

# 3D-ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЧЕРТЕЖА. AutoCAD

## 3-Е ИЗДАНИЕ

---

- *Построение пространственных моделей деталей*
- *Автоматическое построение видов, разрезов и сечений*
- *Создание чертежа детали по 3D-технологии*
- *Создание объемной модели узла*
- *Автоматизация построения сборочного чертежа*
- *Фотореалистичная визуализация деталей и узлов*

Solids Editing

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



**А. Л. Хейфец  
А. Н. Логиновский  
И. В. Буторина  
Е. П. Дубовикова**

# **3D-ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЧЕРТЕЖА. AutoCAD 3-Е ИЗДАНИЕ**

*Допущено Министерством образования Российской Федерации  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлениям подготовки дипломированных специалистов  
в области техники и технологии*

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2005

УДК 681.3.06(075.8)  
ББК 32.973.26-018.2я73  
Х35

**Хейфец А. Л., Логиновский А. Н., Буторина И. В., Дубовикова Е. П.**

Х35 3D-технологии построения чертежа. AutoCAD. —  
3-е изд., перераб. и доп. / Под ред. А. Л. Хейфеца. — СПб.:  
БХВ-Петербург, 2005. — 256 с.: ил.

ISBN 5-94157-592-0

Рассмотрены основы компьютерной 3D-технологии выполнения чертежа на базе пакета AutoCAD. Приведены примеры построения пространственных моделей различной сложности. Показано, как по пространственной модели в автоматическом режиме получить изображения, из которых формируется чертеж детали и узла: виды, разрезы, сечения, — и оформить чертеж в соответствии со стандартами. Приведены основы построения фотореалистичных изображений.

Содержатся примеры выполнения контрольно-графических работ по курсу инженерной графики.

Приведенные материалы отражают новые подходы в обучении инженерной графике.

*Для студентов и аспирантов инженерных и строительных специальностей,  
а также преподавателей кафедр графики*

УДК 681.3.06(075.8)  
ББК 32.973.26-018.2я73

### **Группа подготовки издания:**

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Игорь Рыбинский</i>
Зав. редакцией	<i>Григорий Добин</i>
Редактор	<i>Андрей Смышляев</i>
Компьютерная верстка	<i>Натальи Смирновой</i>
Корректор	<i>Наталья Першакова</i>
Дизайн обложки	<i>Игоря Цырульникова</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 03.06.05.  
Формат 70×100<sup>1/16</sup>. Печать офсетная. Усл. печ. л. 20,64.  
Тираж 3000 экз. Заказ №  
"БХВ-Петербург", 194354, Санкт-Петербург, ул. Есенина, 5Б.

Санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию № 77.99.02.953.Д.006421.11.04  
от 11.11.2004 г. выдано Федеральной службой по надзору  
в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Отпечатано с готовых диапозитивов  
в ГУП "Типография "Наука"  
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

ISBN 5-94157-592-0

© Хейфец А. Л., Логиновский А. Н., Буторина И. В., Дубовикова Е. П., 2005  
© Оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2005

# Содержание

<b>Введение</b> .....	<b>1</b>
2D- и 3D-технологии построения чертежа .....	1
О данном учебном пособии .....	2
Предварительная подготовка .....	3
Коллегам — преподавателям графики .....	4
Соглашение по записи действий.....	5
<b>Глава 1. Плоский контур</b> .....	<b>7</b>
1.1. Содержание работы.....	7
1.2. Контур "Коромысло".....	7
Предварительные настройки для 2D-чертежа .....	8
Разметка.....	9
Элементы контура .....	11
Сопряжения элементов контура.....	13
Редактирование контура.....	14
1.3. Основы простановки размеров.....	14
Настройка размерных параметров. Размерный стиль .....	15
Ассоциативные размеры .....	15
Примеры простановки размеров .....	16
Редактирование размеров.....	16
1.4. Оформление чертежа .....	17
Выход на лист .....	17
Выбор формата чертежа, построение рамки и штампа.....	18
Открытие видового окна, задание масштаба.....	18
1.5. Контур "Прокладка" .....	19
1.6. Контур корпуса детали.....	23
1.7. Крюк .....	26
<b>Глава 2. Построение пространственной модели</b> .....	<b>29</b>
2.1. Содержание работы.....	29
2.2. Конструирование детали .....	30
2.3. Настройки для пространственных построений .....	34
2.4. Разметка модели. Геометрические вычисления.....	35
Точечные фильтры и объектное слежение.....	39

2.5. Создание элементов модели.....	39
Наружные элементы .....	40
Внутренние элементы .....	42
2.6. Редактирование модели.....	43
<b>Глава 3. Виды, простые разрезы, аксонометрия.....</b>	<b>45</b>
3.1. Некоторые положения ЕСКД.....	45
3.2. Построение основных видов и простых разрезов .....	48
Дополнительные настройки .....	48
Исходное видовое окно .....	49
3.3. Построение проекций командами <i>SOLVIEW</i> и <i>SOLDRAW</i> .....	50
Вид сверху .....	51
Ортогональные проекции и простые разрезы.....	51
3.4. Вынос проекций на лист.....	54
Новый лист .....	54
Вынос на лист через буфер обмена.....	54
Вынос на лист созданием блока.....	55
3.5. Редактирование изображений.....	55
Ребро жесткости .....	56
Совмещение половины вида с половиной разреза.....	56
Местный разрез.....	59
3.6. Компоновка чертежа.....	59
3.7. Простановка размеров .....	61
Размерные цепи.....	62
Диаметр как линейный размер.....	63
Размеры с односторонней стрелкой.....	64
3.8. Построение аксонометрической проекции.....	64
Аксонометрические виды .....	65
Пространственная модель разреза.....	66
Аксонометрическая проекция.....	67
Штриховка сечений в аксонометрии .....	68
3.9. Завершение чертежа.....	69
Заполнение основной надписи .....	69
Корректировка толщины линий контура .....	69
Корректировка шага прерывистой линии .....	70
3.10. Вывод чертежа на печать .....	70
Чертеж формата А4, версия AutoCAD 2004.....	71
Чертеж формата А4, версия AutoCAD 2005.....	72
Чертеж формата А3 .....	73
Вывод на печать из файла .....	73
<b>Глава 4. Ступенчатый разрез. Наклонное сечение.....</b>	<b>75</b>
4.1. Содержание работы.....	75
4.2. Особенности построения ступенчатого разреза .....	77

