

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

---

**И.Е. Лешихина, М.А. Пирогова**

**МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ДВУМЕРНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ  
МОДЕЛЕЙ СРЕДСТВАМИ САПР AUTOCAD**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ  
по курсу  
«Компьютерная графика»  
для студентов, обучающихся по направлению  
«Информатика и вычислительная техника»

Москва  
Издательство МЭИ  
2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О САПР AUTOCAD.....	4
2. ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС AUTOCAD.....	4
2.1. Падающие меню	
2.2. Панели инструментов	
2.3. Ленточное меню	
2.4. Контекстное меню	
2.5. Командная строка и строка состояния	
3. НАЧАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ AUTOCAD.....	14
4. КОМАНДЫ СОЗДАНИЯ ДВУМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ.....	18
4.1. Примитивы отрезок, лучи прямая	
4.2. Примитивы окружность, дуга и эллипс	
4.3. Полилиния	
4.4. Сплайны	
5. КОМАНДЫ РЕДАКТИРОВАНИЯ ДВУМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ.....	24
5.1. Команды общего редактирования: Trim, Extend, Offset, Break, Mirror	
5.2. Команды перемещения и копирования	
5.3. Команда снятия фаски и команда создания скругления	
5.4. Команды редактирования полилиний и сплайнов	
6. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В AUTOCAD.....	39
7. ПРИМЕРЫ СОЗДАНИЯ ДВУМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ В AUTOCAD.....	41
7.1. Построение модели с использованием команды Array (Circle)	
7.2. Построение сопряжений с использованием команды Circle (TTR, TTT)	
8. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО РАЗДЕЛУ «ДВУМЕРНЫЕ МОДЕЛИ».....	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	61
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	61

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для проектирования и разработки сложных изделий используется большое количество САПР различного уровня (AutoCAD, Inventor, КОМПАС, NX, Solid Edge, SolidWorks, T-FLEX, CATIA, Pro/ENGINEER (Creo Parametric) и пр.). Для создания сложной трехмерной модели изделия необходимо сначала построить двумерную модель сечения или образующей будущей трехмерной модели. И затем, используя различные методы построения (кинематический принцип, применение логических операций для построения модели конструктивной геометрии и т.п.), перейти к построению трехмерной модели. Таким образом освоение методов создания двумерных моделей является необходимым этапом при изучении всех возможностей моделирования сложных изделий в современных САПР.

Не зависимо от уровня САПР их объединяет набор команд, позволяющих создавать и редактировать двумерные и трехмерные примитивы. Помимо простейших примитивов в современных САПР обязательно присутствуют возможности создания моделей кривых различного уровня сложности, в том числе NURBS кривых. Также обязательной составляющей функционала современных автоматизированных средств проектирования являются команды, создающие параметрические модели различного типа.

В современных САПР присутствуют возможности работы с так называемыми фичерами (features) (параметризованными конструктивными элементами, например, фаски, скругления и т. п.)

Среди команд редактирования следует отметить команды, позволяющие редактировать сложные кривые, за счет изменения типа аппроксимации кривых и степени аппроксимирующих многочленов.

В данных методических материалах рассмотрены возможности двумерного моделирования современных САПР на примере системы команд AutoCAD последних версий.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О САПР AUTOCAD

САПР AutoCAD разработана в компании Autodesk более тридцати лет назад, в 1982 году. Тем не менее эта система является одной из самых распространенных и популярных среди инженеров-конструкторов, связанных с автоматизированной разработкой изделий. Первоначально AutoCAD была разработана для создания двумерных чертежей и выпуска проектной документации для различных отраслей. [1,2]. САПР AutoCAD легко может быть освоена самостоятельно, обладает полным функционалом для создания, сохранения и оформления чертежно-конструкторской документации в соответствии с международными стандартами, позволяет создавать электронные архивы чертежей, многие, даже мощные САПР, имеют интерфейсы к этой системе. Все это является безусловным достоинством САПР AutoCAD.

По мере расширения рынка САПР и совершенствования других систем, компания Autodesk для создания конкурентоспособной системы воспользовалась всеми достижениями в области создания геометрических моделей и начала процесс внедрения их в новые версии AutoCAD. И в настоящее время САПР AutoCAD позволяет создавать не только двумерные модели, но и сложные поверхностные и твердотельные геометрические модели.

Начиная с 2010 года новые версии AutoCAD позволяют создавать и параметрические модели. Также эта САПР позволяет производить операции инженерного анализа проектируемых изделий, оценивать некоторые инженерные характеристики создаваемых моделей.

Таким образом, полноценная система команд двумерного и трехмерного моделирования AutoCAD позволяет с помощью ее средств строить сложные геометрические модели.

## 2. ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС AUTOCAD

Пользовательский интерфейс AutoCAD включает в себя следующие составляющие:

- **Падающие меню (строка меню)** – расположены в верхней части графического экрана; названия этих меню указывает на команды, которые объединены в соответствующие группы, как близкие по своему назначению; например, в группе команд DRAW собраны команды рисования, как двумерных, так и трехмерных примитивов.
- **Панели инструментов**, которые сначала могут не присутствовать на графическом экране, но могут быть в любой момент вызваны и расположены в любом удобном для пользователя месте

рабочего поля. Панели инструментов также используются для вызова команд AutoCAD.

- **Ленточное меню** – позволяет осуществить доступ практически ко всем командам AutoCAD.

- **Контекстное меню** может быть вызвано с помощью правой кнопки мыши. Команды, входящие в состав контекстного меню меняются в зависимости от того, в какой момент выполнения текущей команды контекстное меню было вызвано.

- **Командная строка** – предназначена для ввода мнемонического имени любой команды AutoCAD для ее вызова.

- **Строка состояния** – в ней расположены кнопки, позволяющие упростить процесс отрисовки и редактирования различных примитивов, а также получить быстрый доступ к различным режимам работы AutoCAD.

Рассмотрим подробнее вышеперечисленные составляющие интерфейса AutoCAD.

## 2.1. Падающие меню

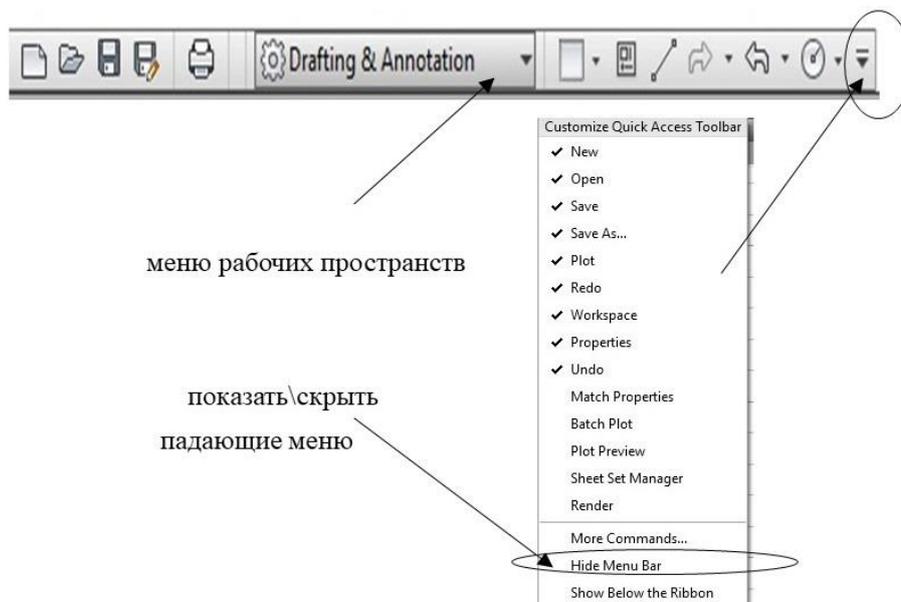
В версиях AutoCAD, выпускавшихся до 2009, при загрузке на рабочем поле всегда присутствовали падающие меню (строка меню, содержащая отдельные падающие меню). В более поздних версиях строка меню после загрузки AutoCAD отсутствует. Но все же для многих пользователей его наличие на рабочем поле бывает полезным.

Строка меню, содержащая падающие меню, показана на рис.2.1.



