

А. Л. Хейфец, А. Н. Логиновский, И. В. Буторина, В. Н. Васильева

ИНЖЕНЕРНАЯ 3D-КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА

Под редакцией А. Л. Хейфеца

3-е издание, переработанное и дополненное

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

*Рекомендовано Государственным образовательным учреждением
высшего профессионального образования «Московский государственный технический
университет имени Н. Э. Баумана» в качестве учебного пособия
для студентов инженерно-технических вузов при изучении курсов «Инженерная графика»,
«Инженерная и компьютерная графика»*



Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru

Москва ■ Юрайт ■ 2017

УДК 681.3(075.8)
ББК 30.11/32.973.26-018.2я73
Х35

Авторы:

Хейфец Александр Львович — профессор, кандидат технических наук, профессор кафедры графики архитектурно-строительного факультета Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета);

Логиновский Александр Николаевич — кандидат технических наук, профессор кафедры графики архитектурно-строительного факультета Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета);

Буторина Ирина Владимировна — доцент кафедры графики архитектурно-строительного факультета Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета);

Васильева Вера Николаевна — доцент кафедры графики архитектурно-строительного факультета Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета).

Хейфец, А. Л.

Х35 Инженерная 3D-компьютерная графика : учебник и практикум для академического бакалавриата / А. Л. Хейфец, А. Н. Логиновский, И. В. Буторина, В. Н. Васильева ; под ред. А. Л. Хейфеца. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 602 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс).

ISBN 978-5-534-03620-6

Приведены методические разработки авторов, составляющие основу современного курса инженерной графики, отвечающего актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования. Рассмотрено создание геометрически точных моделей резьбовых, зубчатых и червячных передач, основанных на компьютерном 3D-моделировании. Включены элементы программирования и основы фотореалистичной визуализации.

Содержатся примеры выполнения контрольно-графических работ по курсу инженерной графики на основе 3D-технологий моделирования, проектирования и построения чертежа на базе пакета AutoCAD. Обобщен многолетний опыт преподавания компьютерных 3D-технологий в инженерной графике на кафедре Графики ЮУрГУ.

В третьем издании добавлен материал по параметризации, динамическим блокам, ассоциативным видам и чертежам, учтены последние разработки AutoCAD 2014, 2015 и научно-методические разработки авторов.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям подготовки бакалавриата, а также магистратуры, аспирантов и преподавателей кафедр графики вузов.

УДК 681.3(075.8)
ББК 30.11/32.973.26-018.2я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

© Хейфец А. Л., Логиновский А. Н.,
Буторина И. В., Васильева В. Н., 2012

© Хейфец А. Л., Логиновский А. Н.,
Буторина И. В., Васильева В. Н., 2014,
с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2017

ISBN 978-5-534-03620-6

Оглавление

Введение	15
Актуальность 3D-технологий	15
2D- и 3D-технологии построения чертежа	15
AutoCAD как базовый пакет инженерной графики	16
Коллегам — преподавателям кафедр графики	17
О содержании книги	19
О связи с компетентным подходом	22

Часть I 2D-ГРАФИКА

Глава 1. Дружественный интерфейс	27
1.1. Начало работы	27
Загрузка пакета	27
Рабочие пространства. Классический AutoCAD	27
Переход в пространство модели	29
1.2. Отрезок прямой линии	29
1.3. Панели инструментов	30
Выбор и замена панелей	31
Перемещение и удаление панелей	31
Вызов команд указанием кнопок панели	32
Оптимальное размещение панелей. Сохранение рабочего пространства	32
1.4. Инструментальные палитры	32
1.5. Лента	33
1.6. Диалог пользователя с AutoCAD'ом	34
1.7. Соглашение по записи действий	35
1.8. Справки по командам, помощь	36
Встроенный учебник	36
Помощь в прозрачном режиме	38
1.9. Режимы построений — ORTHO, Шаг, Сетка	38
1.10. Цвет	39
1.11. Удаление примитивов. Выбор объектов	40
Выбор объектов для редактирования	41
1.12. Отмена результата выполнения команд	41
1.13. Команды построения объектов	41
1.14. Редактирование геометрии объектов	42
1.15. Редактирование свойств объектов	42
1.16. Корректировка изображения	43
1.17. Узоры	44
Абстракция	44
Кружево	45
1.18. Выход из пакета с сохранением рисунка	46
Глава 2. Подготовка к построению чертежа	47
2.1. Построения по координатам	47
Координаты курсора в статусной строке	47
Точность отображения координат	48
Ввод координат с клавиатуры	48
Динамический ввод координат	49
2.2. Толщина линии	50
2.3. Редактирование геометрии «ручками»	51
2.4. Объектная привязка и геометрические построения	51

2.5. Объектное слежение	53
2.6. Пользовательская система координат	54
Управление пиктограммой осей	55
2.7. Текст	55
Настройка текстового стиля	55
Выполнение надписей	56
Редактирование текста	56
2.8. Штриховка	57
2.9. Тип линии	58
2.10. Слои	58
2.11. Список свойств объекта	60
2.12. Сложные линии	60
Полилиния	60
Мультилиния	61
Сплайны	62
Области	62
2.13. Некоторые настройки пакета	63
Настройки, выполняемые командой OPTIONS	63
Дополнительные кнопки панелей инструментов	65
2.14. Геометрические узоры	66
Круги Аполлония	67
Шестиугольник Паскаля	67
Глава 3. Плоский контур	69
3.1. Содержание работы	69
3.2. Пространство модели и пространство листа при построении чертежа	69
3.3. Настройки для построения чертежа	72
3.4. Контур «Коромысло»	73
Разметка	73
Элементы контура	73
Сопряжения элементов контура	75
Редактирование контура	75
3.5. Основы простановки размеров	75
Настройка размерных параметров. Размерный стиль	76
Варианты простановки размеров. Ассоциативные размеры	78
Примеры простановки размеров	78
Редактирование размеров	79
3.6. Оформление чертежа	79
Выход на лист. Настройка листа	79
Построение рамки и штампа	80
Открытие видового окна, масштаб и блокировка окна	80
3.7. Завершение чертежа	81
Заполнение основной надписи	81
Корректировка толщины линий контура	81
Корректировка шага прерывистой линии	82
3.8. Вывод чертежа на печать	82
Чертеж формата А4	82
Чертеж формата А3	83
Вывод на печать из файла	84
3.9. Другие примеры плоского контура	84
Контур «Прокладка»	84
Контур корпусной детали	87
Крюк	88
Глава 4. Чертеж детали. 2D-технология	91
4.1. Преимущества компьютерной технологии	91
4.2. Подготовительный этап	92
Анализ формы детали	92
Предварительные настройки	93
4.3. Построение изображений	94
Построение осей	94

Вид сверху	94
Вид спереди в режиме объектного слежения	95
Выносной элемент	96
4.4. Форматирование и компоновка	97
Выбор формата	97
Варианты масштабирования и компоновки	98
«Физическое» масштабирование	99
Оконный вариант масштабирования	101
Комбинированный вариант	102
4.5. Аннотативные объекты (размеры и штриховка)	103
4.6. Завершение чертежа	105
Новые варианты простановки размеров	105
Штриховка разрезов и сечений на чертеже	105
Изображение и обозначение резьбы	106
Выполнение надписей	106
4.7. Знак шероховатости	106
4.8. Аннотативный блок с атрибутом	107

Часть II ОСНОВЫ 3D-ГРАФИКИ

Глава 5. Средства трехмерной графики	113
5.1. Среда для пространственных построений	113
Настройка пространства модели	113
Настройка пространства листа	114
Создание новых видовых окон	115
5.2. Трехмерные solids-объекты. Построение и редактирование	115
Solids-объекты общего назначения	115
Построение solid-примитивов	116
Редактирование геометрии solids-объектов ручками	117
5.3. Наглядная визуализация	118
Удаление невидимых линий	118
Стандартные стили тонирования	118
Новый визуальный стиль — Металл	119
5.4. Направление взгляда и навигация	121
Стандартные виды	121
Точка зрения с заданными параметрами	121
Орбита	122
Видовой куб	123
Штурвал	124
5.5. Объектная привязка в пространстве	124
5.6. Пользовательская система координат в трехмерных построениях	125
Знак ПСК	126
Работа с ПСК в нескольких видовых окнах	127
Примеры применения ПСК и объектной привязки	127
5.7. Динамическая ПСК	130
5.8. Построение тел выдавливанием и вращением	131
5.9. Построение и редактирование командой PRESSPULL	133
5.10. Редактирование тел на уровне подобъектов	134
5.11. Редактирование тел командой SOLIDEDIT	135
Перемещение и поворот граней	136
Редактирование цвета граней и ребер	137
5.12. Составные тела	137
5.13. Тесты для самоконтроля	139
Два тора в зацеплении как звенья одной цепи	139
Псевдоповерхность Эшера	139
Лента Мебиуса	139
Звезда	140
Рифовый узел	141

Глава 6. Построение пространственной модели	142
6.1. Содержание работы	142
6.2. Конструирование детали	142
Не стройте «башен»	144
Вариант с наружной пирамидой	144
Вариант с пирамидальным отверстием	145
Вариант со сферой	146
6.3. Создание нового файла с прототипом	146
6.4. Разметка модели. Геометрические вычисления	147
Центр сферы	148
Разметка пирамиды	149
Вертикальная разметка. Ребро жесткости	150
6.5. Формирование модели из примитивов общего назначения	151
Наружные элементы	151
Внутренние элементы	152
Вычитание внутренних элементов	154
6.6. Формирование модели выдавливанием контуров и граней	154
6.7. Редактирование модели	156
Глава 7. Виды, простые разрезы, аксонометрия	159
7.1. Некоторые положения ЕСКД	159
7.2. Образец выполнения задания	160
7.3. Варианты автоматизированного построения 3D-чертежа	160
7.4. Дополнительные настройки для построения чертежа	162
7.5. Построение проекций командой FLATSHOT	163
7.6. Вынос блоков проекций на лист	164
7.7. Возможности команды SECTIONPLANE	164
7.8. Построение простого 2D-разреза командой SECTIONPLANE	165
Создание объекта-сечения	165
Настройка параметров и выполнение разреза	166
7.9. Построение видов командой SECTIONPLANE	167
7.10. Совмещение половины вида и половины разреза командой SECTIONPLANE	168
7.11. Редактирование изображений	169
Ребро жесткости	170
Местный разрез	171
7.12. Компоновка чертежа	172
7.13. Простановка размеров	173
Размеры на совмещенных изображениях вида и разреза	173
Размерные цепи	174
Диаметр как линейный размер	175
Размеры с односторонней стрелкой	175
Справочные размеры	176
7.14. Построение аксонометрической проекции	176
Аксонометрические виды	176
Ортогональная изометрия	177
Ортогональная диметрия	177
Пространственная «физическая» модель разреза	178
7.15. Построение 3D-разрезов командой SECTIONPLANE	179
Построение 3D-псевдоразреза	179
Построение 3D-блока разреза	180
Аксонометрия разреза	180
Штриховка сечений в аксонометрии	181
Глава 8. Ступенчатый разрез. Наклонное сечение	182
8.1. Содержание работы	182
8.2. Особенности построения ступенчатого разреза	182
8.3. Построение модели	184
Анализ формы. Настройки	184
Горизонтальная разметка	186
Вертикальное выдавливание контуров	187
Горизонтальное выдавливание контуров	188

8.4. Построение видов и простых разрезов	190
Построение видов командой SECTIONPLANE	190
Совмещение вида и разреза	192
8.5. Построение ступенчатого разреза	192
8.6. Истинный вид наклонного сечения	194
Построение сечения командой SECTION	194
Построение сечения командой SECTIONPLANE	195
Оформление наклонного сечения	196
8.7. Аксонометрия ступенчатого разреза	196
8.8. Анимация и программирование	199
Подготовка файла	199
Набор текста программы	200
Отладка, тестирование и выполнение программы	201
Глава 9. Ломанный разрез	203
9.1. Содержание работы	203
9.2. Особенности выполнения ломаного разреза	203
9.3. Построение модели	207
Анализ формы. Настройки	207
Наружные элементы	207
Внутренние элементы	209
Ребра жесткости	209
9.4. Построение ломаного разреза командой SECTIONPLANE	210
9.5. Аксонометрия ломаного разреза	211
Завершение чертежа	212
Глава 10. Дополнительные и местные виды	213
10.1. Содержание работы	213
10.2. Назначение дополнительных и местных видов	213
10.3. Построение модели	216
Анализ формы	216
Основание	217
Паз «ласточкин хвост»	218
Усеченная призма	218
Горизонтальные элементы	218
10.4. Дополнительный вид	219
Применение команды SECTIONPLANE	219
Применение команды FLATSHOT	220
10.5. Оконный вариант построения чертежа	221
Построение проекций	221
Компоновка чертежа. Проекционная связь между окнами	221
Масштабирование проекций и блокировка окна	222
Простановка размеров	222
Особенность построения аксонометрии	223
Завершение чертежа	224
Глава 11. Дополнительные возможности построения чертежа по 3D-технологии	225
11.1. Построение 2D-видов и простых разрезов командами SOLVIEW + SOLDDRAW	225
Алгоритм применения команд	225
Исходное видовое окно	226
Вид сверху	227
Новые слои команды SOLVIEW	227
Ортогональные проекции	228
Простые разрезы	228
11.2. Вынос проекций на лист	230
Вынос на лист через буфер обмена	230
Вынос на лист созданием блока	230
11.3. Редактирование 2D-изображений	230
11.4. Построение ступенчатого разреза командами SOLVIEW + SOLDDRAW	231
11.5. Построение ломаного разреза командами SOLVIEW + SOLDDRAW	233
11.6. Построение сечения командами SOLVIEW + SOLDDRAW	235

11.7. Построение дополнительного вида командами SOLVIEW + SOLDRAW	236
11.8. Построение 2D-видов командой SOLPROF	236
Построение проекций	237
Аксонометрия «физического» разреза	238