4.3. Построение модели.....	80
Подготовительные операции.....	80
Наружная форма модели.....	81
Внутренняя форма.....	86
Итоговая модель.....	86
4.4. Построение проекций командой <i>SOLPROF</i> .....	87
4.5. Построение видов и простых разрезов командами <i>SOLVIEW</i> и <i>SOLDRAW</i> .....	89
Проекция вида сверху.....	89
Проекция вида спереди.....	90
Профильные разрезы.....	90
Редактирование изображений.....	91
4.6. Построение ступенчатого разреза.....	91
4.7. Истинный вид наклонного сечения.....	93
Построение сечения командой <i>SECTION</i> .....	94
Построение сечения командами <i>SOLVIEW</i> и <i>SOLDRAW</i> .....	94
Оформление наклонного сечения.....	94
4.8. Завершение чертежа.....	95
АксонOMETрическое изображение.....	95
Выносить проекции на лист или завершать в окнах?.....	96
<b>Глава 5. Ломаный разрез.....</b>	<b>97</b>
5.1. Содержание работы.....	97
5.2. Особенности выполнения ломаного разреза.....	100
5.3. Построение модели.....	102
Анализ формы детали.....	102
Предварительные настройки.....	103
Построение элементов модели.....	103
5.4. Построение ломаного разреза.....	110
Простые разрезы.....	110
Монтаж изображений.....	112
5.5. Аксонометрия ломаного разреза.....	113
5.6. Завершение работы.....	114
<b>Глава 6. Дополнительные и местные виды.....</b>	<b>115</b>
6.1. Содержание работы.....	115
6.2. Назначение и построение дополнительных и местных видов.....	118
6.3. Построение модели.....	119
Анализ формы.....	119
Предварительные настройки.....	120
Основание.....	120
Паз "ласточкин хвост".....	121
Усеченная призма.....	121
Арочная ниша в стойке.....	122
Завершение модели.....	123

6.4. Построение проекций.....	124
6.5. Оконный вариант построения чертежа .....	127
Монтаж комбинированных изображений .....	127
Компоновка чертежа. Проекционная связь .....	129
Масштабирование проекций.....	130
Другие особенности оконного варианта.....	131
<b>Глава 7. Рабочий чертеж корпусной детали.....</b>	<b>133</b>
7.1. Содержание работы.....	133
7.2. Чтение чертежа узла.....	134
7.3. Построения в истинных размерах.....	136
7.4. Модель корпуса.....	137
Предварительные настройки.....	137
Основание корпуса.....	138
Камера .....	139
Фланец.....	140
Штуцер .....	141
Наклонные отверстия в корпусе .....	144
7.5. Построение рабочего чертежа.....	145
Корректировка положения модели .....	147
Вид спереди с местными разрезами.....	147
Местный разрез на виде сверху.....	149
Вид слева с профильным разрезом .....	150
Наклонное сечение .....	151
Выносные элементы.....	153
Компоновка чертежа.....	154
Завершение чертежа.....	156
Очистка файла.....	156
7.6. О построении сопряжений пространственной модели.....	157
<b>Глава 8. Объемная сборка, чертеж узла.....</b>	<b>161</b>
8.1. Содержание работы.....	161
8.2. Крышка корпуса.....	162
8.3. Пробка.....	168
8.4. Пружина.....	170
Пружина сжатия.....	171
Пружина растяжения .....	172
8.5. Зубчатые колеса.....	175
Прямозубые цилиндрические колеса.....	176
Косозубое цилиндрическое колесо .....	178
8.6. Вал в сборе.....	180
8.7. Болт и гайка.....	182
8.8. Сборка узла.....	183
Загрузка деталей в файл сборки .....	183
Загрузка корпусной детали.....	184

Установка деталей в корпус .....	185
Построение "по месту". Прокладка .....	188
Контроль сборки на основе вспомогательных сечений.....	189
Объемный разрез узла.....	192
8.9. Чертеж узла .....	193
<b>Глава 9. Фотореалистичная визуализация .....</b>	<b>197</b>
9.1. Подготовка модели и общие настройки .....	198
9.2. Освещение и тень.....	200
Настройка значка источника .....	200
Первый источник света .....	200
Режим построения тени.....	202
Второй и третий источники света .....	202
9.3. Предварительная визуализация .....	203
9.4. Материалы .....	204
Выбор материалов из библиотеки .....	204
Присвоение материалов.....	205
Присвоение граням различных материалов .....	206
9.5. Фон .....	206
9.6. Корректировка свойств материала .....	207
9.7. Сохранение и просмотр растровых изображений .....	208
9.8. Композиция .....	209
9.9. О фотореалистичной визуализации узла .....	211
Предварительная визуализация в режиме закраски .....	211
Визуализация Render.....	212
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>213</b>
<b>Приложение 1. Программа построения сети .....</b>	<b>215</b>
<b>Приложение 2. Варианты заданий .....</b>	<b>225</b>
<b>Литература .....</b>	<b>242</b>
По пакету AutoCAD .....	242
По инженерной графике .....	242
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>243</b>

# Введение

Инженерная графика является одной из базовых дисциплин в инженерной подготовке студентов. Преподавание ее в большинстве вузов ведется на основе традиционных методов и программ, основанных на применении карандаша и линейки, тогда как практика проектирования на предприятиях и в фирмах полностью ориентирована на компьютерные методы построения чертежа. Поэтому внедрение новых методов обучения инженерной графике, основанных на применении компьютерных технологий, является актуальной задачей.

Настоящее пособие отражает многолетний опыт преподавания инженерной графики ряду специальностей ЮУрГУ и ЧГАУ (г. Челябинск). Основу излагаемых методов составляют компьютерные 3D-технологии проектирования и построения чертежа.

## 2D- и 3D-технологии построения чертежа

Различают 2D- (двухмерную) и 3D- (трехмерную) технологии проектирования и построения чертежа (D — от англ. *dimension*, размерность).

По 2D-технологии конструктор строит проекции создаваемого объекта, т. е. его плоские изображения — виды, разрезы, сечения и др. Проектирование идет одновременно с созданием чертежа объекта. 2D-технология основана на начертательной геометрии. Это традиционная, вековая технология и сегодня является основной. Лист бумаги, карандаш и кульман составляют весь арсенал ее технических средств. Распространены и компьютерные варианты 2D-технологии, в которых компьютер применяется как электронный кульман, позволяющий разгрузить конструктора от рутинной графической работы по проведению линий требуемой толщины, выполнению надписей определенным шрифтом, стрелочек нужной формы и т. п., но не более.

Сущность 3D-технологии проектирования состоит в том, что конструктор сразу строит реалистичную, наглядную, виртуальную модель детали, узла или здания, собирая ее из объемных примитивов (призма, цилиндр, конус и т. д.), а также примитивы на основе вращения или перемещения плоского контура), не прибегая к построению чертежа. Модель формируется на экране, ее можно осмотреть со всех сторон, разрезать, получить произвольное сечение, отредактировать форму. С помощью программных средств модель можно нагрузить и выполнить ее прочностной расчет. Для архитектурных объектов — построить перспективу, фотореалистичное изображение и т. д. Этот естественный для человека вариант проектирования стал реально воз-

возможным в последние десять лет благодаря компьютерной графике, позволяющей достаточно просто создавать трехмерные виртуальные модели объектов и наглядно отображать их на экране.

Чертежи по 3D-технологии получают после того как модель создана, т. е. на завершающей стадии проектирования и, в значительной мере, в автоматическом режиме. "Система" сама строит необходимые виды, разрезы, в первом приближении проставляет размеры, хотя за конструктором остается задача определить оптимальное содержание чертежа. Тем самым осуществляется интеллектуальная разгрузка проектировщика.