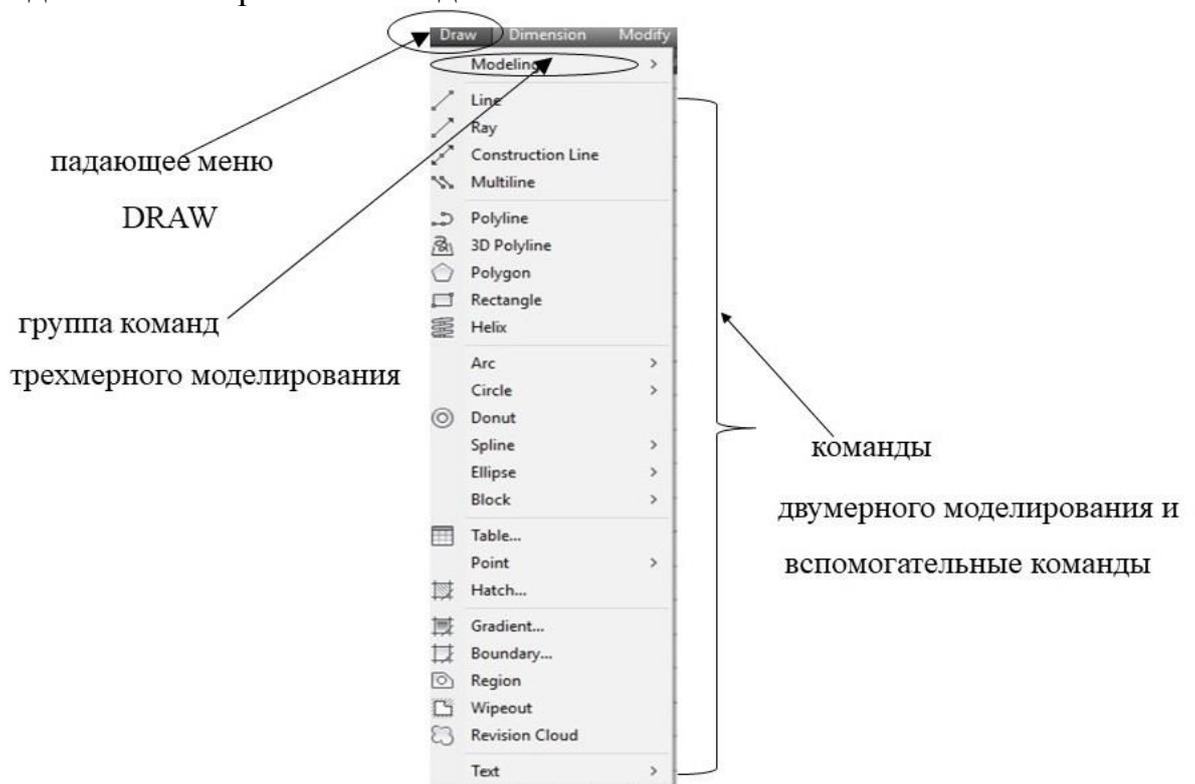
**Рис. 2.1. Падающие меню**

Падающие меню могут быть загружены на рабочее пространство с помощью пункта Show Menu Bar (показать строку меню) из панели быстрого доступа (рис. 2.2 ).



**Рис. 2.2. Загрузка падающих меню из панели быстрого доступа**

Выбор той или иной кнопки строки меню (того или иного падающего меню) позволяет осуществлять вызов всех команд, которые объединены по определенным признакам в одно падающее меню. На рис 2.3. показаны команды, которые входят в падающее меню DRAW, объединяющее команды отрисовки двумерных и трехмерных примитивов для создания геометрических моделей.



**Рис. 2.3. Команды падающего меню DRAW**

## 2.2. Панели инструментов

Панели инструментов при загрузке последних версий AutoCAD отсутствуют. После загрузки строки меню из падающего меню Tools/Toolbars/AutoCAD может быть загружена любая панель инструментов. На рис.2.4. показан выбор панели инструментов Draw через группу команд Tools. На рис 2.5. приведена панель инструментов Draw.

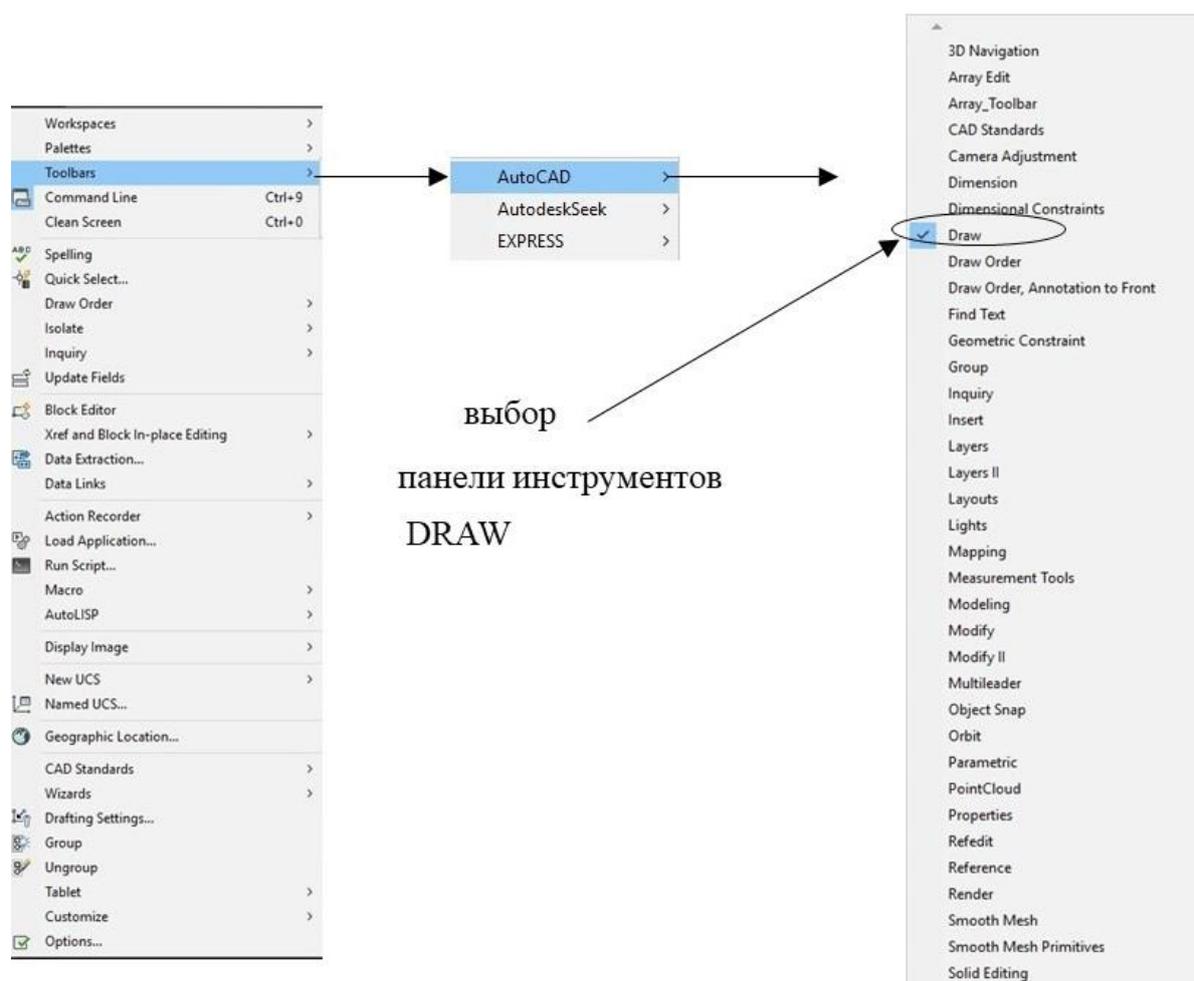


Рис. 2.4. Выбор панели инструментов Draw через группу команд Tools

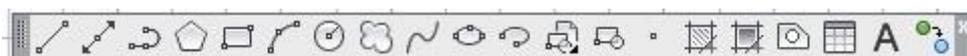


Рис. 2.5. Панель инструментов Draw

Если на графическом экране есть уже какие-либо панели инструментов, то для выбора скрытых панелей инструментов необходимо установить курсор на любую из панелей инструментов, которые ранее были включены, и щелкнуть на правую кнопку мыши. Появится

контекстное меню (подробнее различные контекстные меню будут рассмотрены позже). Также как и в случае выбора панели инструментов из падающего меню, нужное меню необходимо отметить галочкой в списке.