Часть III

3D-СБОРКА И ДЕТАЛИРОВАНИЕ УЗЛОВ

Глава 12. Модель корпусной детали и ее рабочий чертеж	243
12.1. Содержание работы	243
12.2. Чтение чертежа узла. Анализ формы корпуса	246
12.3. Построения в истинных размерах	246
12.4. Модель корпуса	248
Предварительные настройки	248
Основание корпуса	249
Камера	249
Фланец	250
Штуцер	251
Наклонные отверстия в корпусе	253
12.5. Построение рабочего чертежа	254
Корректировка положения модели	254
Вид спереди с местными разрезами	254
Вид сверху с разрезом	256
Вид слева с профильным разрезом	257
Наклонное сечение	258
Выносные элементы	259
Компоновка чертежа	260
Завершение чертежа	261
Очистка файла	261
12.6. О построении сопряжений пространственной модели	262
Глава 13. Объемная сборка. Чертеж узла	264
13.1. Содержание работы	264
13.2. Крышка корпуса	265
Анализ формы	265
Контур основания по сопряженной детали	265
Основание крышки	266
Штуцер	267
Внутренний объем крышки	268
Чертеж крышки	268
13.3. Пробка	270
13.4. Пружина	271
13.5. Зубчатые колеса	273
Прямозубые цилиндрические колеса	273
Косозубое цилиндрическое колесо	273
13.6. Вал в сборе	275
13.7. Крепеж	275
13.8. Сборка узла	276
Рекомендации по сборке	276
Файл сборки и загрузка корпусной детали	277
Установка вала в сборе	277
Установка зубчатых колес и прокладки	278
Крышка в сборе	280
13.9. Корректировка и контроль точности сборки	282
13.10. Объемный разрез и аксонometрия узла	283
13.11. Чертеж узла	284
Глава 14. Червячный редуктор. Корпусные детали	287
14.1. Содержание работы	287
Конструкция узла	288
14.2. Модель корпуса	290

Наружный объем корпуса	291
Внутренний объем корпуса	291
Крепежные отверстия и проточки во фланцах	293
14.3. Построение чертежа корпуса	294
14.4. Модель и чертеж крышки	296
Глава 15. Червячный редуктор. Сборка сложного узла	301
15.1. Рекомендации по построению 3D-сборки сложных узлов	301
15.2. Червячная передача	302
15.3. Вал колеса в сборе	304
15.4. Опора в сборе	305
15.5. Подшипниковый узел верхний	305
Гайка шлицевая в сборе с шайбой стопорной	306
Остальные детали верхнего подшипникового узла	308
15.6. Начало сборки	309
Подготовка к сборке	310
Установка опоры	310
Редактирование по месту	311
Установка червячной пары	312
Установка вала колеса	312
Установка остальных моделей	312
Построения по месту	313
15.7. Контроль и корректировка сборки	313
Проверка зазоров	313
Проверка взаимодействия моделей	313
15.8. Подшипниковый узел нижний	315
Глава 16. Червячный редуктор. Завершение сборки и чертеж узла	317
16.1. Подшипниковые узлы червячного вала	317
Правый подшипниковый узел	317
Левый подшипниковый узел	320
16.2. Смотровое окно, крышка, пробка	320
16.3. 3D-разрез сложного узла	322
Печать 3D-разреза в векторном формате	324
16.4. Реалистичные модели	324
Радиальные шарикоподшипники	325
Замена упрощенной модели на реалистичную	325
Роликовый конический однорядный подшипник	326
Подшипники упорные шариковые	327
Модель червячной пары	327
Изображение резьбы	328
Итоговое реалистичное изображение 3D-сборки узла	329
16.5. Построение чертежа сложного узла	330
Часть IV	
ФОТОРЕАЛИСТИЧНОСТЬ	
Глава 17. Тонирование	335
17.1. Подготовка модели и общие настройки	336
17.2. Режим тонирования (закраски)	338
Создание нового стиля визуализации	338
17.3. Фон	339
Градиентный фон	339
Фон – картинка из текстур AutoCAD'a	339
17.4. Чертеж в растровом формате	340
Применение команды SAVEIMG	340
Копирование экрана в буфер памяти	341
Печать чертежа в растровый файл	342
Печать в формате pdf	343
Присвоение чертежа в качестве фона	343
Связь растровых файлов и dwg-файлов	343
17.5. Визуализация в режиме тонирования	344

17.6. Освещение и тень	345
Основные свойства дополнительных источников света	345
Схема освещения	346
Отображение значков источников света	346
Точечный источник света с затуханием	347
Затухание света	348
Предварительная фотореалистичная визуализация	349
Теневого прожектор	350
Полная тень в режиме тонирования	351
Бестеновой прожектор	352
Прожектор подсветки с затуханием	353
Тень с мягкими границами	353
17.7. Тонирование с фоном и тенью, без материалов	354
Корректировка источников света	354
Критерии качества освещения	355
17.8. Сохранение результата фотореалистичной визуализации	356
Глава 18. Фотореалистичная визуализация	357
18.1. Материалы композиции	357
18.2. Библиотека и обозреватель материалов	358
Материал Global	359
Материалы для литой поверхности	359
18.3. Редактор материалов	360
18.4. Редактор текстур	360
Внешние текстуры	361
Внутренние текстуры	362
18.5. Работа с библиотекой материалов	362
Определение, замена и удаление материала	362
Материалы механической обработки	363
Материал сечений	364
Завершение знакомства с библиотекой материалов	364
18.6. Присвоение материалов	364
Присвоение материала объекту и его граням	364
Присвоение материала по слою	365
Отключение фона	367
18.7. Однородные материалы композиции	367
18.8. Создание и размещение текстуры	369
Текстура штриховки сечений	370
Добавление текстуры в материал	371
Корректировка текстуры в материале	371
Координация текстуры на гранях модели	372
18.9. Текстурированные материалы композиции	373
Литая поверхность	374
Материал сечений	375
Материалы механической обработки	375
Материал горизонтального листа — чертежа	376
Материал чертежа фона	377
18.10. Итоговая визуализация корпусной детали	378
Замена модели	379
18.11. Фотореалистичная визуализация узла	379
Визуализация узла в режиме тонирования	379
Фотореалистичная визуализация	380
18.12. Вставка растрового изображения как объекта	382
Часть V	
ГЕОМЕТРИЧЕСКИ ТОЧНЫЕ 3D-МОДЕЛИ	
Глава 19. Резьбовые изделия и соединения	385
19.1. 3D-модели резьбовых изделий	385
Модель болта	385
Модель гайки	386

Модель винта	387
Модели шайб	387
19.2. Модель резьбы	389
Геликоиды	389
Спираль Архимеда и анимация	390
Схемы построения модели резьбы	390
19.3. Резьба на стержне	391
19.4. Резьба в отверстии	394
19.5. Резьбовые соединения	395
Оценка точности модели резьбы	398
Наглядные модели резьбовых соединений	399
Глава 20. Цилиндрическая прямозубая передача	400
20.1. Расчет параметров передачи	400
20.2. Упрощенная модель	400
20.3. Точная модель	401
Контур зуба. Разметка	402
Эвольвента как развертка окружности	403
Формирование контура впадины шестерни	405
Контур впадины второго колеса	405
Построение зубчатых венцов	406
20.4. Эвольвента как сечение	407
Эвольвентный геликоид	408
Рациональный вариант построения эвольвенты	410
20.5. Анимация зубчатого зацепления	411
Плоская анимация	411
Объемная анимация	413
20.6. Наглядная модель зубчатой передачи	415
Глава 21. Цилиндрическая косозубая передача	417
21.1. Расчет параметров	417
21.2. Упрощенная модель косозубой передачи	419
21.3. Точная модель косозубой передачи	419
21.4. Оценка точности модели	421
Проверка взаимодействия — отсутствия пересечений зубьев	422
Точность контура зуба	422
21.5. Наглядная модель и анимация	424
Глава 22. Коническая прямозубая передача	425
22.1. Расчет параметров	425
22.2. Упрощенная модель конической передачи	426
22.3. Точная модель конической передачи	428
Контур впадин	428
Промежуточная проверка точности	430
Формирование впадин колес	431
22.4. Оценка точности модели	431
22.5. Дополнительные возможности анимации	432
22.6. Наглядная модель конической передачи	434
Глава 23. Червячная передача	435
23.1. Передача с архимедовым червяком	435
Упрощенная модель червячной передачи	436
Точная модель архимедовой передачи	436
Конволютный червяк	444
23.2. Эвольвентный червяк	444
23.3. Глобoidная червячная передача	446
23.4. Наглядные модели червячных передач	452
23.5. Анимация червячной передачи	454
Глава 24. Пружины	457
24.1. Пружины сжатия	457

24.2. Пружины растяжения	459
Рабочие витки	459
Зацеп. Вариант 1	460
Противоположный зацеп	461
Объемная модель	462
Второй вариант зацепа	462
24.3. Пружины кручения	463
24.4. Особенности чертежа пружины	465
Глава 25. Сложные поверхности	467
25.1. Кинематические поверхности	467
25.2. Модели литых и кованных деталей	470
Кронштейн	470
Коленвал	471
Крюк	472
25.3. Аналитические поверхности	474
Явное и параметрическое задание поверхностей	475
Программа построения аналитической поверхности	476
Преобразование сетей	478
Примеры построения сетей, заданных функциями $z = f(x, y)$	478
Примеры параметрических поверхностей	480
Часть VI	
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И РАЗРАБОТКИ	
Глава 26. Параметрические чертежи	485
26.1. Параметрические зависимости	485
Геометрические зависимости	486
Отображение геометрических зависимостей	488
Размерные зависимости	489
26.2. Автоматическое создание параметрического чертежа	491
Подготовка чертежа к параметризации	491
Автоматическое присвоение геометрических зависимостей	492
Автоматическое присвоение размерных зависимостей	493
Диспетчер параметров	494
Математические выражения	495
26.3. Преобразование параметрического чертежа в рабочий чертеж	496
Конвертация динамических зависимостей в аннотационные	496
Многовариантность параметрического чертежа	496
26.4. Подразумеваемые геометрические зависимости	497
Глава 27. Динамические блоки	499
27.1. Создание динамического блока	499
Содержание учебного задания	499
Последовательность создания динамического блока	500
Создание базового блока	500
Редактор блоков	500
Задание геометрических зависимостей	501
Задание размерных параметров	502
Тестирование блока	504
Диспетчер параметров блока	504
Сохранение и копирование блока	505
Таблица свойств блока	505
Полнота определения блока	507
Вставка блока в чертеж	508
27.2. Дополнительные возможности	509
Управление видимостью	509
Дискретные параметры и засечки	511
Палитры свойств динамического блока	512
Автономные дискретные параметры	513
Всплывающие подсказки	513

27.3. Сложный блок. Оформление отчета	514
Характеристика сложного блока	515
Содержание и рекомендации к выполнению отчета	516
27.4. Графическая база данных (ГБД)	517
ГБД пакета AutoCAD	517
Уголок	518
Болт	520
Знак шероховатости как динамический блок ГБД	524
Глава 28. Параметризация коник	529
28.1. Параметризация эллипса	529
Эллипс, проходящий через пять заданных точек	530
Эллипс, заданный пятью касательными прямыми	530
Варианты задания параметров эллипса	530
Прямая, касательная к двум эллипсам	531
Окружность, вписанная в эллипс	532
Вписать эллипс в эллипс	532
28.2. Гипербола по пяти точкам	533
Точки фокуса гиперболы	533
Выход в пространство для гиперболы	535
Погрешность решения	536
Динамический блок гиперболы	536
28.3. Построение касательных и директрис	537
28.4. Парабола Мора	538
Алгоритм решения	538
Реализация алгоритма параметризации	540
Выход в пространство для параболы	540
28.5. Парабола по четырем точкам	541
28.6. Прямая, касательная к гиперболе и параболе	542
28.7. Парабола, касательная к гиперболе и эллипсу	543
Исходные данные	544
Алгоритм решения	545
Реализация алгоритма	546
Исследование решения	547
Глава 29. Новые возможности 3D-технологии	550
29.1. Модель для тестирования новых возможностей	550
Содержание задания	550
Построение 3D-модели	550
29.2. Базовый и проекционные виды	554
Особенности видов чертежа	554
Создание видов чертежа	555
Свойства видов чертежа	556
Новые слои	557
29.3. Новые возможности построения разрезов и сечений	557
Создание стиля обозначения разреза	557
Простой разрез	558
Сложный ступенчатый разрез	559
Сложный ломаный разрез	560
Сечение	561
29.4. Дополнительные и совмещенные изображения	561
Дополнительный и местный виды	562
Выносной элемент	563
Совмещение вида и разреза	563
Изометрия с разрезом	563
29.5. Ассоциативный чертеж	565
Связь линии сечения с моделью	565
Тестирование ассоциативности чертежа	566
Экспорт и завершение чертежа	568
29.6. Новые возможности при построении чертежей узлов	569
Редактирование компонентов 2D-разрезов	569

Редактирование компонентов изометрии узла	572
Ассоциативность сборочного чертежа	573
Глава 30. Червячная фреза	574
30.1. Конструкция фрезы и ее параметры	574
30.2. Методические рекомендации и предварительные настройки	576
30.3. Построение заготовки фрезы	577
30.4. Расчетная схема	578
Базовая точка	578
Гелисы червяка и стружечной канавки	579
Развертки гелис	579
30.5. Стружечные канавки	580
Контур стружечной канавки	580
Лофтирование канавки	581
30.6. Затылование	583
Алгоритм затылования	583
Контур затылования	585
1-е затылование	586
2-е затылование	588
Суммарный объем затылований	591
Массив объемов затылований	592
30.7. Притупление концевых неполных зубьев	594
30.8. Исследование модели фрезы	596
Измерения объема, площади и длины	596
Определение углов резания	597
Варианты модели фрезы	598
Оценка точности модели	599
Литература	601

Введение

Книга обобщает многолетний опыт преподавания 3D-компьютерных технологий в курсе инженерной графики студентам Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ) [10–12, 25]. Преподавание было начато кафедрой графики ЮУрГУ в 1992–1995 гг. Сегодня все студенты инженерно-строительных специальностей 1-го и 2-го курсов ЮУрГУ изучают инженерную графику с применением компьютерных 3D-технологий.

В книге показано новое компьютерное наполнение традиционных и новых заданий курса инженерной графики и курса компьютерной графики на основе 3D-технологий проектирования и построения чертежа.

Актуальность 3D-технологий

Методы компьютерного 3D-моделирования и проектирования сегодня активно приходят на смену традиционным 2D-методам. Речь идет не просто о компьютерных технологиях в графике, которые давно завоевали прочное положение и на практике вытеснили ручные методы. Речь о новом подходе, который направлен на построение реалистичных компьютерных 3D-моделей. Действуют ГОСТ 2.052–2006 «Электронная модель изделия» и др. [20–22], регламентирующие подготовку технологической документации на основе компьютерной 3D-модели. По этим стандартам чертежи уже не являются обязательным конструкторским документом. При должной подготовке производства 3D-модель может непосредственно передаваться в цех для изготовления. Однако эти ГОСТы еще не нашли отражения в учебном процессе кафедр графики.

2D- и 3D-технологии построения чертежа

Различают двухмерную (2D) и трехмерную (3D) технологии проектирования и построения чертежа (D — 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 арсенал ее технических средств. Сегодня распространены компьютерные варианты 2D-технологии, в которых компьютер применяется лишь как электронный кульман, позволяющий разгрузить конструктора от рутинной графической работы по проведению линий требуемой толщины, выполнению надписей шрифтом, стрелочек нужной формы и т.п., но не более.