3D-технология на базе современной компьютерной техники и программного обеспечения активно входит в практику проектирования. Рынок программных продуктов наполнен пакетами САПР (система автоматизированного проектирования), реализующими 3D-технологии. Это AutoCAD, Mechanical Desktop, Inventor, Solidworks, Компас 3D. Пакеты для строителей и архитекторов: ArchiCAD, Architectural Desktop и др. Их внедрение в России идет весьма активно. Несомненно, что по мере подготовки специалистов, владеющих новыми методами работы, 3D-технология станет преобладающим методом конструирования и проектирования.

Особое место среди программных продуктов занимает AutoCAD (*Automated Computer Aided Drafting and Design* — Автоматизированное компьютерное черчение и проектирование). AutoCAD — продукт фирмы Autodesk. Это наиболее распространенный в мире и доступный в России пакет САПР, изучение которого сегодня должно входить в базовую подготовку инженера. На основе пакета AutoCAD легко освоить новые методы проектирования и построения чертежа. После AutoCAD можно без особых проблем перейти к работе в других пакетах САПР.

## О данном учебном пособии

Учебное пособие предназначено для освоения компьютерных методов построения чертежа по 3D-технологии. Инструментальной базой является пакет AutoCAD (не ранее версии AutoCAD 2002, предпочтительна версия AutoCAD 2005). Пособие применяется в курсе инженерной графики при обучении ряда специальностей университета ЮУрГУ и ЧГАУ, которым предоставлен достаточный объем компьютерного времени.

Пособие содержит материалы для выполнения четырех основных заданий курса.

Первое задание — "Плоский контур" (гл. 1) — позволяет освоить приемы построений на плоскости.

Второе задание — "Проекционное черчение" (гл. 2—6). Содержит четыре работы, выполнение которых позволяет освоить 3D-методы построения изо-

изображений, образующих чертеж детали — виды, разрезы сечения. Каждая работа начинается с создания пространственной компьютерной модели и заканчивается получением ее чертежа, готового к выводу на печать.

Третье задание — "Детализирование" (гл. 7, 8), в нем рассматривается построение моделей и рабочих чертежей характерных машиностроительных деталей с позиций 3D-технологии.

Четвертое задание — "Объемная сборка и сборочный чертеж" (гл. 8) — показывает, как построить модель узла и на ее основе получить чертеж этого узла.

В гл. 9 приведены основы фотореалистичной визуализации объектов в пакете AutoCAD на примере машиностроительных деталей и узлов.

В *Приложении 1* приведена программа построения сети на основе плоско-параллельного перемещения контура по произвольной траектории с одновременным вращением контура. Программа написана на языке AutoLISP. Дан пример ее применения для построения наглядной модели косозубого цилиндрического колеса.

В *Приложении 2* приведены варианты задания "Проекционное черчение", в наибольшей мере соответствующие изложению материала в гл. 2—6.

Задания выполняются в пакете AutoCAD. Необходимо по аналогии, в изложенной последовательности, выполнить чертежи своих вариантов заданий. Все чертежи выводятся на печать и предоставляются в виде отчета. Фотореалистичные визуализации предьявляются в виде растровых файлов.

Занятия проводятся в компьютерном зале по два часа в неделю. Требуется также самостоятельная работа за компьютером в дополнительное время. Общий минимально необходимый объем компьютерного времени в неделю 4—6 часов.

## Предварительная подготовка

Предполагается, что студент имеет предварительную подготовку по информатике и черчению в рамках школьной программы.

Пособие не содержит подробного описания команд и интерфейса пакета AutoCAD. Эти вопросы мы рекомендуем изучить по работам [1—3], в которых следует проработать главы 1, 2, 4. Указанные главы лучше всего изучить предварительно, для них достаточно двух-трех занятий. Можно обращаться к ним параллельно с выполнением заданий данного пособия.

Подробное изложение команд пакета AutoCAD, методов их применения и интерфейса можно найти в справочной службе этого пакета, о том как ей пользоваться см. [1—3, разд. 1.6], или в многочисленной литературе, например, [4, 5].

## Коллегам — преподавателям графики

Многие считают, что в условиях ограниченного времени, выделяемого на изучение графических дисциплин, а также дефицита преподавательских кадров, нет возможности вводить новые методы обучения, ориентированные на компьютерные технологии. Считается также, что компьютерным технологиям научат выпускающие кафедры. Однако этого не происходит, и студенты в той или иной мере осваивают новые методы работы самостоятельно, без должной методической поддержки и глубины.

Обучать новым методам построения чертежа должны кафедры графики. Этому способствует доступность компьютера как современного инструмента для работы (сегодня домашние компьютеры имеют 60—90% студентов), широкое оснащение университетов компьютерными залами. Внедрение компьютерных технологий в учебный процесс кафедр графики не только является требованием времени, но способствует повышению рейтинга кафедр, росту интереса студентов к освоению графических дисциплин.

В связи с изложенным становится актуальной задача разработки новых методов обучения базовым графическим дисциплинам [1]. Приводимое учебное пособие показывает новое наполнение традиционных заданий курса инженерной графики и методы их выполнения.

Если обучение компьютерной 2D-технологии построения чертежа на кафедрах графики уже ведется, то новые эффективные методы 3D-технологии еще не нашли отражения в учебном процессе, за исключением нескольких кафедр (ЮУрГУ, НГТУ, ЧГАУ). Основу 3D-технологии построения чертежа составляет построение реалистичной модели. Каждый преподаватель знает, что наличие наглядной модели существенно облегчает построение ее чертежа. В связи с этим, что может быть лучше динамичной (можно вращать на экране и рассмотреть со всех сторон) объемной модели, полученной самим студентом? Умение строить модели формируется за два-три занятия и совершенствуется в процессе выполнения заданий.

Замечено, что 3D-технологии способствуют освоению черчения студентами, в том числе и со слабой общей подготовкой, ибо построение компьютерных моделей у них не вызывает трудностей, а получение чертежа на основе модели во многом носит формальный характер, поскольку построение проекций, разрезов сечений автоматизировано. Для таких студентов в особой мере имеет значение внешняя привлекательность компьютерных технологий — работа за компьютером, цвет и динамика формируемых моделей и чертежей и т. д.

Известны сомнения преподавателей, связанные с ограниченным объемом часов, выделяемых на графические дисциплины: как в это время еще и

учить компьютерным технологиям черчения? Во-первых, решительно сокращать (но не исключать совсем) применение карандаша и линейки, считая, что если мы в университете научим современным технологиям построения чертежа, то карандаш и линейку студент освоит и сам (ведь есть еще и школьная программа черчения). Во-вторых, нужен рост квалификации преподавателей в области компьютерной графики и разработка новых методик обучения. В-третьих, назрела необходимость корректировки учебных программ по базовым графическим дисциплинам в направлении внедрения компьютерных технологий.

Базовым пакетом для кафедр графики, несомненно, является AutoCAD. Это следует из широты его возможностей, распространенности и доступности.