Положение на рабочем экране панелей инструментов можно защитить от случайного изменения. Для этого необходимо пользоваться пунктами подменю Lock Location (фиксировать положение) (рис.2.6.):

- Floating Toolbars – плавающие панели инструментов
- Docked Toolbars – закрепленные панели инструментов.



**Рис. 2.6. Управление фиксацией на рабочем поле панелей инструментов**

### 2.3. Ленточное меню

Ленточное меню появилось в AutoCAD в версии 2009 г., Оно представляет собой самый сложный и самый насыщенный вид меню. Кнопки ленточного меню сгруппированы в панели, панели объединены в группы. Состав ленточного меню не фиксирован, его можно менять с помощью опции адаптации пользовательского интерфейса.

Ленточное меню в рабочем пространстве построения двумерных моделей имеет следующие вкладки: HOME (Главная), INSERT (Вставка), ANNOTATE (Аннотация), PARAMETRIC (Параметризация), VIEW (Вид), MANAGE (Управление), OUTPUT (Вывод), ADD-INS (Надстройка), A360, EXPRESS, TOOLS, FEATURED APPS, BIM360, PERFORMANCE. При создании трехмерных моделей ленточное меню имеет другие вкладки.

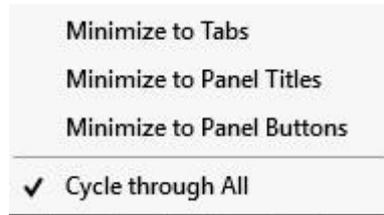
Каждая вкладка ленточного меню состоит из панелей. На рис.2.7. показаны панели вкладки HOME ленточного меню.



**Рис. 2.7. Панели вкладки Home ленточного меню**

В конце строки вкладок ленточного меню находятся две

кнопки , которые позволяют изменять вид ленточного меню. При выборе правой кнопки появляется возможность задать один из вариантов визуализации ленточного меню (рис. 2.8):



**Рис. 2.8. Меню управления видом ленточного меню**

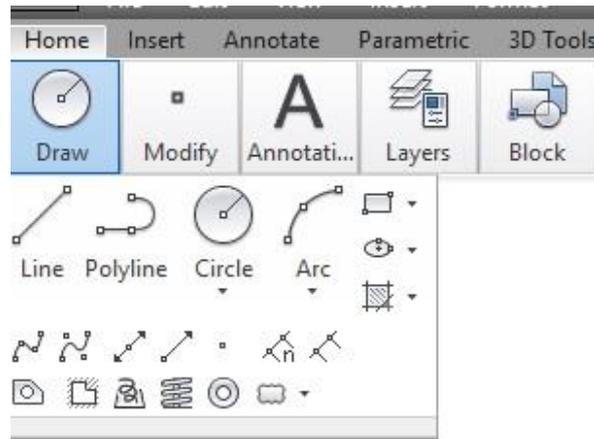
- Minimize to Tabs – скрыть всю ленту до заголовков вкладок
- Minimize to Panel Titles – показать название вкладок и панелей
- Minimize to Panel Buttons – показать панели в форме больших кнопок (рис. 2.9) или показать ленточное меню полностью (как на рис. 2.7).



**Рис. 2.9. Панели вкладки HOME в виде больших кнопок**

В случае, если выбран пункт Cycle through All, можно последовательно переходить от одного варианта вида ленточного меню к другому с помощью левой кнопки.

Если панель вкладки представлена в виде больших кнопок, то команды, включенные в содержимое любой панели, можно увидеть - «развернуть», если кликнуть на соответствующей панели левой клавишей мыши. На рис.2.10 показана панель DRAW в развернутом виде (подменю панели Draw).

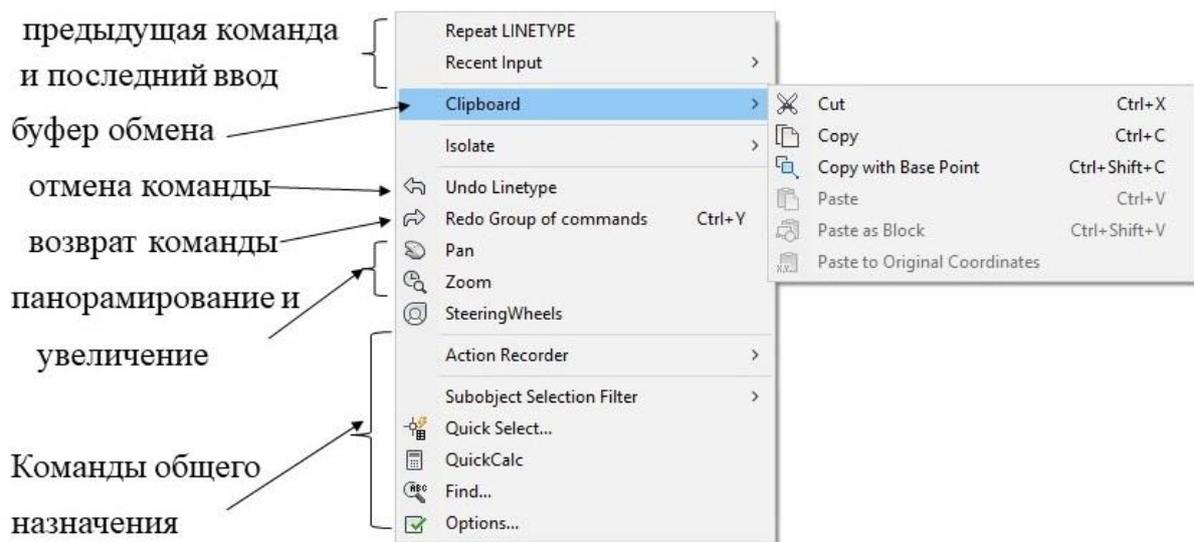


**Рис. 2.10. Панель Draw в развернутом виде**

## 2.4. Контекстное меню

Контекстное меню может быть вызвано путем нажатия на правую кнопку мыши. В зависимости от исходного положения курсора на рабочем экране вид контекстного меню может быть разным. Ранее было рассмотрено контекстное меню для работы с панелями инструментов.

Если выбор контекстного меню произошел вне команды (положение курсора на пустом экране), то внешний вид контекстного меню будет выглядеть следующим образом (рис.2.11).



**Рис. 2.11. Контекстное меню в общем виде**

В случае если контекстное меню вызывается при выполнении какой-либо команды AutoCAD, его вид будет зависеть от того, какая команда выполняется. На рис.2.12. показано контекстное меню при выполнении команды Line группы команд DRAW.

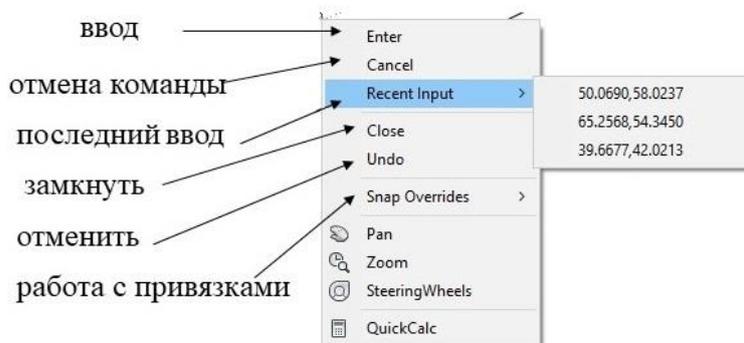


Рис. 2.12. Контекстное меню команды Line

## 2.5. Командная строка и строка состояния

В нижней части рабочего экрана находится командная строка. В командной строке отображаются команды, выполняемые в данный момент. Любую команду можно вызвать, набрав непосредственно ее имя в командной строке. Командная строка представляет собой окно, в котором присутствует приглашение – Type a command (введите команду). Этапы выполнения команды также отражаются в командной строке. В тоже время в AutoCAD есть динамическое отображение данных ввода и выполнения команды. Таким образом, присутствие на рабочем экране командной строки избыточно в случае включенного режима динамического отслеживания.

Ниже командной строки находится строка состояния, в которой расположены кнопки команд общего назначения, наиболее часто используемые для настройки чертежа и рабочего поля.