Сущность 3D-технологии состоит в том, что конструктор сразу строит реалистичную, наглядную, точную виртуальную модель детали, узла или здания, собирая ее из объемных примитивов (призма, цилиндр, конус и др.), не прибегая к построению чертежа. Модель можно осмотреть со всех сторон, разрезать, получить произвольное сечение, оценить ее точность и отредактировать.

Для модели можно выполнить прочностной расчет, для архитектурных объектов — построить перспективу, фотореалистичное изображение и т.д. Этот естественный для человека вариант проектирования стал возможным в последние 12–15 лет благодаря компьютерной графике, позволяющей 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. В современных графических редакторах «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, реализующими 3D-технологии. Это AutoCAD, Mechanical Desktop, Inventor, Solidworks, Компас 3D. Пакеты для строителей и архитекторов: ArchiCAD, Architectural Desktop, Revit 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.

AutoCAD как базовый пакет инженерной графики

AutoCAD — это наиболее распространенный в мире и доступный в России пакет САПР, изучение которого сегодня должно входить в базовую подготовку инженера.

Аббревиатура AutoCAD расшифровывается как Automated Computer Aided Drafting and Design (Автоматизированное компьютерное черчение и проектирование). AutoCAD — продукт фирмы *Autodesk*, является универсальным базовым пакетом. Сегодня насчитывается 8–10 вариантов пакета, ориентированных на различные сферы инженерной деятельности: AutoCAD MEP, AutoCAD Architecture, AutoCAD LT, AutoCAD Design Suite, AutoCAD Mechanical, AutoCAD Civil 3D и др. AutoCAD содержит все основы, которые заложены в специализированных пакетах САПР или CAD более высокого уровня. Для ряда из них AutoCAD является базовой средой. Это, например, Mechanical Desktop, Architectural Desktop, где загружается AutoCAD и сверх того дополнительные специализированные приложения. Для других пакетов: Inventor, Revit и др. — AutoCAD является обязательным приложением, в которое передаются результаты для завершения.

Широта возможностей AutoCAD'a позволяет применять его как инструментальную базу при обучении широкому спектру учебных дисциплин. Так, авторы применяют AutoCAD в курсе основ геометрического моделирования (как альтернативе курса начертательной геометрии), в курсе инженерной графики, в курсе компьютерной графики и информатики. Поскольку AutoCAD имеет свой язык программирования AutoLISP, то на его основе читается курс программирования и основ разработки САПР. AutoCAD позволяет успешно работать со светом, материалами и создавать интересные композиции, поэтому авторы преподают в этом пакете и элементы компьютерного дизайна.

AutoCAD позволяет успешно решать актуальную задачу, стоящую перед кафедрами графики, по адаптации базовых графических дисциплин: начерта-

тельной геометрии и инженерной графики — к современным 3D-компьютерным технологиям.

Сегодня AutoCAD — это «букварь» в компьютерно-графической подготовке современного специалиста. Студенты, овладевшие пакетом AutoCAD, легко переключаются на другие программные продукты, когда такая необходимость возникает. Архитекторы и строители переходят в 3DMAX, ArchiCAD, Architectural Desktop, Revit; механики — в Mechanical Desktop, Inventor, Solidworks, Компас 3D. Немаловажно и то, что AutoCAD имеет мировое распространение (т.е., зная AutoCAD, можно уверенно ехать на стажировку или работу в западные фирмы). AutoCAD выпускается на 18 языках.

Зачастую применение других пакетов определяется не столько их преимуществами, сколько незнанием возможностей пакета AutoCAD и его приложений или ограниченным кругом интересов.

AutoCAD — непрерывно и активно развивающийся пакет. Ежегодно выходят его новые версии. Последней на момент 3-го издания книги явилась версия AutoCAD 2014 (19.1s), применительно к которой учтены все особенности интерфейса и проведено тестирование приведенных примеров. Авторы успели протестировать и демоверсию AutoCAD 2015, в которой наряду с новациями в интерфейсе и ряде команд не выявлено каких-либо заметных особенностей применительно к задачам 3D-моделирования и проектирования, рассматриваемым в нашей книге.

Широта возможностей, распространенность и открытость, возможность в рамках единого пакета решать задачи инженерной графики, теоретического анализа пространственных форм, программирования и дизайна делает AutoCAD предпочтительным программным продуктом для кафедр графики.

Коллегам — преподавателям кафедр графики

Многие до сих пор 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, что компьютерным технологиям научат выпускающие кафедры. Однако выпускающие кафедры, как правило, не владеют методикой преподавания инженерной графики, и студенты осваивают новые методы работы самостоятельно, без должной методической поддержки и глубины.

Обучать новым методам построения чертежа должны кафедры графики. Этому способствуют доступность компьютера как современного инструмента для работы и достаточное оснащение университетов компьютерными залами. Скоро наличие компьютерных классов перестанет быть необходимостью, поскольку идет переход на работу с ноутбуками. Сегодня домашние компьютеры имеют 100% студентов. Найти компьютер стало проще, чем хороший карандаш.

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. Все более актуальной становится задача разработки новых методов обучения базовым графическим дисциплинам.

Если обучение 2D-компьютерной технологии построения чертежа на кафедрах графики уже ведется, то новые эффективные методы 3D-технологии еще не нашли должного отражения в учебном процессе. Основу 3D-технологии построения чертежа составляет создание реалистичной виртуальной (т.е. на эк-

ране) модели. Каждый преподаватель знает, что наличие наглядной модели существенно облегчает построение ее чертежа. В связи с этим, что может быть лучше динамичной (можно на экране вращать и рассмотреть со всех сторон) объемной модели, полученной самим студентом. Умение строить модели формируется за два-три занятия и далее 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 3D-модели во многом 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.

Следует признать, что автоматизация построения чертежа снижает у студентов глубину знаний ручной технологии построения чертежа. Студенты, хорошо владеющие компьютерным черчением, как правило, хуже выполняют эскизы и владеют карандашом. Причина — ограничение общего объема часов (да и «нельзя объять необъятное»). Здесь важны методика обучения и оптимальное соотношение ручной и компьютерной графики. Учитывая лавинообразное расширение компьютерных технологий, не исключено, что в обозримом будущем для студентов понадобятся факультативы по ручной (не по компьютерной, как сейчас) графике.

Переход на компьютерные технологии проектирования вызывает необходимость существенной корректировки методики преподавания. В новых ФГОС третьего поколения прямо сказано о необходимости преподавания компьютерных технологий в рамках основных часов, выделяемых на инженерную графику. В связи с этим прежние рекомендации нашего Научно-методического совета о преподавании компьютерных технологий графики только в рамках специально отведенных часов устарели.

В инженерной графике, по-видимому, нормой в учебном процессе должно стать: 30–50% ручной графики, остальное — компьютерная технология. Многие кафедры уже вышли на этот уровень. Однако зачастую преподают лишь компьютерные варианты 2D-черчения.

Как найти резервы времени на компьютерные технологии? Во-первых, решительно сокращать применение карандаша и линейки, считая, что если мы в университете научим современным технологиям построения чертежа, то карандаш и линейку «нормальный» студент освоит и сам.

Во-вторых, нужен рост квалификации преподавателей в области компьютерной графики и новых методик обучения. Основным фактором, сдерживающим развитие 3D-технологий, является кадровая проблема на кафедрах графики. Многие преподаватели старшего поколения считают, что студентов следует учить основам черчения, а попросту, «карандашу и линейке», часто действуют по принципу «не знаю, но осуждаю». Заметного притока достойных молодых кадров, способных преподавать на современном уровне, на кафедрах графики не наблюдается.

В-третьих, назрела необходимость обоснованной и продуманной корректировки учебных программ по базовым графическим дисциплинам в направлении внедрения компьютерных технологий. В связи с введением ФГОС 3-го поколения этот процесс уже начался.

Предполагается, что студент имеет необходимую предварительную подготовку по информатике и черчению в рамках школьной программы. Это позволяет сразу приступить к заданиям, характерным для вуза, и не повторять азав

школьного курса черчения. В этом еще один из резервов времени на преподавание компьютерных технологий без увеличения объема часов.

Однако необходимо признать, что в связи с известными негативными процессами объем преподавания черчения в средней школе снизился. Например, еще в 2010-м г. черчение преподавали в 90–95% школ г. Челябинска, сегодня таких школ уже 60–70%. Но это не означает, что можно снижать программу подготовки бакалавров инженерного профиля до уровня средней школы. Здесь нужна методическая и организационная работа на кафедрах графики.

Еще один, может быть, самый важный резерв времени для обучения компьютерным технологиям — постепенный переход от начертательной геометрии как морально устаревшей учебной дисциплины к теоретическим основам 3D-компьютерного геометрического моделирования, как альтернативному курсу.

Нельзя считать нормальной ситуацию, при которой в 1-м семестре студентов учат начертательной геометрии как теоретической основе 2D, а в следующих — без теоретической подготовки переходят к современным методам 3D-проектирования и построения чертежа. Если уже в 1-м семестре, в теоретическом курсе приобщать к компьютерным методам геометрического моделирования, то будет заложена база для курса инженерной 3D-компьютерной графики.

При обучении компьютерным технологиям в инженерной графике особенно важны квалификация и широта взгляда [10] преподавателя на роль компьютерных технологий. С целью привития студентам широты взгляда на AutoCAD и компьютерную графику в нашей книге наряду с построением моделей и чертежей показано построение кинематических поверхностей, создание программ, основы компьютерного дизайна. Для ряда специальностей после инженерной графики дается курс компьютерной графики [12], в котором рассмотрены широкие возможности современного пакета AutoCAD.

Важно, чтобы все чертежи и наглядные изображения моделей, в том числе фотореалистичные, были выведены на печать и собраны в семестровый отчет. Это организует и дисциплинирует работу студентов.

Занятия по компьютерной инженерной графике проводятся в компьютерном зале. Зал должен быть оснащен мультимедийным оборудованием — сегодня это уже стало нормой. Требуется предусмотренная учебными планами самостоятельная домашняя работа студентов за компьютером. Общий минимально необходимый объем компьютерного времени в неделю для студента составляет 4–6 часов.

О содержании книги

Книга предназначена для преподавателей и студентов инженерных специальностей вузов. Она содержит методические рекомендации для выполнения характерных заданий курса инженерной графики на основе компьютерных методов построения чертежа по 3D-технологии. Инструментальной базой является пакет AutoCAD. Содержание заданий взято из учебных программ различных специальностей, обучающихся на кафедре графики ЮУрГУ. Близкие задания применяются в большинстве вузов России.

Приведены примеры выполнения заданий. Примеры и методические рекомендации основаны на материалах ранее изданных многочисленных учебных пособий кафедры графики ЮУрГУ и многолетнем опыте преподавания этих заданий авторами [10–12, 25]. Ряд материалов является новой разработкой и может служить основой для создания новых оригинальных учебно-методических пособий.

Книга актуальна в связи с расширением 3D-технологий на рынке программных продуктов и в практической сфере деятельности, а также в связи с переходом вузов на современные образовательные стандарты (ФГОС ВО).

Книга позволяет глубоко освоить AutoCAD применительно к сфере инженерной графики, т.е. построения моделей и чертежей машиностроительных деталей и узлов.

Работа содержит 30 глав, объединенных в шесть частей.

Часть I (главы 1–4) излагает основы интерфейса последних версий AutoCAD, начиная с AutoCAD 2011, включая подробно AutoCAD 2014. Приведены упражнения, позволяющие быстро, за 1–2 занятия, освоить методы работы в пакете AutoCAD в объеме, необходимом для начала выполнения учебных заданий курса. В качестве примеров, закрепляющих материал по построению плоских объектов в пакете AutoCAD, приводятся упражнения на построения геометрических узоров, кругов Аполлония (это из истории геометрии), шестиугольника Паскаля (это из проективной геометрии). Эти примеры неизменно вызывают интерес студентов.

Рассмотрена классическая 2D-технология построения чертежа, по которой проектирование ведется посредством создания проекций — плоских отображений объекта (эпюр Монжа). Здесь AutoCAD играет роль электронного кульмана, автоматизирующего графическую часть работы (линии, стрелочки, шрифт). Показано (глава 3) выполнение учебного задания «Плоский контур», которое выдается ряду специальностей в качестве первого задания на освоение техники 2D-построения чертежа. Показан (глава 4) пример построения и оформления чертежа несложной детали на основе 2D-технологии.

Часть II (главы 5–11) рассматривает основы техники построения и редактирования трехмерных объектов. В главе 5 приведен «джентльменский набор» средств 3D-графики AutoCAD. В завершение главы 5 даны оригинальные примеры 3D-моделей (псевдоповерхность Эшера, лента Мебиуса, рифовый узел и др.), показывающие нетрадиционные возможности применения AutoCAD, направленные на активизацию творческого интереса студентов к предмету.

В главах 6–11 изложено компьютерное прочтение традиционного учебного задания «Проекционное черчение». Задание содержит четыре работы, выполнение которых позволяет освоить 3D-методы построения изображений, образующих чертеж детали. Каждая работа начинается с создания компьютерной 3D-модели и заканчивается получением ее чертежа.

Особый интерес представляет первая работа задания (глава 6), в которой по одной проекции следует сконструировать и построить 3D-модель с последующим выполнением ее чертежа. Это работа, достойная открывать учебный курс университетской программы по инженерной графике (вместо зачастую выполняемого задания по эскизированию элементарных моделей, повторяющего школьную программу). Она в полной мере раскрывает творческий потенциал студентов.

Задание «Проекционное черчение», один из вариантов которого приведен авторами, разработано коллективом кафедры графики ЮУрГУ в 1970–1980-х гг. Сегодня это задание в сочетании с компьютерными 3D-технологиями обрело вторую жизнь и широко применяется на кафедре. Часть вариантов задания можно найти в работе [11], остальные — на сайте кафедры. Близкие работы — в работе [3].

Для продвинутых студентов дан материал (глава 8) по элементам программирования в AutoCAD на языке AutoLisp. Например, показано, как создать простую программу для анимации перемещения наклонного сечения.

Часть III (главы 12–16) содержит материалы по выполнению учебных заданий «Детализование» и «Объемная сборка и сборочный чертеж». На примере узлов шестеренного насоса и червячного редуктора показано построение моделей, рабочих чертежей деталей и сборочных чертежей. Шестеренный насос (главы 12, 13) — пример несложного узла, на котором рассмотрены основы создания объемных сборок и чертежей. Червячный редуктор (главы 14–16) — сложный узел, завершающий графическую подготовку конструкторских специальностей. Методика его построения дана подробно и может служить основой для олимпиадной подготовки студентов. Построение узлов начинается с корпусной модели, которая в процессе компьютерной сборки наполняется упрощенными (в виде цилиндров) моделями подшипников, зубчатых и червячных передач. Затем упрощенные модели могут быть заменены на наглядные. Здесь же (глава 16) приведена методика построения реалистичных наглядных моделей подшипников.