## Соглашение по записи действий

Для краткости изложения мы будем применять сокращенную запись действий, например:

**Draw** (Рисование) \ **Line** (Отрезок) \ 100,100 \ 200,100 \ 200,200 \ 100,200 \ **Close** (Замкни).

Расшифруем приведенную запись. Знак  служит приглашением к действию. Жирным шрифтом выделены названия разделов меню и других элементов интерфейса. Согласно записи в главном меню следует указать **Draw**, после того, как этот раздел меню раскроется, указать в нем строку **Line**. Далее, с клавиатуры, через запятую, набрать 100,100 (это координаты начальной точки отрезка) и завершить ввод, нажав клавишу <Enter> — на это указывает косая черта. Затем набрать с клавиатуры следующую пару цифр, вновь <Enter> и т. д. В заключение ввести из контекстного меню, вызываемого правым щелчком мыши, имя опции **Close**.

Учитывая, что с выходом новых версий пакета содержание меню изменяется, а имена команд остаются неизменными, будем зачастую указывать имя команды, приводимое в начале записи, шрифтом Courier. Имя команды нужно ввести с клавиатуры и нажать <Enter>. Например:

line \ 200,100 \ 400,100 \ 300,250 \ **Close**.

Будем также применять варианты записи с указанием кнопок панелей инструментов.

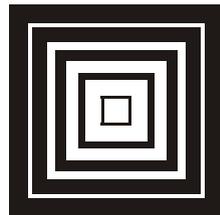
Если нужно выбрать на экране объект или назначить точку экрана, будем применять термин "укажите". Щелчок правой кнопкой мыши, применяемый для вызова контекстного меню или завершения выбора, будем называть ПЩ (правый щелчок) или П-щелчком.

Для краткости будем приводить только английские имена команд. Тем, кто работает в локализованной русской версии, нужно при вводе с клавиатуры к имени команды и ее опций добавлять нижний дефис, например, `_line`.

Пособие разработали: профессор А. Л. Хейфец — главы 7, 8, 9, приложение 1 и общая редакция; доцент А. Н. Логиновский — главы 1, 2, 3; доцент И. В. Буторина — главы 5, 6; старший преподаватель Е. П. Дубовикова — глава 4.

С авторами можно связаться по адресу **heifets@yandex.ru**.

# Глава 1



## Плоский контур

AutoCAD содержит обширный набор средств, делающий его идеальным электронным кульманом, автоматизирующим графические работы. В данной главе рассмотрены примеры построений на плоскости. Получаемые изображения могут быть одной из проекций чертежа по 2D-технологии или контуром для получения объемной модели (например, путем выдавливания или вращения).

### 1.1. Содержание работы

#### Цель работы

Изучить команды построения и редактирования графических примитивов AutoCAD, средства объектной привязки, последовательность построения и оформления чертежа.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучите (повторите) приведенные ниже примеры.
2. Постройте плоский контур в соответствии с полученным заданием.
3. Проставьте размеры элементов контура.
4. Представьте результат работы в виде чертежа.

Пример выполнения задания приведен на рис. 1.1. Многочисленные варианты заданий можно найти в литературе, например, [7].

### 1.2. Контур "Коромысло"

Рассмотрим последовательность построения чертежа, показанного на рис. 1.1. Предполагается, что студент знает, как загрузить пакет AutoCAD и начать работать над новым чертежом. Иначе повторите соответствующий раздел в учебном пособии [1—3, разд. 1.1]. Итак:

□ загрузите пакет и откройте новый рисунок.

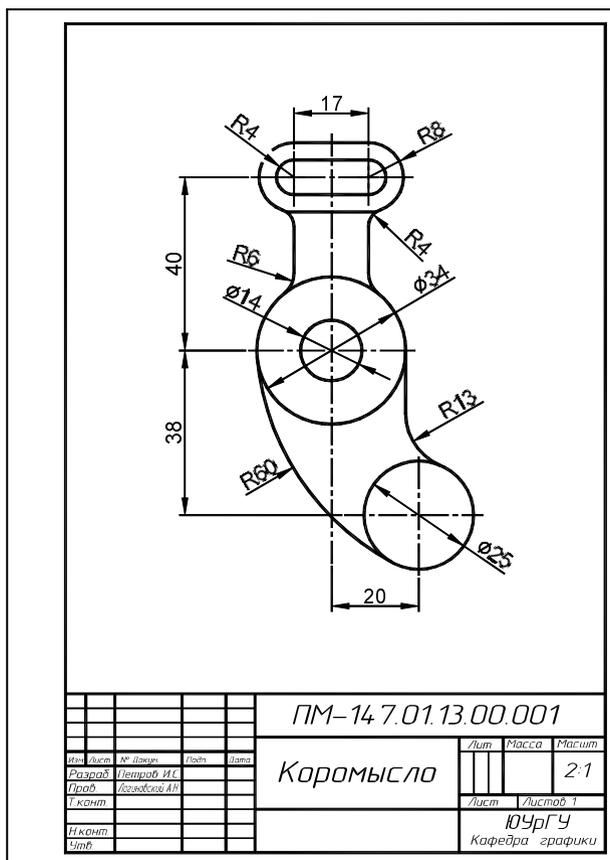


Рис. 1.1. Чертеж к заданию "Плоский контур"

## Предварительные настройки для 2D-чертежа

Выполняемое задание фактически является построением несложного чертежа по традиционной 2D-технологии. Последовательность предварительных настроек в этом случае подробно изложена в [1–3, разд. 3.1]. Кратко повторим эту последовательность.

Построение контура будем выполнять в пространстве модели, а оформление чертежа — в пространстве листа. Сейчас настроим пространство модели:

□ убедитесь, что активна закладка **Model** (Модель), или укажите ее.

Задайте *лимиты* пространства модели как условные границы прямоугольной области, в которой размещается объект.

Для выполняемого контура эта область ориентировочно, с запасом, имеет размеры 150×150 мм:

limits \ 0,0 \ 150,150 \ ПЩ;

zoom \ All (Все) или кнопка .

Настройте панели инструментов. Убедитесь, что на экране присутствуют основные панели: **Standard** (Стандартная панель инструментов), **Properties** (Свойства объектов), **Layer** (Слои), **Draw** (Черчение) и **Modify** (Изменение). Если присутствуют другие панели, закройте их, освобождая экран. Расположите панели по краям экрана: первые три горизонтально в верхней части экрана, остальные — вертикально слева и справа.

О работе с панелями инструментов см. [1—3, разд. 1.3]. В частности, для вызова или удаления панелей выполните следующее:

щелкните правой кнопкой мыши по одной из существующих на экране панелей. В возникшем контекстном меню укажите имя панели, которую требуется вывести на экран или удалить с экрана.

Задайте слои. Назначение и работа со слоями рассмотрены в [1—3, разд. 2.12]. Сейчас понадобятся три новых слоя. Для их создания и настройки выполните:

layer или пункт меню **Format** (Формат) \ **Layer** (Слой) или укажите кнопку  панели управления слоями) \ в открывшемся окне **Layer Properties Manager** (Свойства слоев) создайте новые слои с именами *Контур*, *Оси*, *Размеры*, *Штамп* и *Окно* \ присвойте слоям различный цвет \ для слоя *Контур* установите толщину линии 0.5...0.8, для слоя *Оси* загрузите и установите тип линии **Center** (По центру), сделайте этот слой текущим \ **ОК**.