Строку состояния можно разделить на несколько частей:

- счетчик команд и кнопка активного пространства (модель или лист) (рис.2.13);



Рис. 2.13. Счетчик команд и кнопка активного пространства

- режимы рисования (рис.2.14.);



**Рис. 2.14. Режимы рисования**

- 3D -построения (рис.2.15.);



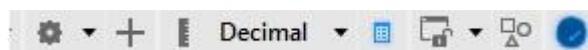
**Рис. 2.15. 3D построения**

- управление масштабом и видимостью аннотаций (рис.2.16.);



**Рис. 2.16. Управление масштабом и видимостью аннотаций**

- группа из семи кнопок, отвечающих за выбор рабочего пространства, единиц измерения, вызов быстрых свойств и т. п. (рис.2.17.);



**Рис. 2.17. Группа из семи кнопок, выполняющих в том числе выбор рабочего пространства и единиц измерения**

- кнопка очистки экрана от меню и панелей инструментов и кнопка управления составом строки состояния 

В данном параграфе рассмотрим подробно работу с частью командной строки, задающей режимы рисования, которые позволяют работать с двумерными моделями.

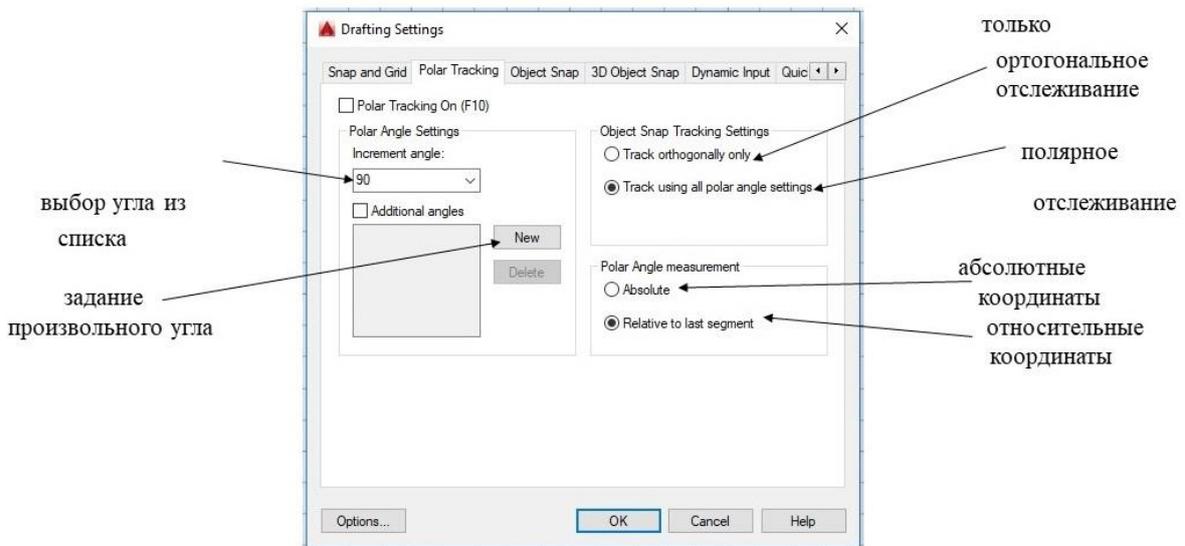
Кнопки  позволяют включить/выключить сетку (Grid) на рабочем экране и задать шаг (Snap) перемещения по рабочему экрану. Шаг может совпадать с узлами сетки или иметь значение, отличное от размера сетки. Рядом с этими кнопками находится черный треугольник, нажав на него можно вызвать диалоговое окно – Drafting Setting (режимы рисования), в котором есть закладка Grid an Snap (сетка и шаг) (рис.2.17). В данном диалоговом окне можно изменить шаг сетки и шаг привязки курсора.

Кнопка  позволяет управлять режимом визуализации параметрических зависимостей (Infer). Работа с параметрами будет рассмотрена позже (глава 6).

Управление динамическим отслеживанием (Din) осуществляется с помощью кнопки . В случае включения динамического отслеживания на рабочем экране отображается вся информация, связанная с выполнением команды. До 2006 года в версиях AutoCAD такой возможности не было, и информация о команде воспроизводилась только в командной строке.

Кнопка  (Ortho) позволяет включать режим отрисовки примитивов только в горизонтальном или вертикальном направлении.

Полярное отслеживание (Polar) можно включить или выключить с помощью кнопки . Под полярным отслеживанием понимается возможность перемещения примитивов в направлении заданного угла. Причем задание углов может быть абсолютным (по отношению к координатным осям) или относительным (по отношению к примитивам). Настройка режимов полярного отслеживания происходит с помощью диалогового окна, показанного на рис. 2.18.

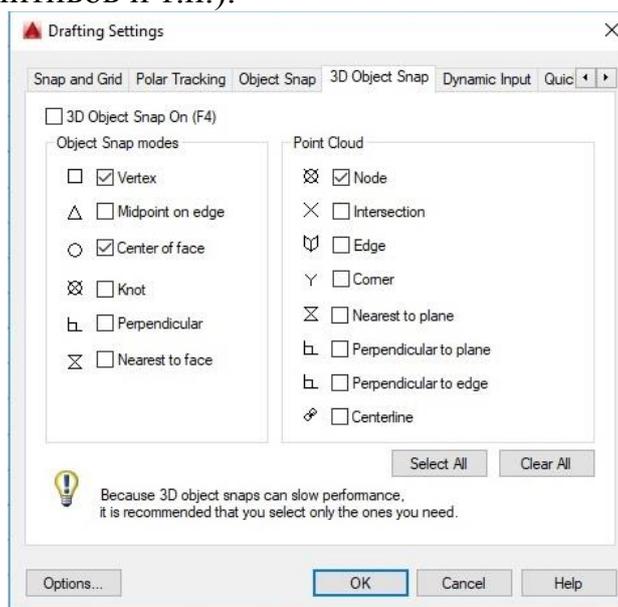


**Рис. 2.18. Диалоговое окно настройки полярного отслеживания**

Режим, имитирующий рисование на плоскости изометрии (Isodraft), может быть включен с помощью кнопки .

Кнопка  включает режим объектного отслеживания (Osnap). В зависимости от выбранных способов привязки к различным примитивам (рис.2.19), при выполнении команд отслеживаются различные

геометрические зависимости (например, середина примитива, пересечение примитивов и т.п.).



**Рис. 2.19. Диалоговое окно настройки объектного отслеживания**

Если включить кнопку  (Otrack), появляется возможность совместного использования полярного и объектного отслеживания.

Кнопка  (Lwt) управляет видимостью толщины примитивов.

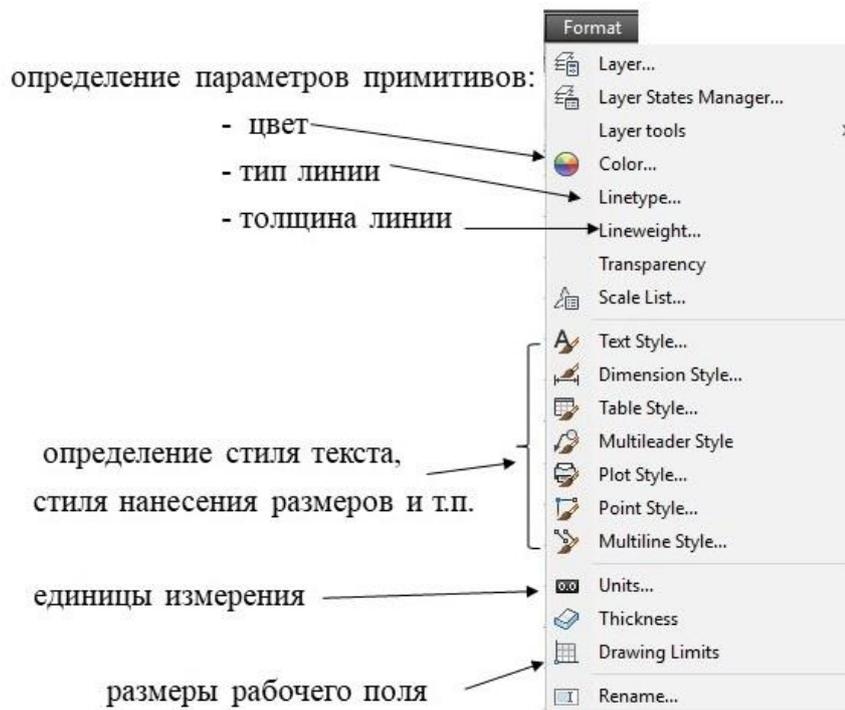
Для построения двумерных моделей достаточно информации о рассмотренных выше кнопках строки состояния.