Часть IV (главы 17, 18) содержит основы фотореалистичной визуализации в пакете AutoCAD. Приведен подробный пример построения дизайн-композиции, в которой корпусной модели присвоены материалы, воспроизводящие литейные и механически обработанные поверхности. Показаны создание и настройка источников света и теней. Рассмотрены особенности и пример фотореалистичной визуализации узла шестеренного насоса.

Фотореалистичная визуализация предназначена главным образом для отдельного курса компьютерной графики. Однако авторы поощряют интерес студентов к этой работе и в курсе инженерной графики.

Часть V (главы 19–25) — это научно-исследовательский раздел. Приведены оригинальные методики построения и исследования геометрически точных 3D-моделей резьбы, зубчатых передач, червячной передачи, пружин. Модели раскрывают возможности пакета AutoCAD, могут служить основой для последующих исследований геометрии и напряженно-деформированного состояния.

Для применения реалистичных изображений резьбы, зубчатых и червячных передач приведены наглядные модели, более простые в построении, чем точные, но придающие высокую наглядность 3D-моделям машиностроительных деталей и узлов. К этим моделям студенты будут обращаться при выполнении заданий по детализованию и объемной сборке узлов.

Показано построение кинематических поверхностей, на основе которых формируется рабочая поверхность резьбы (наклонный геликоид), зубчатых колес (эвольвентный геликоид), червячных передач. Этот материал показывает связь теоретических основ геометрического моделирования, в том числе и начертательной геометрии, с практикой 3D-моделирования.

Показано, как создать ряд простых lisp-программ для построения наглядной реалистичной анимации работы зубчатых и червячных передач.

В главе 25 приведено построение моделей на основе сложных кинематических и аналитических, т.е. заданных математическим уравнением, поверхностей. Построение этих моделей дается в курсе компьютерной графики, если позволяют выделенные часы, или предназначено для реферативной работы студентов.

Часть VI (главы 26–30) — это дополнительные разделы 3-го издания книги. В главах 26, 27 рассмотрены современные направления геометрического моделирования: параметризация и динамические блоки, позволяющие создавать многовариантные чертежи, управляемые наборами параметров.

В главе 28 даны примеры теоретического плана по моделированию коник средствами параметризации. Это может вызвать интерес у магистров и аспи-

рантов. Для общего потока здесь содержится множество интересных и современных тем для реферативной работы.

В главе 29 приведены новые возможности ассоциативной 3D-технологии моделирования и построения чертежа. Согласно этому направлению корректировка 3D-модели приводит к автоматической перестройке всех чертежей модели узла.

В заключительной главе 30 приведен пример реальной научно-исследовательской разработки, выполненной авторами с одной из проектных организаций: построение геометрически точной 3D-модели червячной фрезы, предназначенной на роль компьютерного шаблона для контроля точности изготовления реальных фрез этого типа. Модель дана в учебном варианте и вбирает в себя весь курс, изложенный в нашей книге. Построив такую модель, студент (магистр, аспирант) может считать себя готовым к научной работе.

В третьем издании книги существенно переработаны главы 7–11, 17, 18, 25. Разработаны главы 26–30. По всем материалам книги учтены новые разработки фирмы *Autodesk* с момента выхода 2-го издания, включая последнюю на момент издания версию AutoCAD 2015. Отражен дополнительный опыт преподавания, накопленный авторами за последние 3 года, и научно-методические разработки авторов за этот период.

О связи с компетентностным подходом

В соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования учебник направлен на формирование графической [33] и инновационной компетентностей [34] бакалавров и магистров всех инженерных специальностей вузов. Пособие позволяет на современной основе компьютерного 3D-моделирования реализовать многие из компетенций, предусмотренных ФГОС ВО, например по направлению 150700 «Машиностроение» (бакалавриат).

Включение материалов учебника в курсы инженерной и компьютерной графики позволяет в рабочих программах, разрабатываемых соответствующими кафедрами вузов по этим дисциплинам, дополнить требования к результатам освоения образовательных программ. Наряду с основными требованиями, предъявляемыми к освоению курса инженерной графики (знание ГОСТ, ЕСКД, умение строить и читать чертеж, работать с конструкторской документацией, анализировать форму моделей по их чертежам и др.) после изучения материала данного учебника студент должен:

знать

- методы построения компьютерных 3D-моделей машиностроительных деталей и узлов различной сложности;
- 3D-методы построения чертежей деталей и узлов;
- основы программирования графической информации на языке AutoLisp;
- методы построения и исследования аналитических и каркасных поверхностей;

уметь

- строить компьютерные 3D-модели деталей и узлов, выполнять их чертежи;
- анализировать форму геометрических фигур, деталей и узлов по их 3D-моделям;
- применять компьютерные технологии для построения чертежей и изучения пространственных свойств геометрических объектов;
- получать и обрабатывать растровые фотореалистичные изображения;

- составлять программы для построения и исследования графических объектов;

владеть

- навыками построения чертежа по 2D- и 3D-технологии в пакете AutoCAD;
- углубленными навыками работы в пакете AutoCAD.

Учебное пособие разработали: профессор, кандидат технических наук А. Л. Хейфец — главы 1–30 и общая редакция; профессор, кандидат технических наук А. Н. Логиновский — главы 3, 6, 7, 19–24, 28, 30; доцент И. В. Буторина — главы 1, 5, 8, 10, 11, 25–27; доцент В. Н. Васильева — главы 7–11, 14–16, 25–29.

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

Глава 1

ДРУЖЕСТВЕННЫЙ ИНТЕРФЕЙС

В этом разделе приведены начальные сведения об интерфейсе пакета AutoCAD, командах создания и редактирования объектов, управления изображением на экране. Требуется не столько запомнить эти команды, сколько понять методы работы с ними. В завершение раздела построим ряд красивых геометрических узоров.

Термин «дружественный» означает, что интерфейс пакета AutoCAD легко усваивается, размещение его элементов функционально и что действует правило «не знаешь — согласишься с предложениями системы, они оптимальны».

Ключевые слова для поиска справочной информации: *рабочие пространства, интерфейс, режимы рисования, свойства объектов, команды построения, команды редактирования.*

1.1. Начало работы

Считаем, что на вашем компьютере установлен пакет AutoCAD 2013–2015. Начнем его изучение.

Загрузка пакета

Найдите на экране (на «Рабочем столе») ярлык пакета (рис. 1.1) и активизируйте его. Начнется загрузка пакета, итогом которой является появление на экране окна пакета AutoCAD (рис. 1.2).

Вид окна на момент загрузки может быть различным. Он определяется настройками, сохранившимися с предыдущего сеанса работы. К ним относятся режим рабочего пространства и набор инструментов.



Рис. 1.1. Ярлык пакета AutoCAD

Рабочие пространства. Классический AutoCAD

В зависимости от выполняемой задачи пользователю предлагается выбрать один из четырех вариантов интерфейса или рабочего пространства: *2D Drafting and Annotation* (2D-черчение и аннотации), *3D* (Основы 3D) *3D Modeling* (3D-моделирование) и *AutoCAD Classic* (Классический AutoCAD).

Название первых трех пространств определяет преимущественную область их применения. Это новые варианты интерфейса, появившиеся в последних версиях пакета. Пространство классического AutoCAD'a является универсальным и предназначено для пользователей, привыкших к работе в предыдущих версиях пакета и начинающих пользователей. В нашей работе будем ориентироваться на классический AutoCAD. Новые варианты интерфейса рассмотрим кратко в той мере, которая в дальнейшем позволит начинающим пользователям его освоить самостоятельно.

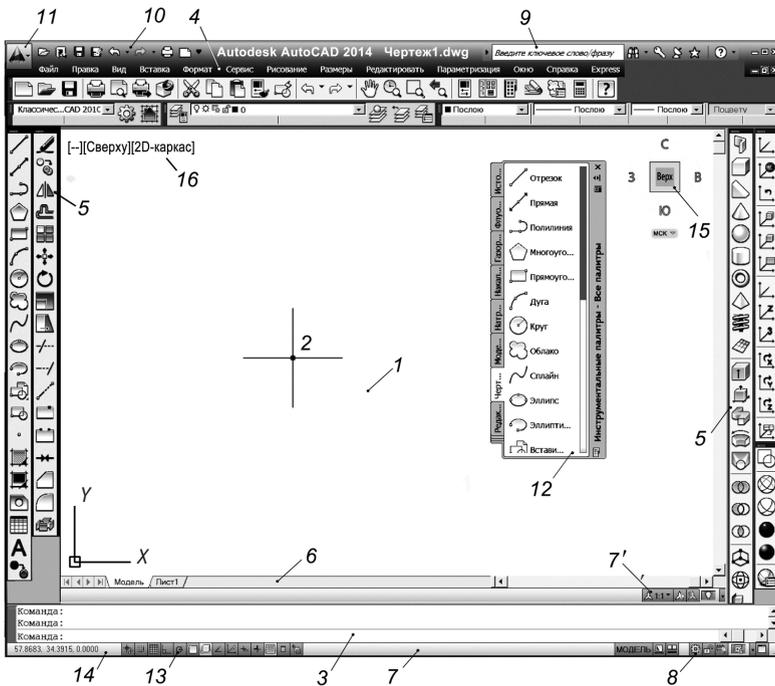


Рис. 1.2. Окно графического редактора в режиме рабочего пространства «Классический AutoCAD»:

1 — зона построений; 2 — курсор мыши; 3 — окно команд; 4 — главное меню; 5 — панели инструментов; 6 — строка закладок; 7, 7' — строка состояния; 8 — кнопка смены рабочего пространства; 9 — инфоцентр; 10 — панель быстрого доступа; 11 — кнопка приложения; 12 — палитры инструментов; 13 — кнопки режимов построений; 14 — координаты курсора; 15 — видовой куб; 16 — строка настроек

Выбор рабочего пространства осуществляется указанием кнопки 8 статусной строки (см. рис. 1.2). По этой же кнопке можно переходить в различные пространства в процессе работы. Можно создавать свои пространства.

- Укажите кнопку 8 (см. рис. 1.2) и посмотрите интерфейс каждого из предлагаемых пространств.
- Вернитесь в пространство классического AutoCAD'a.

Рассмотрим окно пакета в режиме классического AutoCAD'a (см. рис. 1.2). Его основными элементами являются: зона графических построений 1, в которой находится перекрестие курсора 2, управляемого мышью; окно команд 3, нижняя строка которого называется командной (в эту строку пользователь с клавиатуры вводит команды, а система выводит сообщения); главное меню 4, через которое можно вызвать основные команды; панели инструментов 5 для быстрого вызова команд. Остальные элементы интерфейса рассмотрим ниже, по мере изложения материала.

При нажатии кнопки <F2> клавиатуры на экран выводится текстовое окно, в котором отображается протокол (журнал) работы в текущем сеансе и содержатся сообщения системы. Командная строка отображает нижние строчки текстового окна. Повторное нажатие клавиши <F2> закрывает это окно. В ряде случаев, когда системе нужно вывести для вас большое сообщение, текстовое окно может открыться автоматически.

- Несколько раз нажмите клавишу <F2>, открывая и закрывая текстовое окно.

Если главное меню, поз. 4, на экране отсутствует (такой режим настройки возможен), введите с командной строки:

- menubar** / задайте 1. Чтобы убрать меню, введите 0.

Переход в пространство модели

Для краткости изложения введем термин «укажите», означающий наведение курсора на объект, раздел меню или кнопку панели инструментов, опцию в командной строке — и щелчок левой кнопкой мыши.

Обратите внимание на пиктограмму осей координат в левом нижнем углу графического окна. Если пиктограмма имеет вид осей (см. рис. 1.2 и 1.3), то активен режим пространства модели. Иначе пиктограмма имеет вид треугольника, и активен режим пространства листа. Далее (см. п. 3.6, 5.1) мы подробно рассмотрим особенности и назначение каждого режима. Сейчас, для выполнения упражнений данной главы, нужен режим пространства модели. Если пиктограмма не соответствует (т.е. имеет вид треугольника), нужно перейти в пространство модели:

- укажите в строке 6 закладку **Model** или в строке 7 кнопку **Model** (см. рис. 1.2);
- перемещая курсор по экрану, следите за отображением координат перекрестия в статусной строке. Передвинув перекрестие в левый нижний угол, вы должны увидеть координаты 0.0, 0.0, 0.0 или близкие к ним значения.

1.2. Отрезок прямой линии

Построим первый графический объект:

- переместите курсор в верхнюю зону экрана. В строке главного меню (см. рис. 1.3, а) укажите раздел **Draw** (Рисование) — раскрылся раздел меню, содержащий ссылки на основные команды построения объектов;
- укажите в раскрывшемся меню строку **Line** (Отрезок).

Внизу экрана, в командной строке, появилось сообщение «*line Specify first point*», содержащее имя команды построения отрезка прямой **LINE** и предложение задать координаты первой точки отрезка.

Координаты можно задать различным образом (см. п. 2.1). Сейчас просто укажем точку:

- переведите курсор в зону рисования и установите его так, чтобы в статусной строке значения координат составили приблизительно 100, 100, затем зафиксируйте точку с этими координатами, щелкнув левой кнопкой мыши;
- переместите курсор в положение, например, 250, 200 (обратите внимание на отслеживание создаваемого отрезка с помощью так называемой резиновой нити) и вновь щелчком левой кнопки мыши укажите вторую точку — построен отрезок прямой (см. рис. 1.3, б);
- продолжайте указывать точки, тем самым строя еще несколько отрезков;
- для завершения команды щелкните правой кнопкой мыши.