## Разметка

Разметка предусматривает определение основных соотношений, проведение осей, вспомогательные построения и т. д.

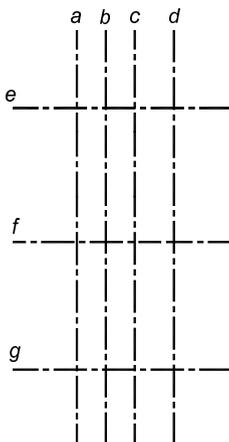
В рассматриваемом примере разметка сводится к построению осевых линий (рис. 1.2):

включите режим ортогональных построений, указав кнопку **ORTHO** (ОРТО) в статусной строке или нажав клавишу <F8>;

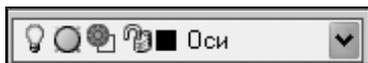
убедитесь, что текущим является слой *Оси*, иначе установите его текущим (рис. 1.3);

приблизительно посередине экрана, воспользовавшись командой LINE или указав кнопку , проведите отрезки вертикальной *b* и горизонтальной *f*

осевых линий (рис. 1.2). Длину отрезков можно задать произвольно, с запасом. Для разметки удобнее применить конструктивные линии "бесконечной длины" — для этого служит команда `XLINE` .



**Рис. 1.2.** Разметка осей



**Рис. 1.3.** Фрагмент панели **Layers**, где показан текущий слой *Оси*

Остальные оси можно размножить с помощью команд `COPY` или `OFFSET`. Применим второй вариант:

- `offset` или укажите кнопку  \ задайте расстояние сдвига 40 \ укажите горизонтальную ось *f* \ укажите точку выше оси как направление создания подобной линии \ ПЩ — построена ось *e*;
- ПЩ (повтор предыдущей команды) \ задайте расстояние равным 38 \ выберите ось *f* и укажите точку ниже этой оси \ ПЩ — построена ось *g*;
- на основе оси *b* постройте оси *a*, *c* и *d*, задав для первых двух смещение, равное 8.5, а для третьей — 20 (см. рис. 1.1).

Убедитесь, что созданные осевые линии имеют свойства слоя, на котором они расположены, т. е. являются штрихпунктирными и имеют цвет слоя.

## Элементы контура

Установите в качестве текущего ранее созданный слой *Контур*:

- в панели **Layers** найдите окно свойств текущего слоя (см. рис. 1.3). В нем указан текущий слой — сейчас это слой *Оси*. Укажите стрелку "вниз", в раскрывшемся списке укажите строку с именем нужного слоя *Контур* — это имя должно остаться в окне после закрытия списка.

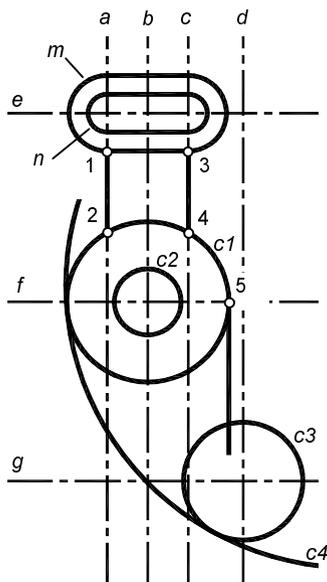


Рис. 1.4. Построение элементов контура

Начнем с построения контуров *m*, *n* — два прямоугольника с закруглениями (рис. 1.4). Для удобства задания размеров перенесем начало координат в точку пересечения осей *a* и *e*. Перенос осуществляется командой `ucs`, задающей так называемую *пользовательскую систему координат* (ПСК) (подробно о ПСК см. [1—3, разд. 2.5]). Точку пересечения осей нужно указывать с применением объектной привязки [1—3, разд. 2.4]:

- укажите кнопку  или введите команду `ucs \ O` — опция **Origin** (Начало) \ сочетание клавиш `<Shift>+ПЩ` \ в возникшем контекстном меню укажите привязку **Intersection** (Пересечение) \ подведите курсор к пересечению осей *a* и *e*, дождитесь подтверждения объектной привязки и укажите точку пересечения.

## Результат

Пиктограмма осей перешла в указанную точку. В этой точке сейчас находится начало координат (0,0).

Строим внутренний контур  $n$  длиной 25 высотой 8:

- ❑ `rectang` (прямоугольник) или укажите кнопку  \ `F` — опция **Fillet** (Закругление) \ "Specify fillet radius: " (Введите радиус закругления) — введите 4 \ "Specify first corner point:" (Определите первый угол) — 4, -4 \ "Specify other corner point:" (Определите другой угол) — вторую точку задайте приращением координат, введя @25,8 — построен прямоугольник со скруглениями в угловых точках.

Наружный контур  $m$  создадим смещением внутреннего на 4 мм с помощью команды `OFFSET`:

- ❑ `offset` \ 4 — это величина смещения \ укажите построенный прямоугольник и точку вне его \ ПЩ.

Построим концентричные окружности  $c1$ ,  $c2$  и  $c3$ , центры которых определены разметкой как точки пересечения осевых линий. Для создания окружности применим команду `CIRCLE`:

- ❑ `circle` или укажите кнопку  \ с объектной привязкой **Intersection** укажите центр окружности как пересечение осей  $f$  и  $b$  \ радиус задайте равным 7;
- ❑ создайте остальные окружности с радиусами 17 и 12.5.

Проверьте толщину линий созданных элементов:

- ❑ укажите кнопку **LWT** (BEC) в статусной строке — элементы должны принять толщину, установленную на слое *Контур*. Для последующих построений рекомендуем отключить толщину линий, повторно указав кнопку **LWT**.

Построим отрезки контура 1-2, 3-4 (см. рис. 1.4). Для этого командой `BREAK` разорвем осевые линии  $a$  и  $c$  в точках 1, 2, 3 и 4, а затем переведем образовавшиеся отрезки на слой *Контур*:

- ❑ `break` или укажите кнопку  \ укажите произвольную точку осевой линии  $a$  \ `F` — опция **First point** (Первая точка) \ объектной привязкой **Intersection** укажите точку 1 \ вторую точку разрыва задайте на месте первой следующим образом: @0,0;
- ❑ то же повторите в точках 2, 3 и 4, но здесь примените второй вариант той же команды, вызываемый по кнопке ;
- ❑ укажите созданные отрезки 1-2 и 3-4 — они должны выделиться \ в окне панели **Layers** установите слой *Контур* \ снимите выделение отрезков,

нажав дважды клавишу <Esc> — отрезки приняли свойства слоя, на который их перенесли, т. е. изменили цвет, тип линии и толщину.