### **3. НАЧАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ AUTOCAD**

Перед началом создания модели в AutoCAD необходимо выполнить ряд начальных установок: выбрать размер рабочего поля; задать основные атрибуты примитивов (цвет, толщина, тип); определить единицы измерения; задать стиль написания текста, стиль простановки размеров.

Все установки можно задать, используя падающее меню FORMAT, ленточное меню, строку состояния, командную строку.

На рис. 3.1. показано падающее меню FORMAT, используя команды которого можно выполнить все необходимые установки.



**Рис. 3.1. Падающее меню FORMAT**

Для задания размеров рабочего поля необходимо выбрать в падающем меню FORMAT строчку Drawing Limits, что соответствует вызову команды limits. Диалог выполнения этой команды показан на рис. 3.2.

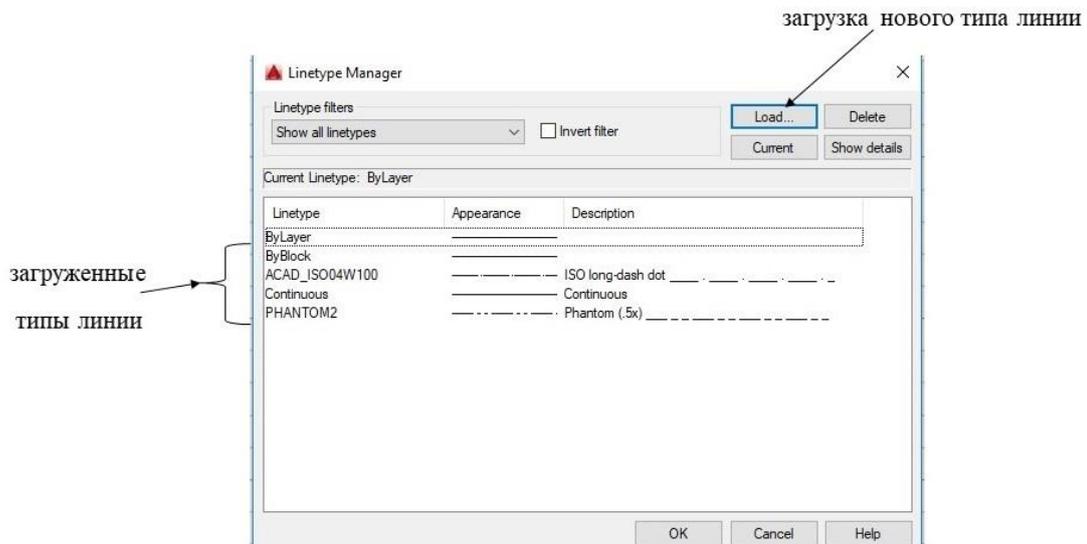
```

Command: ' limits
Reset Model space limits:
Specify lower left corner or [ON/OFF] <0.0000,0.0000>:
LIMITS Specify upper right corner <420.0000,297.0000>:
  
```

**Рис. 3.2. Диалог команды установки размеров рабочего поля – Limits**

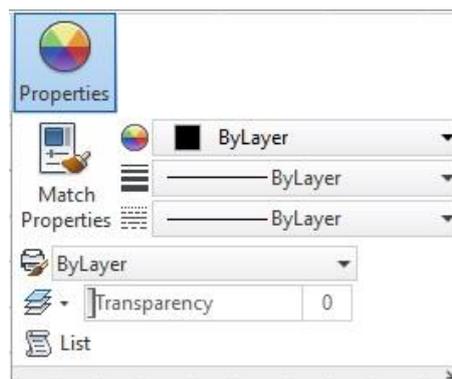
Также данная команда может быть вызвана непосредственно из командной строки.

При выборе типа линии, толщины линии и цвета можно перейти в диалоговое окно, позволяющее задать необходимые параметры. На рис.3.2. показано диалоговое окно – менеджер выбора типа линии.



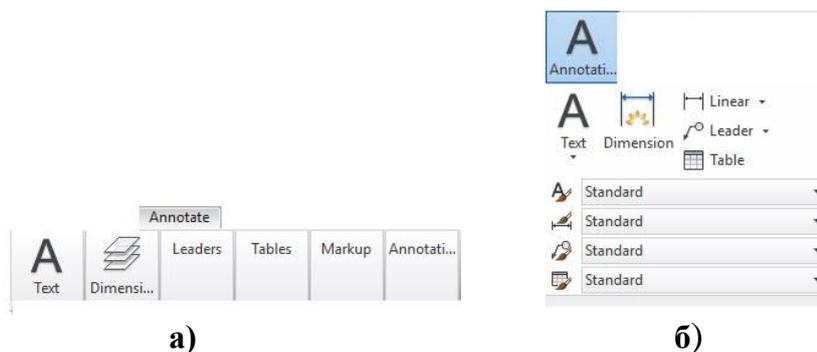
**Рис. 3.3. Диалоговое окно – менеджер выбора типа линий**

Для определения выбора атрибутов примитивов можно воспользоваться панелью Properties вкладки HOME (рис.3.4.).



**Рис. 3.4. Панель Properties вкладки Home**

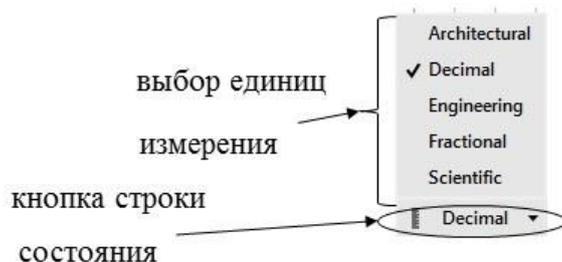
Выбор стиля для текста, простановки размеров и т.п. может происходить с помощью вкладки ANNOTATE (рис.3.5 а)) или с помощью панели с таким же названием вкладки HOME (рис.3.5 б)).



**Рис. 3.4. Выбор стиля для текста, простановки размеров и т.п. с помощью:**

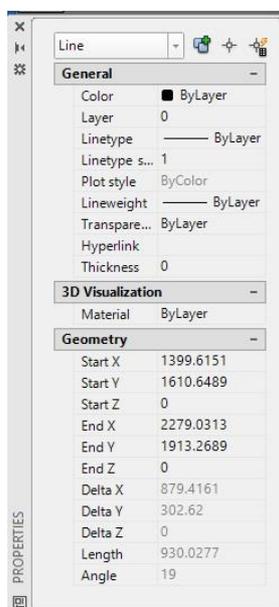
**а) вкладки ANNONATE б) панели ANNOTATE вкладки HOME**

Выбор единиц измерения можно сделать, воспользовавшись падающим меню FORMAT (рис. 3.1.), или выбрав соответствующую кнопку строки состояния (рис 3.5.).



**Рис. 3.5. Выбор единиц измерения из строки состояния**

После задания начальных установок, некоторые из которые являются свойствами (атрибутами) примитивов – тип линии, цвет и т.д., эти свойства будут присвоены создаваемым примитивам. Все эти атрибуты, могут быть просмотрены и изменены в меню PROPERTIES (свойства), которое может быть вызвано из падающего меню TOOLS/Palettes либо из контекстного меню после выбора соответствующего примитива. Меню PROPERTIES показано на рис.3.6.



**Рис. 3.6. Меню Properties**

## 4. КОМАНДЫ СОЗДАНИЯ ДВУМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

Двумерные модели AutoCAD могут быть вызваны несколькими способами: из командной строки, из падающего меню (рис.2.3), с помощью соответствующей панели инструментов (рис.2.5), из панели DRAW вкладки HOME ленточного меню (рис.2.10).

Панель инструментов двумерного моделирования помимо команд создания простейших примитивов включает в себя также команды рисования более сложных примитивов, таких как: таблицы, текст, мультитилинии, области и т.п.

