.	
5. Какой четверти принадлежит точка, симметричная точке A (7, -5, -5) относительно плоскости Π_1 ?			
6. Какой четверти принадлежит точка, симметричная точке A (10, 15, -15) относительно оси x?			

Тест 1.2	Изображение прямой и плоскости	Вопрос	Ответ
		1. На каком рисунке отрезок / занимает общее положение?	
		2. На каком рисунке отрезок / расположен в 4-й четверти?	
		3. На каком рисунке отрезок / параллелен профильной плоскости проекции?	
		4. На каком рисунке отрезок / перпендикулярен плоскости треугольника ABC?	
		5. На каком рисунке отрезок / параллелен горизонтальной плоскости проекции?	

Тест 1.3	Изображение точки, прямой, плоскости	Вопрос	Ответ
	Рис. 1	В какой четверти расположена точка A, показанная на рис. 3?	
	Рис. 2	На каком рисунке прямая k является фронталью?	
	Рис. 3	На каком рисунке точка A располагается выше, чем на остальных?	
	Рис. 4	На каком рисунке прямая l принадлежит плоскости $\Phi(h, f)$?	
	Рис. 5	На каком рисунке плоскость $\Phi(h, f)$ параллельна прямой k?	

ГЛАВА 2



Способы преобразования чертежа

При выполнении чертежей предметы располагают относительно плоскостей проекций Π_1 , Π_2 и Π_3 так, чтобы большинство его геометрических элементов проецировались на эти плоскости в натуральную величину. Однако при этом отдельные элементы предмета могут проецироваться с искажениями. Для того чтобы определить натуральную величину таких элементов, возникает необходимость в преобразовании комплексного чертежа.

Преобразование комплексного чертежа осуществляется различными способами. В главе рассматриваются два основных способа преобразования:

- способ замены (перемены) плоскостей проекций;
- способ вращения.

2.1. Способ замены плоскостей проекций

Сущность способа замены плоскостей проекций заключается в том, что при неизменном положении геометрических элементов в пространстве исходные взаимно перпендикулярные плоскости проекций поочередно заменяются на новые взаимно перпендикулярные плоскости проекций, которые располагаются параллельно или перпендикулярно к соответствующим заданным геометрическим элементам.

Рассмотрим четыре основные задачи преобразования чертежа. В некоторых учебниках эти задачи называют *исходными задачами преобразования чертежа* (ИЗПЧ).

2.1.1. Преобразование прямой общего положения в прямую уровня (ИЗПЧ 1)

На рис. 2.1 показана замена плоскости проекций Π_2 на новую плоскость Π_4 ($\Pi_4 \perp \Pi_1$). Плоскость Π_1 является общей для двух систем плоскостей проекций: основной (Π_1, Π_2) и дополнительной (Π_1, Π_4). В основной системе плоскостей проекций (Π_1, Π_2) положение точек A и B определяется проекциями A_1, A_2 и B_1, B_2 , в дополни-

тельной (Π_1 , Π_2) — проекциями A_1 , A_4 и B_1 , B_4 . Как видно из рис. 2.1, при замене плоскостей проекций Π_2 на Π_4 неизменными остаются горизонтальные проекции и расстояния точек A и B от плоскости Π_1 .

Рассмотрим схему образования комплексного чертежа в дополнительной системе плоскостей проекций. Прямую пересечения новой плоскости Π_4 с исходной Π_1 принимаем за новую ось проекций x_{14} . Вращением на 90° вокруг новой оси x_{14} совмещаем новую плоскость проекций Π_4 с плоскостью Π_1 .

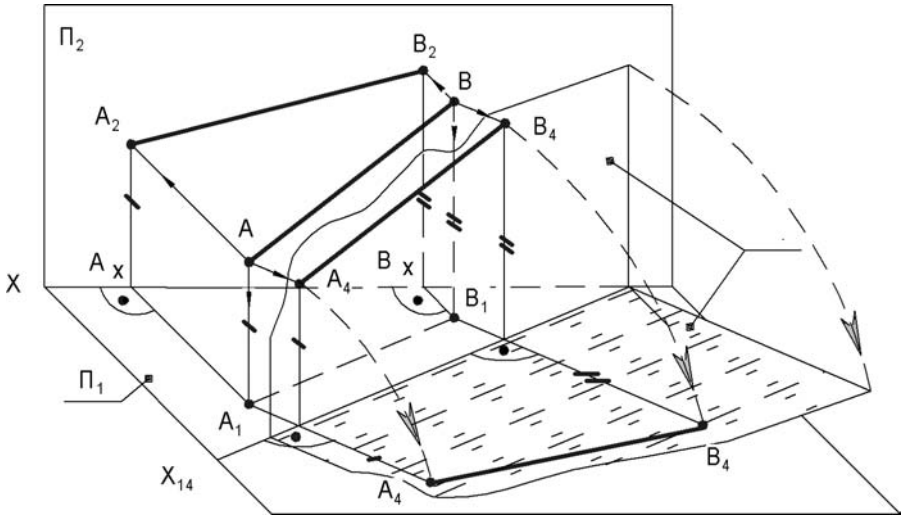


Рис. 2.1

Последовательность построений на комплексном чертеже показана на рис. 2.2:

1. $x_{14} \parallel A_1B_1$ (ось проводится на любом расстоянии от A_1B_1).
2. К оси x_{14} проводятся перпендикуляры из точек A_1 и B_1 .

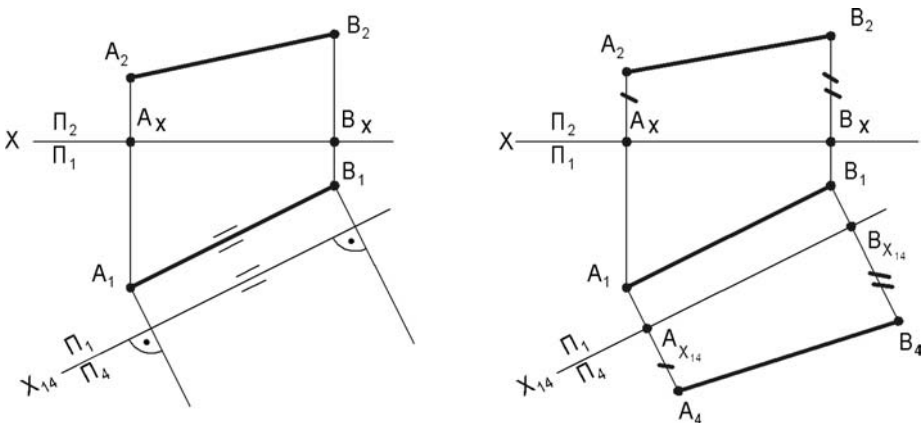


Рис. 2.2