Проведите отрезок из точки 5, как показано на рис. 1.4:

- `line` \ укажите с объектной привязкой **Intersection** или **Quadrant** (Квadrант) точку 5 \ в режиме **ORTHO** переместите курсор вниз и укажите нижнюю конечную точку отрезка вблизи окружности  $\varnothing 25$ , вне ее или внутри \ ПЩ.

## Сопряжения элементов контура

Плавные сопряжения элементов по окружности выполняются либо построением касательной окружности, для этого в команде `CIRCLE` имеются опции вычисления точек касания, либо командой `FILLET`.

Построим окружность  $c4$  радиусом 60 (см. рис. 1.1, 1.4), касательную к сопрягаемым окружностям  $c1$  ( $\varnothing 34$ ) и  $c3$  ( $\varnothing 25$ ). Касательную окружность позднее обрежем, оставив дугу сопряжения. Положение касательной окружности определяется точками указания сопрягаемых окружностей. Поэтому, если в итоге будет построена касательная окружность иного положения, чем на рис. 1.3, то измените точки указания:

- `circle` \ опция **Trt** (Касательная, касательная, радиус) \ укажите точку в левом верхнем секторе окружности  $c1$  и точку в левом нижнем секторе окружности  $c3$  \ задайте радиус 60.

Сопряжения в точках 1..4 выполним командой `FILLET`. В точках 1 и 3 команду нужно применить с опцией **No trim** (Не обрезать), а в точках 2 и 4 — с опцией **Trim** (Обрезать). Для сопряжения в точках 1 и 3 необходимо предварительно, командой `EXPLODE`, расчленив контур  $m$  на отрезки прямых и дуги:

- `explode` или кнопка  \ укажите наружный прямоугольник \ ПЩ;
- `fillet` или кнопка  \ `R` — опция **Radius** \ 4 \ `T` — опция **Trim** (опция, уточняющая режим сопряжения) \ `N` — опция **No trim** (Не обрезать) \ укажите отрезок и дугу прямоугольника в районе точки 1 \ ПЩ — повтор команды \ укажите отрезок и дугу в районе точки 3;
- `fillet` \ `R` \ 6 \ `T` \ `T` \ укажите окружность  $\varnothing 34$  рядом с точкой 2 со стороны сопряжения и отрезок 1-2 \ ПЩ \ укажите окружность  $\varnothing 34$  рядом с точкой 4 и отрезок 3-4;
- `fillet` \ `R` \ 13 \ укажите отрезок рядом с точкой 5 и окружность  $\varnothing 25$  вблизи точки сопряжения.

## Редактирование контура

Подрежем линии контура, применив команды редактирования TRIM и BREAK:

- trim или укажите кнопку  \ укажите в качестве режущих кромок окружности  $\varnothing 34$  и  $\varnothing 25$  \ ПЩ \ укажите окружность Ш60 со стороны удаления \ ПЩ;
- подобным образом обрежьте отрезки вблизи точек 1 и 3.

Подрежьте осевые линии, они должны выступать за контур на 3...5 мм:

- break или кнопка  \ укажите точку в месте обрыва линии \ укажите точку за линией со стороны обрыва.

Редактировать осевые линии можно "ручками" [1—3, разд. 2.3]:

- включите режим **ОРТНО**;
- укажите линию — возникли ручки, переместите конечную ручку в нужное положение.

## 1.3. Основы простановки размеров

Согласно ГОСТ 2.307 количество размеров на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля изделия. Не допускается повторять размеры одного и того же элемента на разных изображениях. Размерные линии предпочтительно наносить вне контура изображения. Выносные линии должны выходить за концы стрелок на 1...5 мм. Минимальное расстояние между параллельными размерными линиями должно быть 7 мм, а между размерной и линией контура — 10 мм. Необходимо избегать пересечения размерных и выносных линий.

Команды простановки размеров сосредоточены в главном меню **Dimension** (Размеры). Для удобства работы выведите на экран одноименную панель инструментов (рис. 1.5).



**Рис. 1.5.** Панель инструментов простановки размеров **Dimension**

## Настройка размерных параметров. Размерный стиль

Простановка размеров в новом чертеже начинается с настройки размерных параметров. К ним относятся величина стрелок, шрифт и высота размерного числа, отступ выносных линий от контура изображения, зазор между размерной линией и текстом, точность и др. Параметры объединены в *размерный стиль*. Чертеж может содержать несколько размерных стилей. В новом рисунке содержится исходный размерный стиль, как правило, ISO-25, настройки которого не соответствуют требованиям ГОСТ 2.307.

Создадим свой размерный стиль, взяв за основу исходный. В новом стиле отменим отступ выносной линии от контура, скорректируем величину стрелок и выступ выносной линии, изменим тип шрифта и снизим точность проставляемого размерного числа:

- `dimstyle` или укажите кнопку  \ возникло диалоговое окно **Dimension Style Manager** (Диспетчер размерных стилей), в котором укажите кнопку **New** (Новый) \ задайте имя нового стиля, например, 1 \ **Continue** (Продолжить) — в верхней части окна появились закладки, указывая которые можете настроить требуемые параметры;
- укажите закладку **Lines and Arrows** (Линии и стрелки) \ в группе **Extension Lines** (Выносные линии) задайте **Extend Beyond Dim Lines** (Выступ линии за размерную) в интервале 2...4 \ задайте **Offset From Origin** (Отступ выносной линии от контура) равным 0 \ в группе **Arrowheads** (Параметры стрелок) задайте **Arrow Size** (Размер стрелки) от 4 до 5 \ **OK**;
- укажите закладку **Text** (Текст) \ задайте **Text Style** (Стиль текста), указав в нем тип шрифта **Arial** или **Tahoma, Romans, GOST type B** \ установите **Text Height** (Высота шрифта) в интервале 3...5 \ **OK**;
- укажите закладку **Primary Units** (Основные единицы) \ **Precision** (Точность) равно 0 \ **Round off** (Округление) равно 0 \ **OK**;
- укажите **Set Current** (Установить текущим) \ **OK** — создан и установлен текущим новый размерный стиль.

## Ассоциативные размеры

Возможны различные варианты простановки размера. Первый вариант: при выполнении команды указываются две начальные точки выносных линий, а затем положение размерной линии. Второй вариант: после нажатия <Enter> или ПЩ выбирается объект, на который ставится размер, например — отрезок, и требуется указать только положение размерной линии. В обоих вариантах система считывает размер с изображения и выводит его значение в командную строку в виде предложения, заключенного в угловые скобки. При

согласии с предложением достаточно указать положение размерной линии. Третий вариант: при несогласии с предложением нужно задать опцию `t (Text)`, набрать свой текст и затем указать положение размерной линии.

Между указанными вариантами имеется существенное отличие. Если принято предложение о значении размерного числа (это первые два варианта), то образуется *ассоциативный* размер, неразрывно связанный с изображением. При масштабировании изображения будет меняться численное значение размера, и это надо учитывать, вводя соответствующий линейный масштаб. Если число введено с клавиатуры (третий вариант), то оно не зависит от изменений объекта.