В данных методических материалах рассмотрены только команды создания примитивов, наиболее часто используемых при разработке двумерных моделей, являющихся основой для разработки сложных трехмерных деталей, а именно команды рисования отрезка (Line), окружности (Circle), дуги (Arc), эллипса (Ellipse), полилинии (Pline), полилиний специального вида (Rectang, Poligon), сплайна (Spline).

Рассмотрим подробнее перечисленные команды.

### 4.1. Примитивы отрезок, луч и прямая

Примитив отрезок может быть создан с помощью команды Line - . Диалог этой команды достаточно прост и показан на рис.4.1.

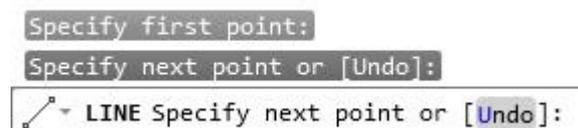
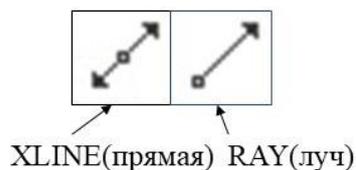


Рис. 4.1. Диалог команды Line

В случае, если включена объектная привязка (Object Snap), есть возможность выбора точек на примитивах, нарисованных ранее.

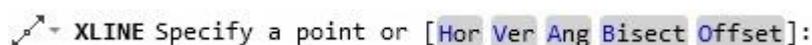
Для вызова команд Xline и Ray необходимо выбрать кнопки, показанные на рис.4.2.



**Рис. 4.2. Вызов команд Xline и Ray**

Команда Ray позволяет создавать примитив – луч, который в отличие от отрезка имеет начальную точку, другая же не определена, т.е. луч бесконечен в одну сторону.

Прямая (Xline) – линия бесконечная в обе стороны. Диалог этой команды показан на рис.4.3.

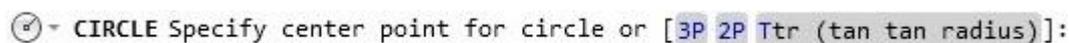


**Рис. 4.3. Диалог команды Xline**

При работе с данной командой есть возможность использовать различные опции, которые позволяют строить лучи, проходящие через заданную точку. Эти лучи могут быть горизонтальными или вертикальными (опции Hor, Ver); могут располагаться под углом к заданному линейному примитиву (Ang); быть биссектрисой к заданному углу (Bisect); находиться на расстоянии от выбранного базового примитива (Offset).

## 4.2. Примитивы окружность, дуга и эллипс

Для построения окружности в AutoCAD используется команда Circle (кнопка - ). Построение возможно пятью способами: построение окружности по координате центра и радиусу или дуге; окружность по двум точкам; окружность по трем точкам; использование для построения окружности двух касательных и радиуса; построение окружности по трем касательным. На рис. 4.4. показан диалог команды Circle в командной строке, а на рис 4.5. - подменю этой команды при работе в ленточном или падающем меню.



**Рис. 4.4. Диалог команды Circle в командной строке**



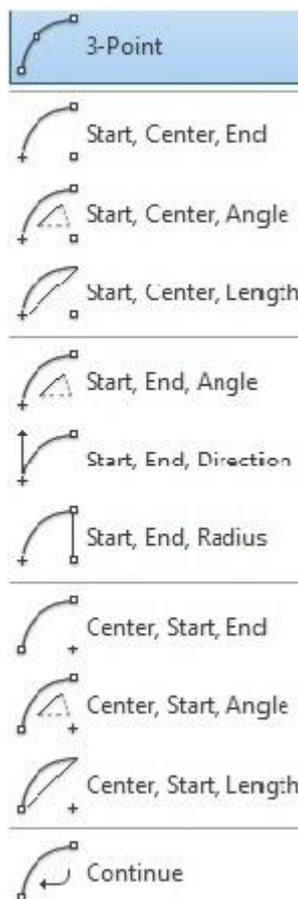
**Рис. 4.5. Подменю команды Circle**

Особое внимание следует обратить на два последних способа построения окружности. Именно эти способы используются при создании сложных сопряжений. Пример использования команды Circle для построения сложных сопряжений подробно будет рассмотрен в разделе 7.2. Для определения точек касания могут быть использованы любые ранее построенные примитивы.

Команду Arc (дуга) можно вызвать с помощью кнопки  из панели вкладки DRAW. Диалог команды Arc в командной строке показан на рис. 4.6, подменю этой команды на рис. 4.7.

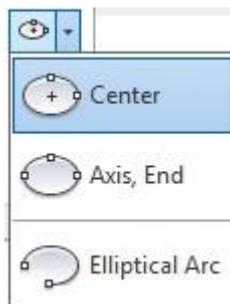
```
Specify start point of arc or [Center]:  
Specify second point of arc or [Center/End]:  
Specify end point of arc:
```

**Рис. 4.6. Диалог команды Arc в командной строке**



**Рис. 4.7. Подменю команды Arc**

Команда Ellipse используется для создания примитива эллипс. Основные варианты отрисовки эллипса определяются способами задания осей эллипса. На рис. 4.8. показано подменю команд Ellipse.



**Рис. 4.8. Подменю команды Ellipse**

### 4.3. Полилиния

Полилиния это составной примитив из одного или нескольких линейных или дуговых сегментов, связанных между собой. Важной особенностью этого примитива является то, что при обработке полилинии

(редактирование, удаление) происходит работа сразу со всеми сегментам. Чтобы разбить полилинию на отдельные сегменты необходимо выделить ее и выбрать команду Explode группы команд MODIFY.

Вызов команды Pline происходит с помощью кнопки . Полилиния – это один из немногих примитивов AutoCAD, имеющий ненулевую ширину. Ширина может быть задана с помощью опции Halfwidth или Width. В первом случае заданное в диалоге команды число будет соответствовать величине половины ширины полилинии, а во втором случае – значению полной ширины. Следует отметить, что ширина полилинии в начале и конце сегмента может быть разной.

В случае выбора опции Close (Замкнуть) автоматически рисуется один сегмент, соединяющий первую и последнюю точки полилинии. После этого команда Pline прекращает свою работу.

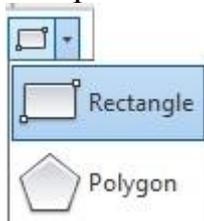
Для того, чтобы перейти от рисования линейных сегментов к дуговым и наоборот в диалоге команды присутствуют опции Arc и Line.

На рис. 4.9 показан диалог команды Pline при использовании различных сегментов – линий и дуг.



**Рис. 4.9. Различные диалоги команды Pline**

В AutoCAD есть команды создания полилиний специального вида – прямоугольник (Rectangle) и многоугольник (Polygon). Для вызова этих команд используются кнопки, которые показаны на рис.4.10.



**Рис. 4.10. Вызов команд Rectangle и Polygon**

Прямоугольник может быть создан различными способами: по двум противоположным углам, по площади (Area), путем задания ширины и

высоты – размеров (Dimension). В команде присутствует опция – Rotation (поворот), с помощью которой можно задать угол поворота прямоугольника по отношению к оси X. Перед началом построения прямоугольника в диалоге команды присутствуют запросы, позволяющие: снять фаску в каждом углу прямоугольника (Chamfer); определить радиус скругления в углах прямоугольника (Fillet); задать уровень для рисования прямоугольника в плоскости, параллельной текущей, т.е. задать смещение по оси Z (Elevation); есть возможность задания высоты трехмерной модели, которая получается в результате выдавливания по оси Z прямоугольника (Thickness); также опция Width позволяет задать ширину полилинии.

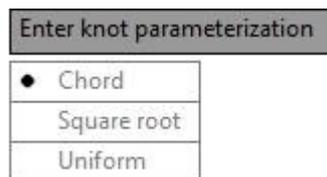
Команда Polygon позволяет создавать правильный многоугольник, вписанный в окружность (Inscribed in circle) или описанный по отношению к окружности (Circumscribed about circle). В команде необходимо задать число сторон многоугольника, выбрать способ его создания, задать центр окружности и ее радиус или диаметр.

#### 4.4. Сплайны

Команда Spline (вызов с помощью кнопки ) позволяет построить кривые, которые принято называть сплайнами, двумя способами: по определяющим точкам (опция Fit Points) и по управляющим точкам (опция Control Vertex) [1,2,4]. В первом случае кривая проходит через точки, выбранные пользователем. Во втором случае кривая оказывается вписанной в выпуклый многоугольник, образованный точками, которые также задает пользователь; в этом случае ломаная, образованная заданными точками, называется полигоном кривой. Сплайны математически описаны в виде многочлена третьего порядка по умолчанию, но степень многочлена можно менять в случае построения кривой по управляющим точкам, т.е. по полигону кривой.