В зависимости от действующей настройки после «правого» щелчка либо произойдет прерывание команды, либо возникнет контекстное меню (см. рис. 1.3, в) с опциями выполняемой команды, в котором нужно указать верхнюю строку **Enter** (Ввод). Для отмены последнего построения укажите опцию

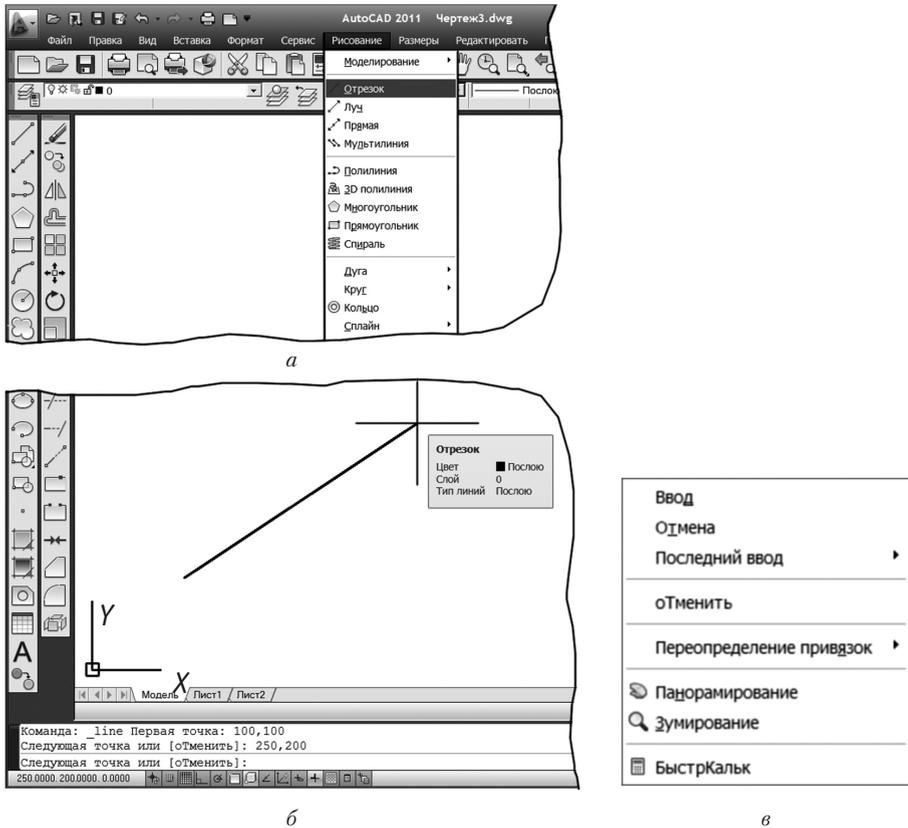


Рис. 1.3. Построение отрезка прямой:

a — раскрытие подменю **Draw** с активизацией команды **LINE**; *б* — создаваемый отрезок;
в — контекстное меню команды **LINE**

Undo (Отменить). Команду можно также прервать с клавиатуры клавишей <Esc> или <Enter>. После прерывания командная строка очистилась. Система ждет следующей командой.

Предусмотрено множество приемов, ускоряющих работу (постепенно вы их освоите). Например, последнюю команду можно возобновить правым щелчком мыши или с клавиатуры клавишей <Enter>. Еще один, дополнительный правый щелчок или <Enter> начнет новый отрезок от последней точки предыдущей линии. Это относится ко многим командам построения. Проверьте сказанное:

- командой **line** постройте отрезок прямой;
- сделайте двойной клик правой кнопкой мыши или дважды нажмите <Enter> — построение отрезков продолжено.

1.3. Панели инструментов

Панели инструментов — принадлежность интерфейса классического рабочего пространства (см. рис. 1.2, поз. 5). Они позволяют наглядно и быстро найти и активизировать команду. Для работы с панелями нужно перейти в рабочее пространство классического AutoCAD'a.

Выбор и замена панелей

Панели — легко заменяемый инструмент работы. Предусмотрен набор панелей инструментов. Для вывода на экран нужной панели выполните следующее:

- убедитесь, что находитесь в режиме классического AutoCAD'a, иначе перейдите в него;
- щелкните правой кнопкой мыши по одной из активных панелей, присутствующих на экране.

Откроется контекстное меню, в котором приведены подготовленные панели инструментов. В версии AutoCAD 2014 предусмотрено 55 панелей. Если слева от названия панели есть «птичка» или «крестик», панель уже выведена на экран. Указав строку с названием панели, можно вывести ее на экран или удалить с экрана. Например:

- найдите в контекстном меню панелей инструментов строку **UCS (ПСК)** и укажите ее — на экране возникнет панель *Пользовательской системы координат* (рис. 1.4). Повторным указанием строки с именем панели ее можно погасить.

Перемещение и удаление панелей

Панели можно расположить в удобном месте экрана. При расположении в левой или правой части экрана панель принимает вертикальное положение, в верхней части экрана — горизонтальное (см. рис. 1.2). На экране возможно горизонтальное или табличное положение панели (см. рис. 1.4, а, б).

Для перемещения панели:

- установите курсор в ту часть панели, где имеются две риски или темная полоса, нажмите левую кнопку мыши, перемещая мышью, перетяните (буксируйте) панель в нужное место экрана. При этом панели можно придать горизонтальное или вертикальное положение;
- отпустите кнопку мыши — панель зафиксирована в новом положении;
- перемещая границы панели, можно изменить ее положение с вертикального на горизонтальное или табличное.

Панели занимают место на экране, поэтому работать нужно с минимальным набором необходимых панелей. Для удаления панели:

- вытяните панель на экран и щелкните в крестик справа вверху этой панели — панель удалена.



Рис. 1.4. Варианты размещения панели инструментов (а, б) и всплывающая подсказка (в)

Вызов команд указанием кнопок панели

- ❑ Подведите курсор к одной из кнопок панели (см. рис. 1.4, а, б). Если курсор задержать на кнопке в течение 1–2 с, то рядом с кнопкой возникнут название команды и краткое пояснение ее назначения, а затем, краткая справка по этой команде. Достаточно щелкнуть левой кнопкой мыши по кнопке, и команда будет запущена.
- ❑ Повторите построение отрезка прямой, указав кнопку **Line**  на панели инструментов рисования **Draw**.

Настройка отображения подсказок осуществляется через диалоговое окно **Options** (Настройка):

- ❑ **Tools** (Сервис) / **Options** (Настройка) / в диалоговом окне выберите закладку **Display** (Экран) и в группе настроек **Window element** (Элементы окна) поставьте «птичку» в строке **Show Tool Tips** (Показывать всплывающие подсказки).

Оптимальное размещение панелей. Сохранение рабочего пространства

Оставьте на экране панели **Standard** (Стандартная), **Properties** (Свойства), **Layer** (Слой), **Draw** (Рисовать), **Modify** (Изменить) — это универсальный набор панелей инструментов для работы. Первые три панели рекомендуем располагать горизонтально в верхней части экрана, непосредственно под главным меню, две последние — вертикально слева от зоны рисования (см. рис. 1.2). Справа вертикально будем располагать панели инструментов для текущей задачи, например панель простановки размеров, панель системы координат.

Если в данный момент на экране положение панелей иное, то выполните рекомендуемое размещение панелей. Созданную настройку экрана сохраните как новое рабочее пространство со своим именем:

- ❑ **Tools** (Сервис, Средства) / **Workspace** (Рабочие пространства) / **Save current as...** (Сохранить текущее как...) / в предложенном диалоговом окне задайте имя, например «Иванов».

1.4. Инструментальные палитры

Палитры инструментов — еще одна форма интерфейса классического AutoCAD'a. Палитры являются альтернативой панелям инструментов, т.е. можно работать с панелями или палитрами, можно держать на экране оба варианта интерфейса.

Палитры инструментов (см. рис. 1.2, поз. 12) содержат множество страниц (закладок) с именами и кнопками команд. Каждая страница имеет корешок с ее названием. Все корешки выступают с одной стороны. Указав корешок, открываем соответствующую страницу. Указав строку с командой, вызываем выполнение этой команды.

Вывести палитры на экран можно через главное меню:

- ❑ **Tools** (Сервис) / **Palettes** (Палитры) / **Tool Palettes** (Инструментальные палитры).

Кроме того, палитры можно вызвать с клавиатуры сочетанием клавиш <Ctrl+3> или указав кнопку  панели инструментов **Standard** (Стандартная), или вводом с командной строки команды **TOOLPALETTES** (ИНСТРПАЛВКЛ).

- ❑ Откройте окно палитр инструментов одним из приведенных способов.

- ❑ Правым щелчком по вертикально расположенному заголовку «**Tool Palettes**» (Палитры инструментов) откройте контекстное меню палитр. Укажите в нем нижнюю строку **All Palettes** (Все палитры).
- ❑ Укажите три нижние риски, являющиеся завершением столбца закладок, — возник список из 20 палитр (AutoCAD 2014).
- ❑ В списке палитр укажите палитру **Draw** (Рисовать) — возникла страница, содержащая те же команды, что и панель инструментов **Draw** (Рисовать) (см. рис. 1.2, поз. 5).

В контекстном меню палитр предусмотрено пополнение палитр новыми командами, создание своих палитр.

1.5. Лента

Лента (**Ribbon**) — еще один вариант интерфейса AutoCAD, появившийся в 2009-й версии. Лента заменяет главное меню и панели инструментов классического AutoCAD'а. Мы не ставим задачу детального изучения интерфейса и будем работать в режиме классического AutoCAD'а. Поэтому приведем лишь основные сведения о ленте.

Лента автоматически выводится на экран в рабочем пространстве «*2D-рисование и аннотации*», «*Основы 3D*» или «*3D-моделирование*». Ленты разных пространств отличаются содержанием, но структура лент одинакова. Рассмотрим ее на примере ленты «*2D-рисование и аннотации*»:

- ❑ **Tools** (Сервис) / **Workspase** (Рабочие пространства) / *2D-Drafting and Annotation* (*2D-рисование и аннотации*) — возникла лента указанного рабочего пространства (рис. 1.5).

Можно открыть ленту, не меняя рабочее пространство. Для этого с командной строки нужно ввести команду **_ribbon** (Лента).

Лента (см. рис. 1.5, *a*) содержит строку вкладок **1**, при указании вкладки раскрываются ее панели **2**. Например, вкладка **Home** (Главная) (см. рис. 1.5, *б*) содержит панели **Draw** (Рисовать), **Modify** (Изменить), **Layers** (Слои) и др. Панели ленты содержат те же кнопки инструментов, что и панели классического AutoCAD'а.

Если рядом с кнопкой команды изображен треугольник, то при указании его раскрывается список опций этой команды.

Указание треугольника, расположенного внизу панели, добавляет группу команд, соответствующих названию панели. Например, указав треугольник **3**, полностью раскрываем панель **Draw** (Рисовать), добавляя к ней разворот **5**. Чтобы оставить панель развернутой на время работы, укажите значок канцелярской кнопки **6**. Чтобы свернуть панель, щелкните по полю **6**.

Лента может выводиться на экран в трех режимах, задаваемых кнопкой **4**. При первом указании кнопки **4** лента сворачивается так, что видны только заголовки ее вкладок. Поле чертежа максимально свободно. Следующее указание кнопки **4** приводит к дополнительному отображению панелей ленты. Указав кнопку **4** третий раз, полностью раскрываем ленту.

- ❑ Познакомьтесь с лентой, раскрывая различные вкладки, панели и команды.
- ❑ Посмотрите вид ленты в свернутом виде (действие кнопки **4**).
- ❑ Посмотрите ленту рабочего пространства *3D-Modeling* (3D-моделирование).
- ❑ Вернитесь в *AutoCAD Classic* (Классический AutoCAD) к нашим панелям инструментов, в которых, как договорились, мы будем продолжать работу. Работу с лентой освойте самостоятельно. За ней будущее.

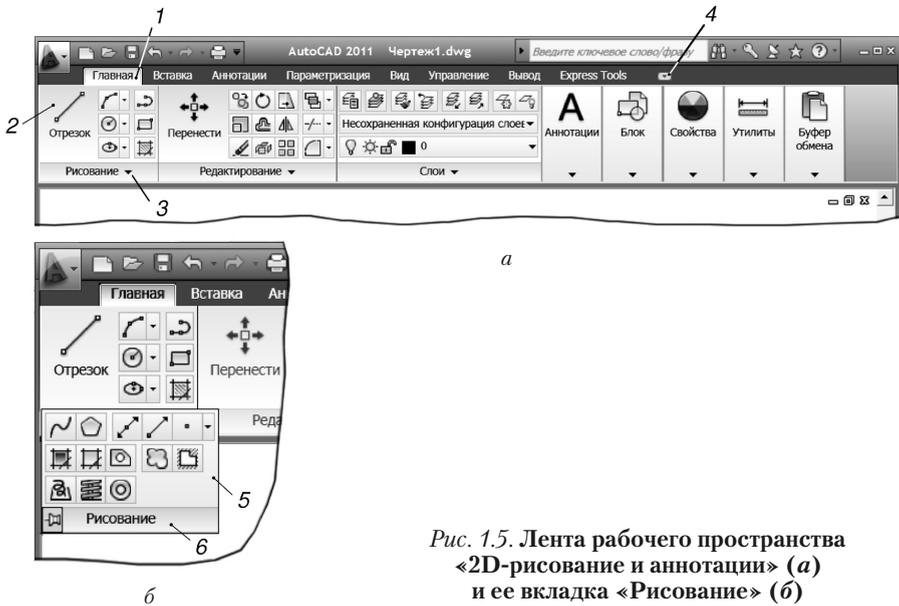


Рис. 1.5. Лента рабочего пространства «2D-рисование и аннотации» (а) и ее вкладка «Рисование» (б)

1.6. Диалог пользователя с AutoCAD'ом

Работа в AutoCAD'e осуществляется через систему команд. Пользователь вызывает нужную команду. Это может быть команда создания или редактирования графического объекта. Система в ответ запрашивает дополнительные параметры, например *опцию* как вариант выполнения команды, координаты точки или значение параметров объекта. Пользователь выполняет эти требования, вводя необходимые значения. Система выполняет команду полностью или частично. В последнем случае она запрашивает дополнительные параметры до тех пор, пока команда не будет полностью выполнена.

Диалог чаще всего реализуется через сообщения в командной строке. Поэтому, вызвав команду, найдите ответ в командной строке и выполните требования системы. Диалог может происходить и через диалоговое окно, выводимое системой на экран после вызова команды.

В некоторых случаях окно команд может быть удалено с экрана. Не теряйтесь. Включение и отключение этого окна выполняется сочетанием клавиш <Ctrl+9>:

- выполните несколько раз отключение и включение окна команд.

Вызвать команду можно через интерфейс: из главного меню, указанием кнопки панели инструментов, инструментальной палитры или кнопки панели ленты. Можно вызвать напрямую, с командной строки. В меню и панелях команды систематизированы и могут быть легко найдены. Ввод с командной строки требует знания имени команды, а поэтому характерен для опытных пользователей.

С версии AutoCAD 2012 при вводе с командной строки предлагается список для выбора команды по начальным буквам ее имени. С версии 2013 опции в командной строке «активны», т.е. выбрать опцию можно, указав ее мышью непосредственно в командной строке.

1.7. Соглашение по записи действий

Для краткости изложения мы будем применять сокращенную запись действий. Например:

□ **Draw** (Рисовать) / **Line** (Отрезок) / 100,100 / 200,100 / 200,200 / 100,200 / **Close** (Замкнуть).

Здесь знак □ служит приглашением к действию. Жирным шрифтом приводятся названия разделов главного меню классического AutoCAD'a (в скобках — варианты перевода). Косая черта разделяет действия, означая перемещение по разделам меню, нажатие <Enter> либо щелчок правой кнопкой мыши.

С выходом новых версий пакета, которые обновляются ежегодно, содержание меню и панелей инструментов постоянно изменяется. Однако имена команд во всех версиях остаются неизменными. Поэтому мы будем в основном приводить лишь имена команд. Имя команды нужно ввести с клавиатуры и нажать <Enter>:

□ **line** (Отрезок) / 100,100 / 200,100 / 200,200 / 100,200 / **close** (Замкнуть) — построен квадрат.