## Примеры простановки размеров

Руководствуясь приведенными правилами, приступим к простановке размеров. Проставим размеры контура в соответствии с образцом на рис. 1.1:

- перейдите на слой *Размеры*;
- `dimlinear` или кнопка  (линейный размер) \ с объектной привязкой укажите концы верхней и средней горизонтальных осевых линий (см. рис. 1.1) \ отведите курсор влево примерно на 10...12 мм и укажите щелчком левой кнопки мыши положение размерной линии — проставили размер 40;
- `dimcontinue` или кнопка  (продолженный размер) \ укажите конец нижней горизонтальной оси \ ПЩ — проставили размер 38;
- `dimradius` или кнопка  (радиус) \ укажите одну из дуг сопряжения и перемещением курсора определите положение размера \ зафиксируйте положение щелчком левой кнопки мыши;
- `dimdiameter` или кнопка  (диаметр) \ укажите точку окружности \ укажите положение размерной линии.

Подобным образом проставьте все размеры на чертеже плоского контура.

## Редактирование размеров

Для изменения размерных параметров, например, величины стрелок или особенностей размещения стрелок и текста, нужно скорректировать настройку размерного стиля, которым проставлены размеры, и обновить размеры:

- `dimstyle`  \ выполните корректировку размерных параметров стиля — размеры данного стиля обновлены с новыми значениями размерных параметров;

Если требуется единообразно изменить размер стрелок, высоту шрифта и выступ выносных линий за размерные, например — увеличить все в 1.5 раза, то целесообразно изменить глобальный размерный масштаб:

- `dimstyle` \ укажите закладку **Fit** \ **Use Overall Scale Of** (Глобальный размерный масштаб) 1.5.

Для изменения размерного текста:

- Modify** (Редакт) \ **Object** (Объект) \ **Text** (Текст) \ указать редактируемый размер \ в возникшем окне текстового редактора ввести новый текст \ **OK** — покинуть редактор \ ПЩ — прервать команду.

Для изменения положения размерной линии, выносной линии или положения размерного числа применяют редактирование с помощью ручек:

- укажите какой-либо размер — возникли ручки;
- укажите нужную ручку и переместите ее в новое положение.

## 1.4. Оформление чертежа

Чертеж можно завершать в пространстве модели, где построен объект (плоский контур). Однако оптимальным является тот вариант, при котором вопросы компоновки, масштабирования и окончательного оформления чертежа решаются в пространстве листа (см. [1—3, гл. 6]). На листе создаются видовые окна, через которые объект или его фрагменты отображаются из пространства модели в нужном масштабе.

### Выход на лист

Для перехода в пространство листа:

- в нижней части экрана, в строке закладок укажите закладку **Layout1**;
- если возникло окно настроек страницы листа, согласитесь с предложенными в окне настройками и **OK** — покиньте окно;

#### **Результат**

Вы перешли в режим, предназначенный для вывода на печать. В углу экрана показана пиктограмма ПСК, имеющая вид треугольника. Изображение контура видно через дежурное видовое окно.

- удалите дежурное видовое окно. Для этого, находясь в пространстве листа, сдвиньте изображение так, чтобы стала видна рамка окна, и сотрите окно командой `ERASE` — чертеж временно исчез.

## Выбор формата чертежа, построение рамки и штампа

Для выполняемого чертежа подходит формат А4. Предположим, имеется файл с именем *a4.dwg*, содержащий рамку и штамп формата А4. Тогда достаточно применить команду `INSERT` (вставить):

- создайте и сделайте текущим слой *Штамп*;
- Insert** (Вставка) \ **Block** (Блок) \ в диалоговом окне укажите **File** (Файл) \ найдите и укажите файл *a4* \ **ОК**;
- укажите точку вставки (0,0) \ согласитесь с остальными предложениями диалогового окна \ **ОК** — рамка и основная надпись вставлены на лист.

## Открытие видового окна, задание масштаба

Чтобы увидеть объект из пространства модели (в нашем случае вычерченный контур), нужно создать на листе новое видовое окно. Границы окна совместим с границами рабочей зоны чертежа. Новое видовое окно создается командой `VPORTS`:

- сделайте текущим слой *Окно*;
- `vports` \ в рабочей зоне чертежа укажите два противоположных угла создаваемого окна — возникло изображение объекта из пространства модели;
- активизируйте созданное окно, например, дважды щелкните по нему левой кнопкой мыши или укажите кнопку **Paper** в статусной строке.

### Результат

Перекрестие курсора должно перемещаться только внутри окна, а вне его границ принимать вид стрелки.

Масштаб чертежа определяется отношением истинных размеров объекта, задаваемых при его построении в пространстве модели, к размерам отображения на листе. Для задания масштаба чертежа, определяемого по отношению к пространству листа, можно применить команду `ZOOM`, добавив к значению суффикс `XP` (латинским шрифтом):

- `zoom \ s` — опция **Scale** (Масштаб) \ `2XP` — объект из пространства модели отображается на листе в масштабе 2:1.

Другие варианты задания масштаба приведены в [1—3, *разд. 6.5*].

Далее командой `PAN` панорамируйте (перемещайте) изображение внутри окна. Для корректировки размеров окна выйдите на лист, укажите рамку окна

и ручками отредактируйте размеры окна. Командой `MOVE` можно перемещать на листе все окно с его содержимым.

Для того чтобы рамка видового окна была не видна, нужно, чтобы она либо совпадала с границей рабочей зоны формата чертежа, либо ее нужно поместить на новый слой и заморозить его.

В завершение заполните основную надпись, применив команду `DTEXT`, см. [1, разд. 2.9].

## 1.5. Контур "Прокладка"

В AutoCAD имеются эффективные средства, ускоряющие построение изображений с повторяющимися элементами. Это команды `MIRROR` (Зеркало) и `ARRAY` (Массив). Применение этих команд рассмотрим при построении прокладки, показанной на рис. 1.6.

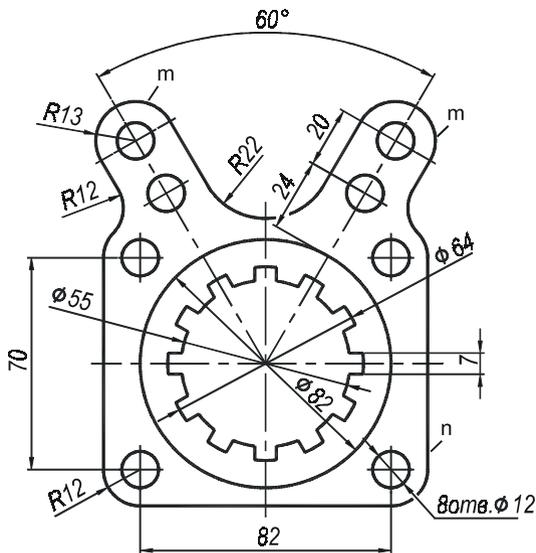
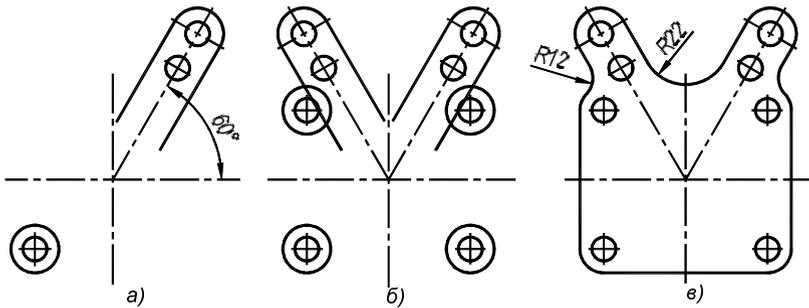


Рис. 1.6. Плоский контур "Прокладка"

Прокладка образована наружным и внутренним контурами. Наружный контур содержит два сектора *m* и прямоугольник *n* со скруглениями в углах. Секторы расположены симметрично относительно вертикальной оси, угол между осями секторов равен  $60^\circ$ . По углам прямоугольника выполнены четыре крепежных отверстия. Секторы и прямоугольник сопряжены дугами окружностей R12 и R22. Внутренний контур образован центральным отверстием со шлицевыми пазами.