Основной способ построения сплайнов в AutoCAD – это использование B-сплайн кривых для аппроксимации в случае, если заданы управляющие точки. Для построения кривой, проходящей через заданные точки (использование определяющих точек), используется математический аппарат кривых NURBS (рациональные B-сплайны на неравномерной сетке параметризации) [4].

При построении сплайнов большое влияние на вид кривой оказывает так называемая параметризация, которая задается с помощью опции – Knots. Есть возможность использования трех типов параметризации: по длине хорды (Chord), по длине дуги (Square root), равномерная (Uniform) (рис. 4.11).



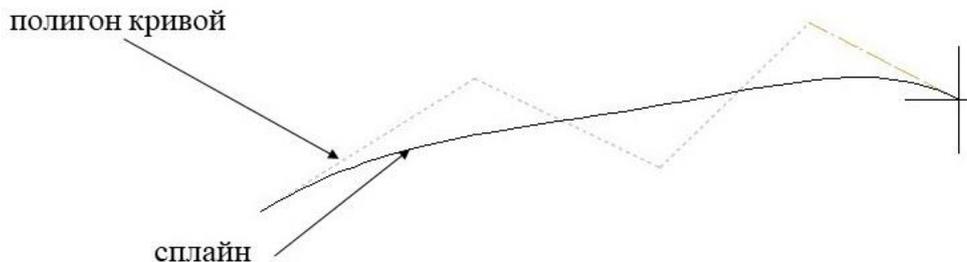
**Рис. 4.11. Выбор типа параметризации**

Рассмотрим построение сплайна по определяющим точкам. После выбора построения по управляющим точкам и задания первой управляющей точки в командной строке появляется запрос: `~> SPLINE Enter next point or [start Tangency toLerance]:`. Опция `start Tangency` позволяет задать касание в начальной точке. Опция `toLerance` дает возможность сделать сплайн более гладким. При выполнении команды в этом варианте можно задать точку касания и в конце кривой, это происходит при следующем шаге выполнения команды.

В случае, если сплайн строится по управляющим вершинам, в командной строке появляется запрос следующего вида: `~> SPLINE Specify first point or [Method Degree Object]:`

Опция `Degree` позволяет менять степень многочлена, описывающего кривую, построенную по точкам задающего полигона. Опция `Object` позволяет преобразовывать ранее построенные и сглаженные полилинии.

На рис. 4.12 показан сплайн, построенный по управляющим вершинам.

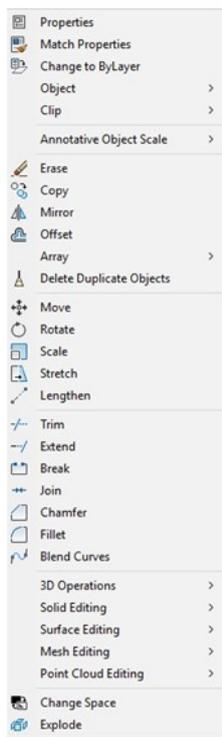


**Рис. 4.12. Сплайн, построенный по управляющим вершинам**

## **5. КОМАНДЫ РЕДАКТИРОВАНИЯ ДВУМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ**

Команды общего редактирования, т.е. команды, которые не зависят от типа выбираемого объекта, могут быть вызваны из падающего меню `MODIFY` (рис.5.1a)), из панели инструментов с таким же названием

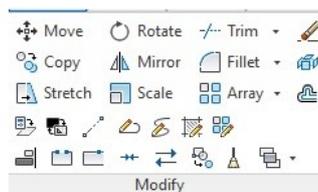
(рис.5.1 б)), или из панели MODIFY вкладки HOME ленточного меню (рис.5.1 в)).



а)



б)



в)

**Рис. 5.1. Вызов команд общего редактирования:**  
**а) из падающего меню; б) из панели инструментов; в) из панели MODIFY**  
**вкладки HOME ленточного меню**

Есть также команды, редактирования, которые зависят от типа редактируемого объекта, например редактирования полилинии. Эти команды нельзя вызвать из панели инструментов MODIFY, для их вызова можно воспользоваться панелью инструментов MODIFY II (рис.5.2).



**Рис. 5.2. Панель инструментов MODIFY II**

Рассмотрим наиболее часто используемые команды редактирования.

## 5.1. Команды общего редактирования: Trim, Extend, Offset, Break, Mirror

Команды Trim и Extend позволяют выполнить обрезку примитивов (Trim) или удлинить (Extend) их до выбранных кромок. В последних версиях AutoCAD команды Trim и Explode объединены. Например, если вызвана команда Trim, но выбор примитивов происходит при нажатой клавиши Shift, то будет происходить не обрезка примитивов, а их удлинение до выбранной кромки. И наоборот, при работе в команде Extend, нажатая кнопка Shift позволяет выполнить обрезку выбранных примитивов.

Вызов рассматриваемых команд из панели Modify вкладки Home ленточного меню происходит с помощью кнопок, показанных на рис.5.3.

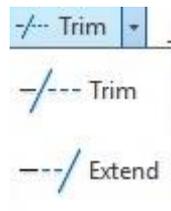


Рис. 5.3. Кнопки вызова команд Trim и Extend

На рис.5.4. показан диалог команды Trim.

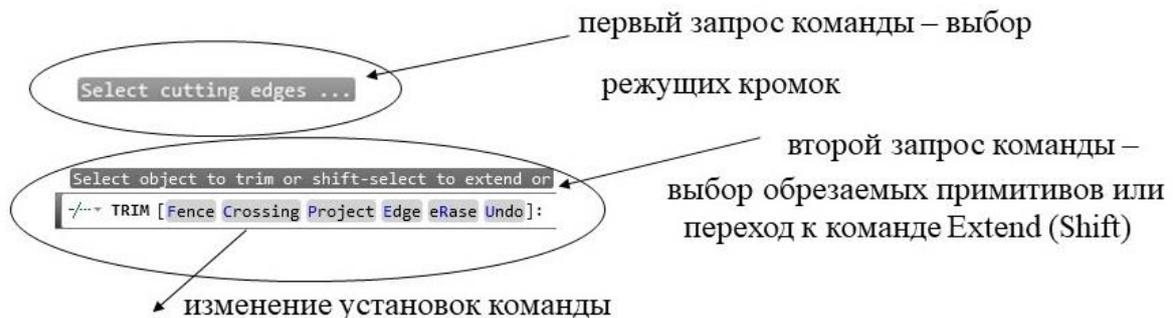


Рис. 5.4. Диалог команды Trim

Первый запрос команды Trim предполагает выбор примитивов или группы примитивов, которые являются режущими кромками. После выполнения этого шага происходит следующий запрос, в котором необходимо выбрать обрезаемые примитивы, либо перейти в режим

удлинения примитивов (переход к команде Extend). Перед выбором обрезаемых примитивов можно поменять установки команды. Опции Fence (Линия) и Crossing (Секущая рамка) позволяют поменять способ выбора примитивов. При выборе опции Project (Проекция) можно проводить обрезку по проекциям примитивов. Опция Edge (Кромка) позволяет использовать в качестве режущих объектов продолжение выбранных примитивов. При выборе опции Erase появляется возможность не выходя из команды удалить лишние примитивы, участвующие в построении, как вспомогательные. С помощью опции Undo можно отменить предыдущие действия.

Следует отметить, что начиная с 2015 г. в версиях AutoCAD при выборе обрезаемых объектов с помощью курсора, предполагаемый результат выполнения команды виден сразу, и при согласии с этим результатом необходимо нажать на левую кнопку мыши.

При работе команды Extend последовательность шагов аналогична, только среди опций отсутствует опция Erase, это связано с логикой команды Extend.

Команда Offset используется для создания примитивов по принципу подобия. С помощью этой команды можно нарисовать линии, параллельные отрезкам, полилиниям, сплайнам, окружностям и т.п. Вызов этой команды осуществляется с помощью кнопки .

Этапы выполнения команды Offset показаны на рис. 5.5.