Расшифруем приведенную выше запись: с командной строки ввести имя команды: в английской версии **line**, в русской — **Отрезок**. Нажать клавишу <Enter>. Далее с клавиатуры набрать 100,100 (это *x, y*-координаты начальной точки отрезка), нажать <Enter>; затем набрать с клавиатуры следующую пару цифр, вновь <Enter> и т.д. В заключение ввести с клавиатуры имя опции **Close** или ее ключевую букву **C** и вновь нажать <Enter>.

□ Реализуйте приведенную выше запись.

Числа или текст, приведенные в записи, указывают необходимость их ввода в командную строку. Это могут быть значения параметров, координаты точек, имена опций. Если команда снабжена диалоговым окном, то будет указано поле окна, в которое нужно ввести приведенное значение. Ввод значений выполняется с клавиатуры.

Вводить численные значения нужно так, как они приведены в записи, без лишних пробелов, помня, что запятая разделяет *x, y, z*-координаты, а точка, если она есть, отделяет целую часть числа от дробной. Например, ввод дробных значений *x, y*-координат точки: / 100.5,120.7 /.

Имена опций могут быть приведены полностью или сокращенно с указанием только ключевой буквы. Например, опция **Close** может быть задана ее ключевой буквой **C**, опция **coLor** — буквой **L**.

Если для завершения команды нужно нажать <Enter> или правую кнопку мыши, будем приводить двойную косую черту //:

□ **line** / 100,100 / 200,100 // — построен горизонтальный отрезок .

Будут также применяться комбинированные варианты записи с указанием кнопок панелей инструментов.

Щелчок левой кнопкой мыши при наведении курсора на графический объект, точку экрана, раздел меню или кнопку панели будем называть «укажите», например, «укажите отрезок», «укажите точку», «укажите кнопку», «укажите опцию».

В тех случаях, когда понадобится обозначить щелчок правой кнопкой мыши, будем приводить «выполните правый клик».

Различают английскую и русскую версии пакета. Признаком английской версии является слово «Command:» в командной строке. Если командная строка имеет приглашение в виде «Команда:», то вы работаете в русской версии. В ней в качестве основных применяются русские имена команд, например:

□ **отрезок** / 200,100 / 400,100 / 300,250 / **Замкнуть**.

В русской версии можно вводить английские имена, но обязательно добавляя к ним в начало нижний дефис. Поэтому, если вы работаете в русской версии, то увидев запись:

line / 200,100 / 400,100 / 300,250 / с,

нужно ввести:

_line / 200,100 / 400,100 / 300,250 / _с.

1.8. Справки по командам, помощь

Особое внимание обратите на справочную информацию пакета. Информация доступна, наглядна, содержит подробное описание всех команд и примеры их применения. Обращение к ней позволит преодолеть неизбежные трудности начального этапа освоения пакета. Учтя, что справочная служба пакета содержит наиболее полную информацию о методах работы, обращение к справке полезно и опытным пользователям.

Начиная с версии AutoCAD 2011 (18.1s) предусмотрена активная работа в Интернете. По умолчанию справочная информация загружается с сайта фирмы Autodesk. Если Интернет или сайт фирмы недоступен, на экране возникает сообщение о необходимости подключения к ним.

Наряду с этим имеется возможность работы с предварительной установкой справочной информации на свой компьютер. Для того чтобы работать с информацией, не подключаясь к Интернету, нужно выполнить настройку:

- выбрать на значке **help** (Справка) параметр **Загрузить автономную справку**;
- Tools** (Сервис) / **Options** (Настройки) / вкладка Система / Снять «птичку» по строке **По возможности использовать интерактивную справку с интернет-сайта Autodesk**.

Встроенный учебник

- На клавиатуре нажмите клавишу <F1> либо укажите одну из кнопок   информационной панели (см. рис. 1.2, поз. 9) или панели инструментов **Standard** (Стандартная), либо введите имя команды **help** (Справка).

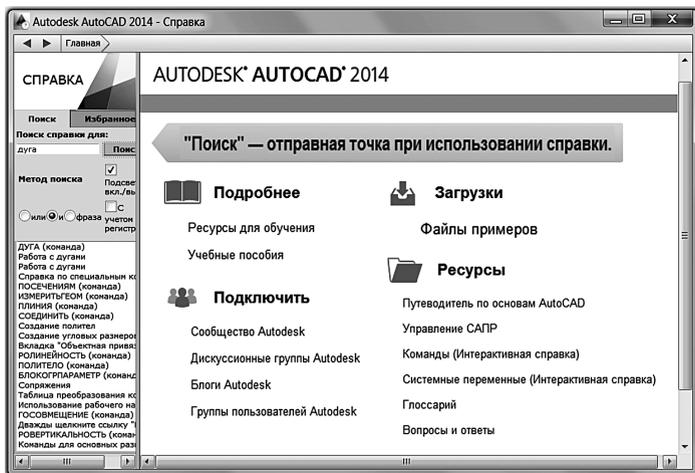


Рис. 1.6. Окно справочной информации

Появилось окно справочной информации (рис. 1.6). В левой части окна содержится зона поиска по ключевым словам, в правой — возможные источники или собственно информация.

- Изучите раздел **Ресурсы**. Например, найдите и откройте в правой части окна **Путеводитель по основам AutoCAD** (рис. 1.7). Здесь дано подробное изложение вопросов интерфейса, рассматриваемых в настоящей главе, системное изложение справочной информации по методам работы и командам. Для погружения в справочную информацию необходимо указать имя раздела на карте путеводаителя.

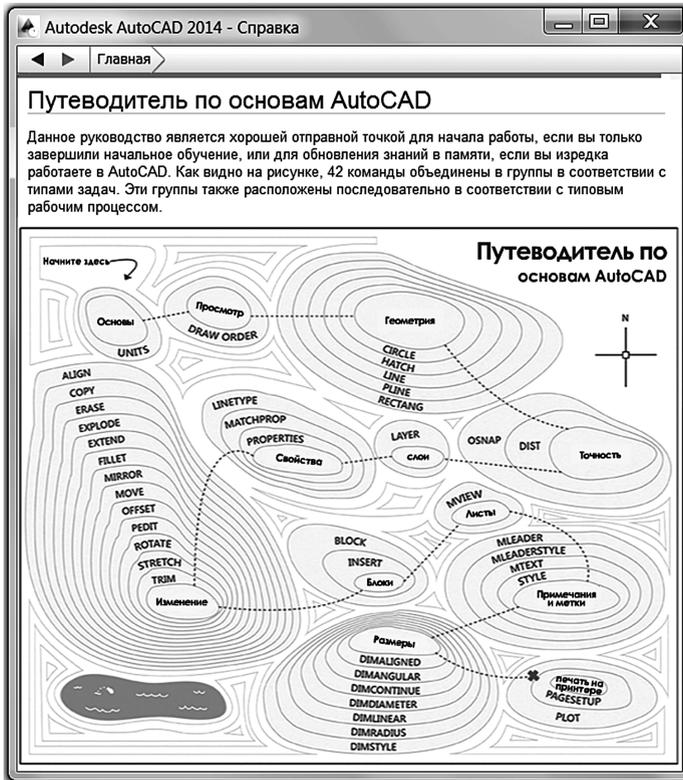


Рис. 1.7. Карта путеводаителя по основам AutoCAD

Основу поиска информации составляют ключевые слова, вводимые в окно поиска (см. рис. 1.6). Эти слова мы будем приводить в начале глав нашей книги. При вводе ключевого слова раскрывается вся информация, в которой упоминается это слово. Следует изучить как основную информацию по введенному термину, так и дополнительные разделы, приведенные в конце основного раздела.

Структурированную информацию в виде учебника можно найти на сайте: <http://exchange.autodesk.com/autocad...3d5ba-0024.htm>

Для получения информации можно воспользоваться **Инфоцентром** (см. рис. 1.2, поз. 9). Здесь объектом поиска может быть любой термин. Введя термин, вы попадаете в рассмотренное выше окно справочной информации с раскрытой информацией по термину поиска.

Помощь в прозрачном режиме

Достаточно во время выполнения команды нажать на клавиатуре <F1>, выйдет окно справочной информации по выполняемой команде. Разобравшись и закрыв окно, можно продолжить выполнение команды. Например, построим дугу окружности с использованием помощи в прозрачном режиме:

- arc** (не забудьте про нижний дефис для английского имени в русской версии пакета или введите русское имя команды **ДУГА**) / нажмите <F1> — выведено окно справочной информации по команде построения дуги (рис. 1.8).

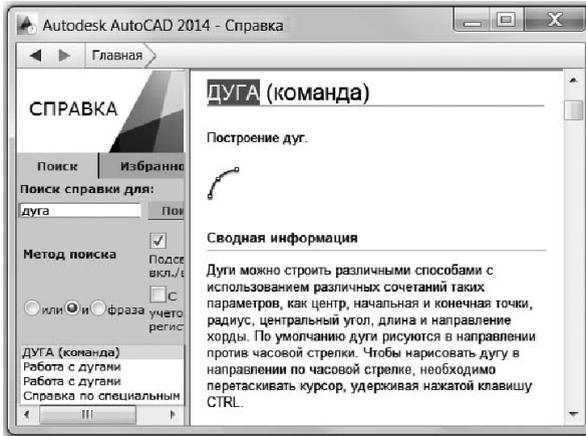


Рис. 1.8. Справочная информация по команде ДУГА

В справочном окне приведены инструкции по применению команды, многочисленные опции команды. В левой части справочного окна приведены все разделы, в которых упоминается дуга.

Освойте несложные приемы работы со справочным окном, общие для системы Windows: перемещение и корректировка размеров окна, прокрутка окна и др.

- Чтобы убрать окно справки, нажмите клавишу <Esc> — продолжено действие команды.

Завершите построение дуги:

- укажите на экране три точки: начало, центр и конец дуги.

При вызове ряда сложных команд на экран выводится диалоговое окно данной команды. Примером является команда **PLOT** (Печать). Справочную информацию по таким командам можно вызвать, указав кнопку **Help** (Справка) в правом нижнем углу диалогового окна.

1.9. Режимы построений — ORTHO, Шаг, Сетка

Режимы построений обеспечивают повышение точности и скорости построений. Управление режимами осуществляется группой кнопок, расположенных в статусной строке, слева (см. рис. 1.2, поз. 13). Рассмотрим основные режимы, необходимые для начальной стадии освоения пакета. Остальные будут рассмотрены позднее.

ORTHO (Орто) — режим, обеспечивающий ортогональные построения, характерные для чертежей. Если режим включен, то строятся строго горизонтальные или вертикальные линии, если отключен, то линии можно провести

под произвольным углом. Включение и отключение режима осуществляется последовательным указанием кнопки **ORTHO** (Орто) в статусной строке или нажатием клавиши <F8> клавиатуры.

Постройте несколько отрезков, включая-отключая режим **ORTHO**.

Шаговая привязка — задает дискретное перемещение курсора по экрану. Например, если установить шаг равным 1, то построения, выполняемые указанием курсора на экране, будут реализованы с точностью до 1. Во многих случаях шаговая привязка ускоряет построения и повышает их точность. Включение-отключение шага осуществляется в статусной строке указанием кнопки **SNAP** (Шаговая привязка) или с клавиатуры клавишей <F9>.

Сетка — создает на экране видимую сетку для удобства работы. Сетка имеет свой шаг, который может отличаться от шага привязки. Включение и отключение сетки осуществляется в статусной строке кнопкой **GRID** (Отображение сетки) или с клавиатуры клавишей <F7>.

Кнопки **GRID**, **SNAP** и соответствующие им клавиши <F7>, <F9> лишь включают или отключают режимы. Для настройки параметров этих режимов:

- наведите курсор на кнопку **GRID** режима статусной строки и щелкните правой кнопкой мыши, в возникшем контекстном меню укажите строку **Settings** (Настройки);
- в диалоговом окне **Drafting Settings** (Режимы рисования) откройте закладку настраиваемого параметра **Snap and Grid** (Шаг и сетка) и задайте значения шага привязки, равным 1, а ячейку сетки равной 5.

Проверьте выполненную настройку параметров:

- подвигайте мышью; несколько раз включите и отключите шаг, <F9>.

Убедитесь, что при включенном шаге движение курсора происходит дискретно, рывками, при выключенном — движение плавное, непрерывное. Это проявляется как визуально, так и по показаниям координат курсора (поз. 14, см. рис. 1.2), которые при включенном шаге принимают значения в соответствии с заданной дискретностью;

- проверьте появление сетки, нажимая клавишу <F7>.

Если сетка не появляется, а в командной строке возникает сообщение «Grid too dense to display» (Сетка слишком плотна для отображения), нужно увеличить масштаб отображения (см. ниже, п. 1.15) либо увеличить шаг сетки.

1.10. Цвет

При загрузке пакета и создании нового рисунка для линий установлен черный цвет на белом экране или белый на черном. Для задания другого цвета из главного меню выполните:

- Format** (Формат) / **Color** (Цвет);
- в возникшем диалоговом окне укажите нужный цвет, например **Red** (Красный) и **OK** — покиньте окно.

Цвет, как и другие свойства объектов, рассматриваемые ниже, удобно задавать и редактировать через панель инструментов **Properties** (Свойства объектов) (рис. 1.9). При указании кнопки с треугольником раскроется список выбора. Если предложенные основные цвета не устраивают, укажите нижнюю строку списка для тонкой настройки цвета.

Нарисуем примитив новым цветом. Особенно красивы примитивы, имеющие толщину. Например, кольцо:

- donut** — в командной строке появилось сообщение о необходимости задать внутренний диаметр кольца. В угловых скобках указано предлагаемое значение;

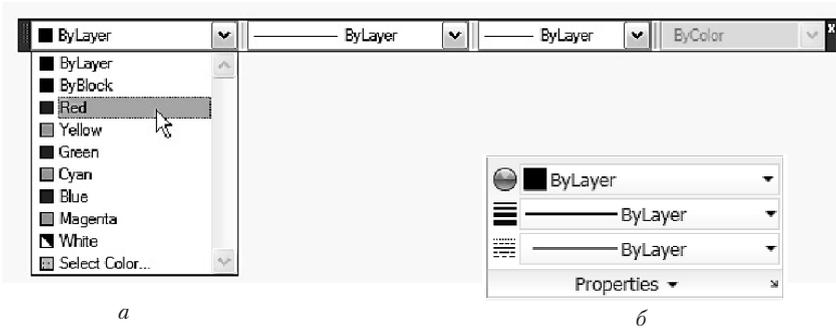


Рис. 1.9. Панели инструментов Properties (Свойства объектов):

a — классическая панель инструментов с раскрытым списком задания цвета объектов;
б — панель ленты (вкладка Home)

- нажмите клавишу <F1> и изучите справку по команде. Покиньте окно справки (крестик в правом верхнем углу).