- Выполните предварительные настройки так же, как и в предыдущем примере. В том числе проведите две взаимно перпендикулярные оси и установите ПСК в точку их пересечения.



**Рис. 1.7.** Построение наружного контура прокладки:  
 а — исходные элементы; б — зеркальное отображение и массив отверстий;  
 в — сопряжения

## Правый сектор

Построение сектора (рис. 1.7, а) существенно упрощается, если повернуть оси координат на  $60^\circ$ :

- `ucs \ z` (опция вращения ПСК вокруг оси Z) или кнопка  \ 60 — угол поворота против часовой стрелки;
- перейдите на слой *Оси*;
- `line \ 0,0 \ 103,0 \ ПЩ` — построена продольная ось сектора;
- `line \ 85,-15 \ 85,15 \ ПЩ \ ПЩ \ 65,-7 \ 65,7 \ ПЩ` построены поперечные оси отверстий;
- перейдите на слой *Контур*;
- `circle \ 65,0 \ 6 \ ПЩ \ 85,0 \ ПЩ` — построены два отверстия радиусом 6, расположенные вдоль оси сектора;
- `pline \ 25,13 \ 85,13 \ а` — опция **Arc** (Дуга) \ @26<-90 \ L — опция **Line** \ 25,-13 \ ПЩ — построен наружный контур сектора.

Восстановите ПСК с горизонтальным положением оси X и началом в точке пересечения осей:

- `ucs \ p` — опция **Prev** (Предыдущая ПСК) или кнопка .

## Левый сектор

Получим его с помощью команды `MIRROR` — зеркальным отображением правого, относительно вертикальной оси (рис. 1.7, б):

- `mirror` или укажите кнопку  \ выберите все элементы правого сектора, включая оси \ ПЩ \ с объектной привязкой **Endpoint** укажите конечные точки вертикальной оси \ ПЩ.

## Наружный контур

Построим две концентрические окружности с осями в левой нижней части контура (см. рис. 1.7, а). Размножим эту группу элементов, создав из них прямоугольный массив командой `ARRAY` (см. рис. 1.7, б), и проведем отрезки прямых, касательных к окружностям массива. Выполним сопряжения контура дугами окружностей (рис. 1.7, в):

- `ucs \ o \ -41,-35` — начало координат перенесено в центр отверстий;
- на слое *Оси* постройте два отрезка — оси отверстий;
- вернитесь на слой *Контур* и постройте две окружности с центром в точке (0,0) радиусами 6 и 12;
- `array` или укажите кнопку  \ задайте тип массива **Rectangular** (Прямоугольный) \ выберите окружности и их оси \ задайте количество рядов равным 2 \ количество столбцов равно 2 \ расстояние между рядами равно 70 \ расстояние между столбцами 82 \ **OK** — получено четыре группы отверстий (см. рис. 1.7, б);
- `line` \ с объектной привязкой **Quadrant** или **Tangent** (Касательная) укажите сопрягаемые окружности \ ПЩ — построен отрезок касательной прямой (см. рис. 1.7, в);
- постройте еще два касательных отрезка применительно к другим парам окружностей;
- `fillet \ R \ 22` \ укажите отрезки в месте их сопряжения дугой R22 \ ПЩ — повтор команды \ `R \ 12` \ задайте радиус 12 \ укажите в левой части контура окружность и отрезок в месте их сопряжения дугой R12 \ ПЩ — повтор команды \ укажите такие же элементы в правой части контура;
- командами `TRIM` и `ERASE` удалите ненужные линии и сегменты контура.

## Объединение сегментов контура

Это можно выполнить командами `REGION` (область) или `PEDIT` (редактирование полилиний):

- сделайте текущим слой *Контур* и временно заморозьте слой *Оси*;

- `region` или укажите кнопку  \ укажите сегменты наружного контура по порядку их следования — создана единая линия контура, ее цвет и толщина соответствуют слою *Контур*.

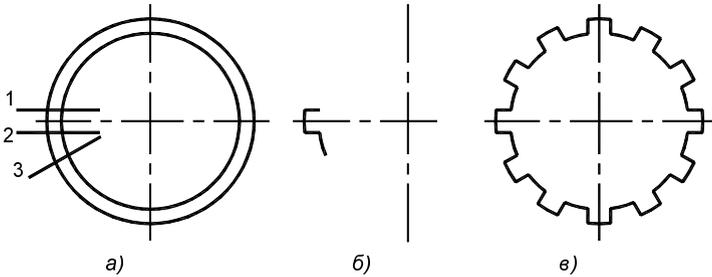
Признаком создания единой линии является появление в командной строке сообщения "1 Region created" (1 область создана). При указании контура он выделяется как единая линия. Если объединения не произошло, найдите и устраните разрывы или пересечения элементов контура.

Второй вариант объединения:

- `pedit` \ укажите один из сегментов контура \ согласитесь с предложением преобразовать его в полилинию \  $\Join$  — опция **Join** (Добавление) \ укажите остальные сегменты \ ПЩ;
- разморозьте слой *Оси*.

## Шлицевое отверстие

Построим профиль одного шлицевого паза, затем размножим его как круговой массив из 12 элементов (рис. 1.8):



**Рис. 1.8.** Шлицевое отверстие:  
а — разметка; б — единый паз; в — круговой массив

- убедитесь, что ПСК имеет начало в точке пересечения осей и ось  $X$  расположена горизонтально;
- `circle \ 0,0 \ d \ 64 \ ПЩ` — повтор команды `\ 0,0 \ d \ 55` — построены окружности наружной и внутренней поверхностей пазов (см. рис. 1.8, а);
- `line \ -34,3.5 \ -15,3.5 \ ПЩ` — построен отрезок 1;
- `copy \ укажите отрезок 1 \ ПЩ \ 0, -7` — это координаты вектора перемещения \ ПЩ \ ПЩ — построен отрезок 2;
- `copy \ вновь укажите отрезок 1 \ ПЩ \ 0,0 \ ПЩ \ ПЩ` — построен дубликат отрезка 1;