Если вы согласны с предлагаемым значением внутреннего диаметра кольца, то щелкните правой кнопкой мыши. Но лучше задайте свое значение. Это можно сделать двумя способами: а) ввести цифру с клавиатуры, б) указать на экране две точки (в любом месте экрана); расстояние между точками будет принято за внутренний диаметр;

- задайте внутренний и наружный диаметры кольца;
- перемещая курсор, укажите центр кольца — кольцо построено; система предлагает указать центр нового кольца;
- постройте два-три одинаковых кольца, указывая их центр. Для прерывания команды выполните правый клик;
- повторно правый клик для возобновления команды — команда вновь активна;
- постройте несколько разных колец, задавая для каждого свои размеры и цвет.

1.11. Удаление примитивов. Выбор объектов

Удалить графические объекты с экрана можно с клавиатуры клавишей <Delete> или командой **ERASE**.

- Укажите удаляемые объекты и нажмите клавишу <Delete> на клавиатуре — объекты удалены.

Основной вариант удаления объектов — это применение команды **ERASE** (Стереть). При изучении этой команды особое внимание уделите выбору примитивов, подлежащих удалению, поскольку процедура выбора присуща всем командам редактирования, к которым относится и команда **ERASE**. Пусть на экране имеется группа ранее созданных объектов — линии, дуги, кольца. Выполните:

- erase** или кнопка  — курсор принял вид квадратика (прицел);
- укажите прицелом удаляемый объект — выбранный объект выделен штриховой линией;
- правый клик или нажмите клавишу <Enter> — объект исчез, но прицел остался, т.е. команда продолжает действовать;
- удалите еще несколько примитивов и прервите команду — правый клик.

Выбор объектов для редактирования

В рассмотренном выше примере выбор объектов осуществлялся по одному, путем их указания прицелом. Можно выбирать сразу несколько объектов. Рассмотрим выбор так называемой *рамкой*:

- правый клик — повторно вызовите команду **ERASE**;
- укажите пустое место экрана, слева внизу от группы объектов, а затем потяните мышь вправо вверх.

Появилась прямоугольная область, очерченная сплошной линией и тонированная голубым цветом; ею можно выбрать те объекты, которые *полностью* в нее попали:

- перемещая курсор, захватите в область несколько объектов, левым щелчком мыши зафиксируйте выбор — объекты, полностью включенные в рамку, выделены штриховой линией;
- правый клик — сотрите выбранные объекты.

Рассмотрим еще один вариант выбора группы объектов — так называемой *секущей рамкой*:

- повторите вызов команды **ERASE**;
- вновь укажите пустое место экрана, но теперь справа от удаляемых объектов, а затем переместите курсор влево-вниз.

Появилась прямоугольная область, очерченная прерывистой линией и тонированная зеленым цветом, так называемая *секущая рамка*; в отличие от сплошной рамки она выбирает объекты как полностью в нее попавшие, так и пересекаемые:

- задайте секущую рамку так, чтобы она пересекла несколько объектов;
- правый клик — сотрите выбранные объекты.

Рассмотренные варианты выбора: указанием по одному, рамкой или секущей рамкой — являются общими для большинства команд редактирования. Имеются и другие варианты выбора, которые можно узнать, вызвав команду **SELECT** и наведя справку по этой команде.

1.12. Отмена результата выполнения команд

Если вы по ошибке удалили объекты и нужно их восстановить или требуется отменить ряд построений, примените команду **UNDO** (Отменить):

- Undo** / клавиша <F1> — прочтите справку по команде / 1 — отменена последняя операция.

Команду **UNDO** можно вызывать многократно, двигаясь «назад во времени», последовательно, до некоторого предела, отменяя действия любых команд, выполненных в текущем сеансе работы. Отмену одного действия можно вызвать сочетанием клавиш <Ctrl + Z> или вводом с клавиатуры символа **U**. Можно пользоваться кнопкой **Undo** панели инструментов **Standard** (Стандартная) . Кнопка снабжена раскрывающимся списком действий, в котором можно задать глубину отмены.

Вернуть отмененное действие можно командой **MREDO** (Вернуть), вызываемой кнопкой **REDO**  панели инструментов **Standard**.

1.13. Команды построения объектов

Все команды создания графических объектов сосредоточены в разделе **Draw** (Рисование) главного меню. Основные команды содержатся в одноименных панелях инструментов.

Примеры применения команд можно найти в справочной информации пакета:

- help .../ Путеводитель по основам AutoCAD / Геометрия;**
- Посмотрите указанный раздел.

Выше были рассмотрены команды построения отрезка прямой, дуги окружности и кольца. Самостоятельно изучите остальные команды по порядку их расположения в меню **Draw** или одноименной панели инструментов: **CIRCLE** (Круг), **POLYGON** (Многоугольник), **RECTANGLE** (Прямоугольник), **ELLIPSE** (Эллипс).

Порядок ознакомления с командами следующий:

- вызовите команду из главного меню или кнопкой панели инструментов или введите ее имя в командную строку;
- наведите справку по команде (F1);
- два-три раза постройте примитив, используя различные опции изучаемой команды.

1.14. Редактирование геометрии объектов

Редактирование — это изменение уже созданных объектов. Команды редактирования размеров или положения объектов сосредоточены в разделе **Modify** (Изменить) главного меню или в одноименных панелях инструментов.

Рассмотрим, например, команду **MOVE** (Перенести). Она осуществляет плоскопараллельное перемещение ранее созданных объектов:

- move** / нажмите <F1> — выдана справочная информация по команде. После изучения справки нажмите <Esc> — покиньте окно справки;
- на запрос **Select objects:** (Выбрать объекты) укажите нужные объекты прицелом по одному или рамкой; закончите выбор щелчком правой кнопки мыши;
- на запрос **Specify base point or displacement:** (Базовая точка или перемещение) укажите какую-либо точку выбранных объектов;
- Specify second point of displacement...** (Вторая точка перемещения) — перемещая курсор, контролируйте перемещение объектов на экране. Зафиксируйте новое положение.

Группа выбранных объектов перешла в новое положение в соответствии с заданным вектором переноса. Если перемещение редактируемых объектов не отслеживается, необходимо ввести с командной строки имя системной переменной **DRAGMODE** и присвоить ей значение **Auto**.

Самостоятельно изучите следующие команды редактирования: **COPY** (Копировать), **ROTATE** (Повернуть), **MIRROR** (Зеркало), **OFFSET** (Подобие, Отступ). Не забывайте при этом наводить справки по изучаемым командам.

1.15. Редактирование свойств объектов

К основным свойствам графических объектов относятся цвет, тип линии, толщина линии, слой. Имеются и другие свойства, характерные для отдельных объектов, например размерный стиль размеров или гарнитура шрифта.

Основные свойства удобно редактировать через панель инструментов **Properties** (Свойства объектов) (см. рис. 1.9). Допустим, необходимо изменить цвет уже построенного объекта:

- укажите один или несколько редактируемых объектов — объекты выделены. Найдите панель инструментов **Properties**, раскройте список выбо-

ра цвета. Укажите нужный цвет. В итоге цвет выбранных объектов изменен.

В большей мере воздействовать на свойства объектов позволяет команда **PROPERTIES** (ОКНОСВ), вызываемая из меню **Modify** (Изменить) или кнопкой  панели инструментов **Standard** (Стандартная). Проще всего эту команду вызвать через контекстное меню:

- выберите один или несколько объектов. Щелчком правой кнопкой мыши вызовите контекстное меню, в котором нужно указать нижнюю строку **Properties** (Свойства объектов).

Возникло окно редактирования свойств. В нем приведены текущие свойства выбранных объектов. Для изменения цвета:

- укажите строку **Color** (Цвет), далее по стрелке раскройте вниз список выбора цвета и укажите в нем нужный цвет — цвет выбранных объектов изменен.

Команду **PROPERTIES** можно вызвать, выполнив двойной левый клик по редактируемому объекту, — проверьте.

Для редактирования геометрии и свойств сложных объектов, например полилиний, сетей, штриховки, текста и др., предусмотрены специальные команды, сосредоточенные в меню **Modify** (Изменить) / **Object** (Объект). Редактирование сложных объектов можно вызвать также из контекстного меню, если предварительно указать этот объект левой кнопкой мыши. Для редактирования solids-объектов — меню **Modify** / **Solids Editing** (Изменение тела). Для трехмерных преобразований — меню **Modify** / **3D Operation** (3D-операции).

Еще одним вариантом редактирования является присвоение свойств одного объекта другим объектам. Пусть имеется исходный объект (отрезок прямой, окружность и т.д.), свойства которого нужно передать другим объектам. Это может быть цвет, слой, тип и ширина линии и др.:

- укажите кнопку **Match Properties** (Копирование свойств)  панели **Standard** или выберите в выпадающем меню **Modify** / **Match Properties** / укажите исходный объект / укажите или выберите рамкой объекты, которым нужно присвоить свойство исходного объекта /.

1.16. Корректировка изображения

Для удобства работы, точности построений и сохранения зрения необходимо постоянно корректировать изображение так, чтобы нужная часть рисунка была отображена на весь экран и размещена в его средней зоне. Изменение размеров изображения называют *зуммированием*, перемещение — *панорамированием*.

Необходимо понимать различие между зуммированием и масштабированием объектов. Масштабирование, выполняемое командой **SCALE** (Масштаб), — это изменение размеров объекта. Зуммирование, выполняемое командой **ZOOM** (Показать), соответствует осмотру объекта с большим увеличением или уменьшением (бинокль). При этом размеры объекта остаются прежними.

В той же мере отличается перемещение объекта (команда **MOVE**) от панорамирования — команда **PAN** (Пан). Представим лист бумаги, на котором вычерчен объект. При переносе командой **MOVE** объекты смещаются на листе с изменением своих координат относительно листа. Панорамирование можно представить как перемещение всего листа с нанесенным изображением относительно экрана компьютера или наблюдателя. При этом координаты объектов, нанесенных на листе, остаются неизменными.

Методы корректировки изображения изложены в справочной информации:

- **help / Путеводитель по основам AutoCAD / Просмотр** — изучите.

Основной вариант грубой корректировки изображения — роликом мыши. Вращение ролика приводит к зуммированию. Если прижать ролик и перемещать мышь, произойдет панорамирование.

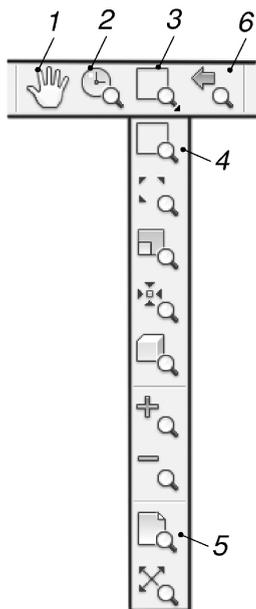


Рис. 1.10. Кнопки панели Standard для управления размерами изображения

Кнопка 5 «Zoom all» (Показать все) отображает на экран все объекты.

Чтобы вернуться к предыдущему изображению, укажите кнопку 6 «Zoom Previous» (Показать предыдущий).

Плавную корректировку следует выполнять кнопками панелей (рис. 1.10). Для панорамирования:

- укажите кнопку 1. Нажмите левую клавишу мыши — курсор примет вид руки, как на кнопке 1, и перемещайте изображение.

Чтобы плавно увеличить изображение:

- укажите кнопку 2. Нажмите левую клавишу мыши — курсор примет вид увеличительного стекла, и перемещайте курсор в вертикальном направлении.

Для увеличения части изображения до размеров экрана поступите следующим образом:

- укажите кнопку 3 — раскроются кнопки многочисленных опций команды **ZOOM**;
- укажите кнопку 4 / укажите точку слева внизу относительно той части изображения, которую хотите увеличить;

- передвиньте мышь вправо-вверх — тянется рамка; охватите рамкой нужный для увеличения участок изображения и укажите второй угол рамки — охваченная рамкой область увеличена.

Увеличение происходит в той мере, в какой рамка может быть растянута до границ экрана. Поэтому для максимального увеличения части изображения необходимо эту часть охватывать рамкой как можно ближе, чтобы был резерв для ее растягивания.

1.17. Узоры

Предлагаем построить два узора, основанных на создании массива графических объектов. Многократное копирование объектов в определенном порядке позволяет из простых объектов получить красивый узор и убедиться в проявлении известного закона о «переходе количественных изменений в качественные».

Абстракция

- Нарисуйте на экране 5–10 различных примитивов. Пусть это будут отрезки прямых линий, дуги окружностей, куски полилиний, кольца. Все разным цветом, разной толщины, в пересечении. Больше фантазии!

Размножим созданную группу объектов командой **ARRAY** (Массив):

- **Modify** (Редактировать) / **Array** (Массив) / **Rectangular Array** (Прямоугольный) / F1 — изучите команду построения массива;
- выберите «секущей рамкой» все объекты, подготовленные для массива / в командной строке укажите опцию **Rows** (Строки) / задайте четыре

- строки, на запрос ввода расстояния между строками укажите мышью на экране две точки — одну снизу изображения, вторую — сверху / приращение отметок оставьте равным 0 / выберите опцию **Columns** (Столбцы) — задайте четыре столбца; на запрос ввода расстояния между столбцами укажите мышью на экране две точки — одну слева от изображения, вторую — справа / приращение отметок оставьте равным 0 / завершите команду;
- отредактируйте массив, выбрав его щелчком мыши. Появившиеся ручки позволяют изменять свойства массива в режиме просмотра;
 - подведите мышь к правой верхней ручке-квадрату и задержите ее, пока не появится окно опций ручки. Указав мышью опцию **Общий интервал между строками и столбцами**, подберите интересный вариант для своего узора;
 - посмотрите, как меняется вид массива при перемещении треугольных ручек.
- Создан массив из четырех строк и четырех столбцов, т.е. выполнено 16-кратное копирование изображения со смещением. Отобразите массив на весь экран, последовательно указав кнопки 5 и 4 управления изображением (см. рис. 1.10).
- Проанализируйте логику узора, построенного из окружностей (рис. 1.11, а), и повторите его.

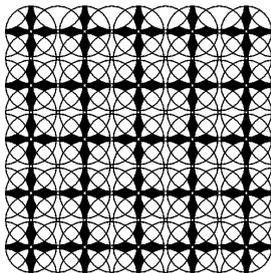
Кружево

Получим узор вращением треугольника (рис. 1.11, б). Подобные узоры были очень популярны на заре развития компьютерной графики. Ими украшали обложки книг и рекламные буклеты. Для построения правильного треугольника:

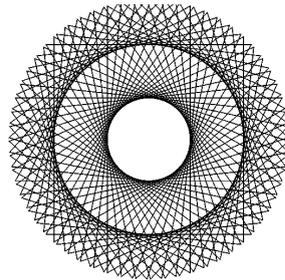
- polygon** (или кнопка ) / **Enter Number of Sides:** (Количество сторон) 3 / **Specify Center of Polygon** (Укажите центр многоугольника) — укажите произвольную точку на экране;
- Enter an Option [Inscribed in Circle / Circumscribed about Circle] <I>:** I (треугольник внутри окружности или вокруг нее) — задайте внутри, т.е. выберите опцию I. Поскольку она предложена по умолчанию, можно просто щелкнуть правой кнопкой мыши;
- Specify radius of circle:** (Задайте радиус), например, 100, или укажите его визуально, переместив курсор и зафиксировав размер треугольника щелчком левой кнопки мыши.

Треугольник построен. Размножим его круговым массивом:

- array** / на экране укажите треугольник, закончив выбор правым щелчком; / в командной строке задайте тип массива **Polar Array** (Круговой) / <F1> — изучите круговой массив;



а



б

Рис. 1.11. Узоры:

а — абстракция; б — «кружево»

- Center Point** (Центр массива) — на экране укажите точку где-нибудь внутри треугольника, обязательно смещенную от его центра;
- Objects** (Объекты) — количество элементов в массиве задайте равным 50–60;
- оставьте угол заполнения **Angle to Fill** равным 360;
- убедитесь, что активен режим **Поворота** элементов при построении массива **Rotate Items as Copied**.

В итоге получен изящный узор, напоминающий кружево.

- Постройте варианты кружев при различном положении центра вращения и количества объектов.

Исследуйте геометрию узора, применяя зуммирование (увеличение) изображения в различных его участках и панорамирование. Рекомендуем для исследования применить динамичный режим просмотра командой **DSVIEWER** (Глаз). Этой команды нет в меню, и она известна лишь опытным пользователям:

- DSVIEWER** / <F1> — изучите информацию по команде / — возникло диалоговое окно **Aerial View** (рис. 1.12);
- переместите диалоговое окно в правую часть экрана;
- укажите точку внутри диалогового окна.

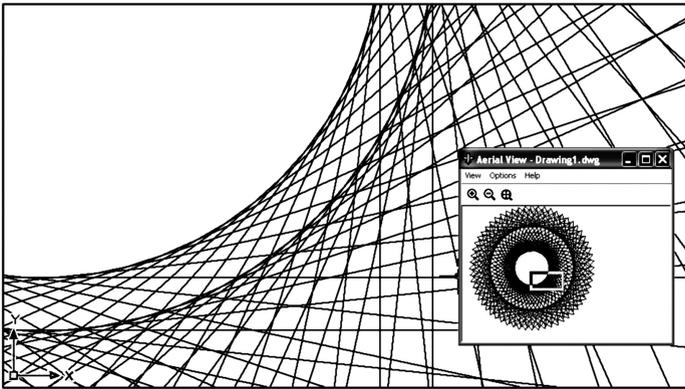


Рис. 1.12. Исследование геометрии узора

В месте указания возникла динамичная рамка. Перемещение курсором рамки приводит к перемещению изображения на экране. Изменяя курсором размер динамичной рамки, можно регулировать степень увеличения. Для фиксации изображения на экране щелкните правой кнопкой мыши или <Esc>.

Если узор понравился, постройте ряд ему подобных, вращая различные геометрические фигуры: окружность, эллипс, многоугольник.

1.18. Выход из пакета с сохранением рисунка

- Создайте папку (директорию) группы, в ней свою папку.
- File** (Файлы) / **Save** (Сохранить) или укажите кнопку  панели быстрого доступа или панели **Standard** с изображенной дискетой;
- в возникшем окне откройте «свою» папку и введите в нижнюю строку окна имя файла / **Save** (Сохранить) — покиньте окно.
- File** (Файлы) / **Exit** (Выход) или укажите кнопку-крестик в правом верхнем углу экрана.
- Пакет выгружен, рисунок сохранен в указанной папке.

Глава 2

ПОДГОТОВКА К ПОСТРОЕНИЮ ЧЕРТЕЖА

Чертеж отличается от рисунка или эскиза точностью построений и соблюдением целого ряда требований, приведенных в Государственных стандартах (ГОСТ) Единой системы конструкторской документации (ЕСКД). В этой главе мы освоим часть этих требований: научимся строить по координатам, размерам, линией нужной толщины и типа, выполнять штриховку и надписи.

❑ Загрузите пакет и откройте новый рисунок (см. п. 1.1).

Ключевые слова для поиска справочной информации: *координаты, точность, толщина линий, режимы рисования, слои, объектная привязка, объектное отслеживание, ПСК, текст, штриховка, полилиния, область.*

2.1. Построения по координатам

Координаты точек, например, концов отрезка или центра окружности, можно вводить в режиме указания мышью или вводить с клавиатуры. В первом случае, перемещая мышью, наблюдаешь за координатами курсора, которые отображаются в статусной строке или в окнах динамического ввода, и в нужный момент фиксируешь точку левым щелчком мыши. При вводе с клавиатуры печатаешь координаты в нужном формате.

Координаты можно задать относительно начала координат текущей системы координат — это абсолютные координаты, или относительно предыдущей точки — это относительные координаты. В каждом из вариантов точку можно задать декартовыми координатами либо полярными координатами, т.е. возможны четыре варианта: абсолютные декартовы, относительные декартовы, абсолютные полярные, относительные полярные.

Рассмотрим основные варианты задания координат. Подробно — см. справочную информацию:

❑ **help / Путеводитель по основам AutoCAD / Точность.**

Координаты курсора в статусной строке

Координаты курсора отображаются в статусной строке в левом нижнем углу экрана (см. рис. 1.2, поз. 14). Предусмотрены три режима отображения: фиксация координат; отображение абсолютных декартовых координат в текущей системе координат; отображение относительных полярных координат (длина и угол по отношению к предыдущей точке). Переключиться между режимами отображения можно левым щелчком мыши по окну координат:

- ❑ начните строить отрезок прямой, задав первую точку отрезка;
- ❑ перемещайте курсор и смотрите его координаты в статусной строке;
- ❑ щелкайте левой кнопкой мыши по окну координат — увидите изменение режимов их отображения;
- ❑ <Esc> — прервите команду.

Точность отображения координат

AutoCAD выполняет построения с точностью 10^{-8} . С такой же точностью могут быть отображены координаты и размеры создаваемых им объектов. Как правило, такая точность отображения избыточна. На учебных чертежах достаточно выводить координаты с точностью «до десятых» или даже округляя значения «до целого».

Точность представления координат задается командой **UNITS** (Единицы):

- **units** / в диалоговом окне **Drawing Units** (Единицы чертежа) задайте точность линейных и угловых параметров, равной 0.00.

Ввод координат с клавиатуры

Напомним, что координаты x, y, z при отображении и вводе разделяются запятой. Целая и дробная часть любой из координат разделяются точкой.

Декартовы координаты. Построим отрезок прямой линии в *абсолютных* декартовых координатах:

- **line** / 20,30 / 100,120 // — в левом нижнем углу экрана возник отрезок.

Чтобы задать координаты как *относительные*, т.е. приращения к координатам предыдущей точки, нужно ввести знак @. Например, построим прямоугольник, у которого левый нижний угол имеет координаты 50,50, длина равна 100, высота 70:

- **rectang** / 50,50 / @100,70 / — построен прямоугольник.

Полярные координаты. В полярных координатах положение точки определяется ее радиус-вектором. Чаще применяют относительные полярные координаты. В этом варианте положение точки задается длиной и углом наклона отрезка, соединяющего новую точку с предыдущей. Угол измеряется от оси X текущей системы координат в градусах. Положительное значение задается командой **UNITS**. По умолчанию оно — против часовой стрелки. Например, отрезок с начальной точкой 150, 100, длиной 200 под углом 35 к оси X :

- **line** / 150,100 / @200<35 //.

В абсолютных полярных координатах радиус-вектор точки задается от начала координат, а не от предыдущей точки. Для этого нужно опустить знак приращения @.

Комбинированный метод. Можно курсором указать направление радиус-вектора точки, а длину вектора ввести с клавиатуры:

- **rectang** / 50,50 / переместите курсор в каком-либо направлении / 200 — построен прямоугольник с длиной диагонали 200, заданной в направлении перемещения курсора.

Комбинированный метод эффективен в сочетании с режимом, фиксирующим угол перемещения. Это режимы **ORTHO** (см. п. 1.9) или **POLAR**. Последний позволяет задать предварительно установленный угол перемещения. Включение режима осуществляется указанием кнопки **POLAR** в статусной строке (см. рис. 1.2, поз. 13), а настройка — в диалоговом окне, вызываемом щелчком правой кнопки мыши по указанной кнопке.

Трехмерные координаты. При работе в трехмерном пространстве добавляется третья координата Z — высота точки. Если $Z = 0$, эту координату можно не вводить — она подразумевается равной нулю. Как правило, применяют абсолютные или относительные декартовы координаты. Реже применяются цилиндрическая и сферическая системы координат (см. справочную информацию).

Динамический ввод координат

Это новая возможность интерфейса. Динамический ввод позволяет ввести координаты, отследить размеры и получить подсказки рядом с курсором. Это удерживает взгляд в области построения, не отвлекая его на командную или статусную строки.

Включение-отключение режима выполняется кнопкой  «**Dynamic Input**» (Динамический ввод) статусной строки (см. рис. 1.2, поз. 13) или клавишей <F12> с клавиатуры. Настройка режима выполняется через диалоговые окна:

- щелкните правой кнопкой мыши по кнопке . В контекстном меню укажите строку **Settings** (Настройка) — возникло диалоговое окно «**Drafting Settings**» (Режимы рисования), открытое на вкладке «**Dynamic Input**» (Динамический ввод). Проверьте, что настройки этого окна выполнены как на рис. 2.1, а. По кнопке **Help** изучите справочную информацию по динамическому вводу;
- укажите кнопку **Settings** (Настройка) — возникло следующее диалоговое окно (рис. 2.1, б). Проверьте настройки и этого окна.

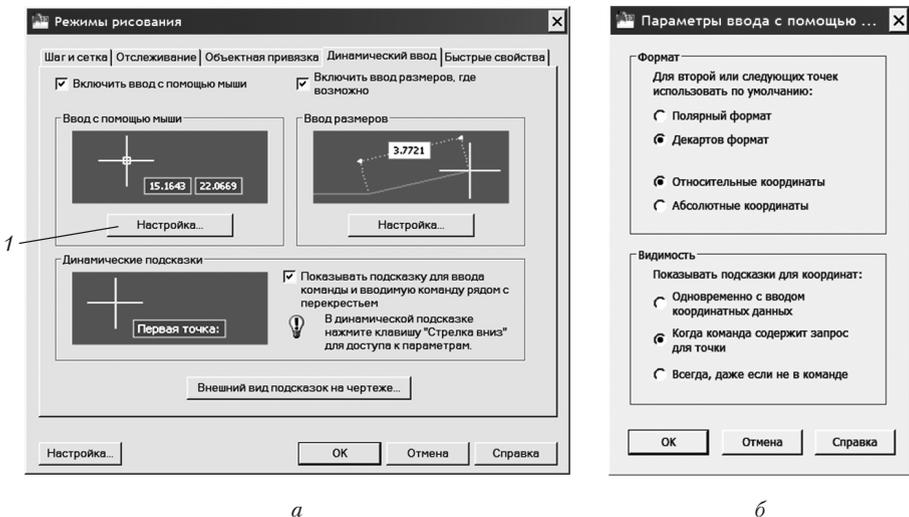


Рис. 2.1. Настройки динамического ввода

Построим отрезок прямой, задавая его координаты в режиме динамического ввода:

- включите режим динамического ввода ; активизируйте команду **LINE**.

В области курсора возникло три окна. В первом окне отображена подсказка команды **LINE** «Первая точка», в двух других окнах отображаются текущие координаты курсора. Зададим первую точку отрезка, например, с координатами $x = 50.5$, $y = 62$:

- введите 50.5 и нажмите клавишу <Tab> — значение введено в первое окно, в конце числа поставлен замок, курсор перешел во второе окно;
- введите 62 и нажмите <Enter> — начальная точка задана.

Для последующих точек предусмотрен ряд вариантов задания. Рассмотрим три из них. Первый вариант: *относительные полярные координаты*, например точка на расстоянии 70 от первой точки под углом 35° :

- ❑ переместите курсор — рядом с ним выводятся относительные полярные координаты курсора. Введите 70, нажмите <Tab> — возник замок, курсор перешел во второе окно, введите угол 35, нажмите <Enter>.

Второй вариант: *относительные декартовы координаты*, например $x = 60$, $y = 45,6$:

- ❑ введите 60, введите запятую — в первом окне поставлен замок, курсор перешел во второе окно, введите 45.6, нажмите <Enter>.

Третий вариант: *абсолютные декартовы координаты*. Перед вводом координат нужно первоначально ввести знак #. Затем — как в предыдущем варианте.

Другие варианты динамического ввода — см. разделы справочной информации.

2.2. Толщина линии

Начиная с AutoCAD 2000, любая линия на экране может иметь требуемую регулируемую толщину. В русской версии для толщины принят термин «вес линии». Толщину линии можно включать или отключать. Построения следует выполнять при выключенной толщине линии. Затем линиям можно придать толщину согласно стандарту черчения. (Вспомните, как на бумаге чертеж сначала строят тонкими линиями, а затем обводят толстыми.) Следует учесть, что при большом количестве линий включение толщины замедляет преобразование сложных изображений.

Для задания толщины линии откройте в главном меню:

- ❑ **Format** (Формат) / **Lineweight** (Весы линий) — в возникшем окне «Lineweight Settings» (Параметры весов линий), в поле **Lineweights** задайте толщину в миллиметрах, например 1;
- ❑ постройте какой-либо графический примитив: отрезок, круг, эллипс;
- ❑ найдите в статусной строке (см. рис. 1.2, поз. 13) кнопку  **Show/Hide Lineweight** (Отображение линий в соответствии с весами). При указании этой кнопки толщина всех линий принимает заданное им значение. При повторном указании кнопки толщина «отключается». Проверьте.

Толщину удобно задавать и редактировать через панель инструментов **Properties** (Свойства объектов). Толщина определяется третьей слева секцией этой панели (см. рис. 1.9).

Для толщины линии имеется значение **Default** (По умолчанию). Оно задается в окне «Параметры весов линий» (см. выше). Это значение сохраняется в реестре компьютера, а не в самом dwg-файле. При переносе рисунка на другой компьютер толщина **Default** установится в соответствии с настройкой того компьютера. (Выполнив настройку дома, в классе можете увидеть другой результат.)

Заданное в миллиметрах значение толщины линии реализуется при выводе чертежа на печать. На экране оно отображается в миллиметрах только в пространстве листа. В пространстве модели толщина на экране отображается в пикселях и визуально не соответствует значению в миллиметрах. Это расхождение (мм — пиксели) является одной из причин того, чтобы завершение чертежа и вывод его на печать выполнять в пространстве листа. Подробнее о задании толщины:

- ❑ **help** / Путеводитель по основам AutoCAD / Свойства / Весы линий.