шаг1:  OFFSET Specify offset distance or [Through Erase Layer] <Through>: - задание расстояния смещения

шаг2:  OFFSET Select object to offset or [Exit Undo] <Exit>: выбор исходного примитива

шаг3:  OFFSET Specify point on side to offset or [Exit Multiple Undo] <Exit>: - задание положения примитива, подобного исходному

**Рис. 5.5. Этапы выполнения команды Offset**

Задать расстояние смещения по умолчанию можно простым вводом численного значения этого смещения. Если на первом шаге выбрана опция Through (через), то будет предложено выбрать точку (или точки) через которые будет проходить результирующий примитив.

Создание подобных примитивов будет происходить до тех пор, пока на шаге 3 не будет выбрана опция Exit.

Команда Break позволяет разорвать примитив в двух указанных точках - в случае вызова команды с помощью кнопки , или разорвать примитив в одной точке при нажатии на кнопку .

Команда Mirror позволяет зеркально отразить выбранные примитивы относительно оси, заданной двумя точками на плоскости. Данная команда может быть вызвана с помощью кнопки .

## 5.2. Команды перемещения и копирования

Команда Move может быть вызвана с помощью кнопки . Данная команда позволяет выполнить перемещение выбранного примитива или группы примитивов двумя способами: заданием вектора перемещения с помощью двух точек (base point и second point); заданием смещения (Displacement), причем, в случае выбора опции use first point as displacement (выбор первой точки, как смещение), после запроса - выбор второй точки (Specify second point) - в качестве смещения используются координаты первой точки.

При задании вектора перемещения двумя точками новое положение примитива или группы примитивов определяется разностью координат второй и базовой точки.

На рис.5.6 показаны этапы выполнения команды Move и ее диалог в случае задания вектора перемещения двумя точками.

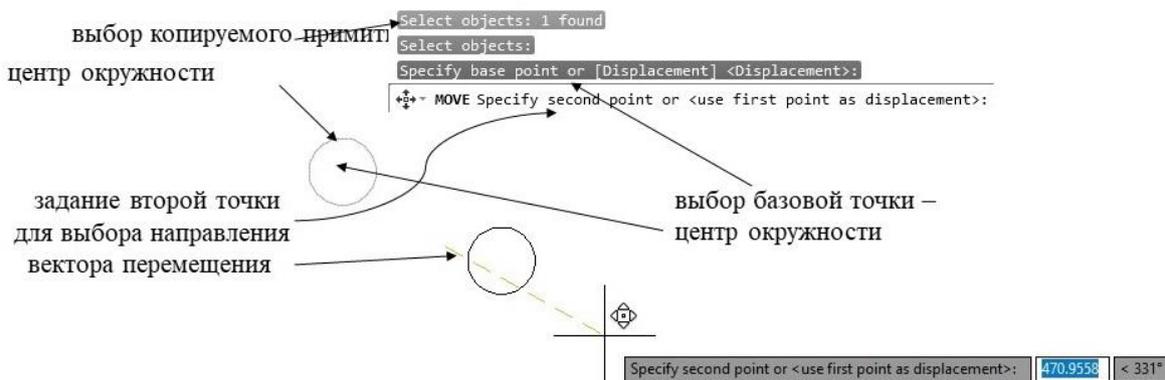


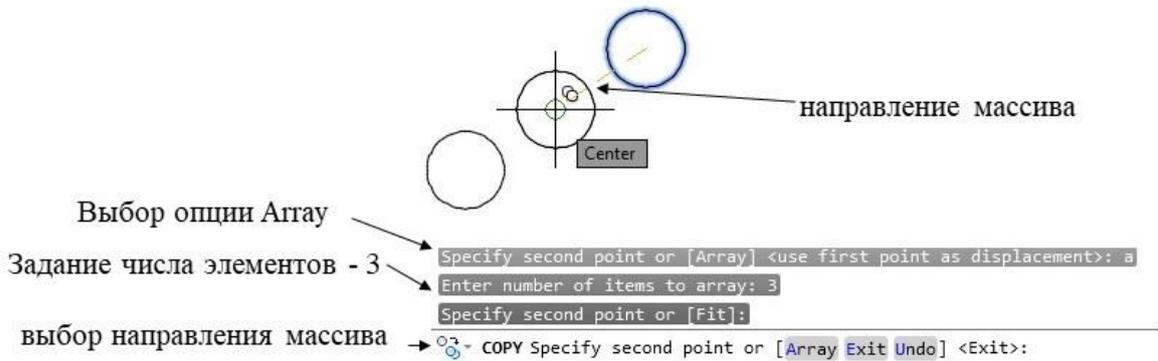
Рис. 5.5. Диалог команды Move

Команда Copy позволяет выполнить копирование примитива или группы примитивов. Эта команда может быть вызвана с помощью кнопки . Диалог команды Copy в целом похож на диалог команды Move. Другими словами, новое положение копируемых элементов может быть задано либо двумя точками, либо заданием смещения. Отличие состоит в том, что после задания базовой точки запрос на следующий шаг выглядит следующим образом :

 COPY Specify second point or [Array] <use first point as displacement>:

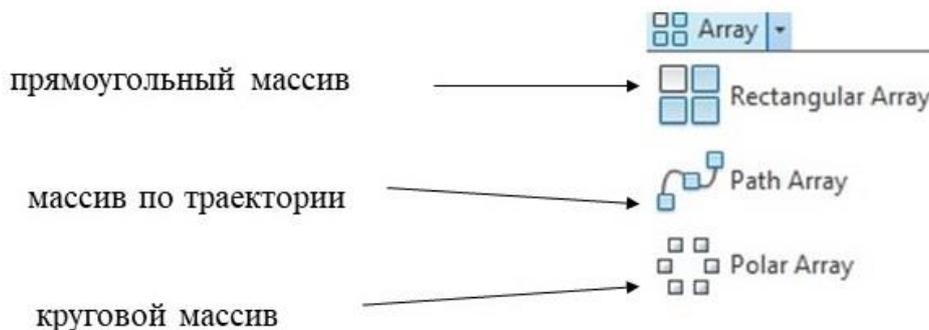
В запросе есть дополнительная опция Array (массив). Данная опция введена в версии AutoCAD 2012. При выборе этой опции происходит

копирование также вдоль вектора, но линия заполняется не одним объектом, а несколькими. Диалог команды Copy в случае выбора опции Array показан на рис. 5.6.



**Рис. 5.6. Диалог команды Copy в случае выбора опции Array**

Кроме команды простого копирования в AutoCAD есть возможность выполнить т.н. копирование в массив с помощью команды Array. Данная команда предназначена для копирования одних и тех же объектов (примитивов или группы примитивов), которые располагаются по определенному закону в некоторых позициях массива. Массив может быть трех вариантов: прямоугольный, круговой и по траектории (появился только в AutoCAD 2012). Для каждого из трех вариантов есть своя команда – ArrayRect, ArrayPolar, ArrayPath соответственно. При вызове команды Array в командной строке после выбора объектов появляется запрос о варианте создаваемого массива. Можно вызвать тот или иной вариант создания массива сразу, используя соответствующие кнопки из различных меню, например, из панели MODIFY вкладки HOME ленточного меню или из закладки падающего меню - MODIFY/Array. На рис.5.7 показано, как выглядит вызов соответствующих команд из панели MODIFY вкладки HOME ленточного меню.



**Рис. 5.7. Вызов команды Array из панели MODIFY вкладки HOME ленточного меню**

Команда ArrayRec позволяет создавать прямоугольный массив. Массив определяется числом строк (Rows), числом столбцов (Columns) и числом уровней (Levels) в случае создания трехмерного массива. По умолчанию в массиве четыре столбца и три строки. Редактировать массив можно с помощью ручек или опций, которые появляются в командной строке после выбора объектов, участвующих в построении массива. Число строк, колонок и уровней можно поменять, выбрав соответствующие опции. Опция Base point позволяет изменить положение базовой точки массива, которой по умолчанию является центр прямоугольника, описанного вокруг прямоугольного массива. Опция Spacing используется для редактирования расстояний между строками и столбцами. Опция Associative позволяет сделать все объекты, входящие в массив, единым целым или совершенно независимыми друг от друга. При выборе ассоциативного массива в ленточном меню появляется вкладка, с помощью которой также можно редактировать массив более наглядным образом. Такая вкладка для прямоугольного массива показана на рис. 5.8.

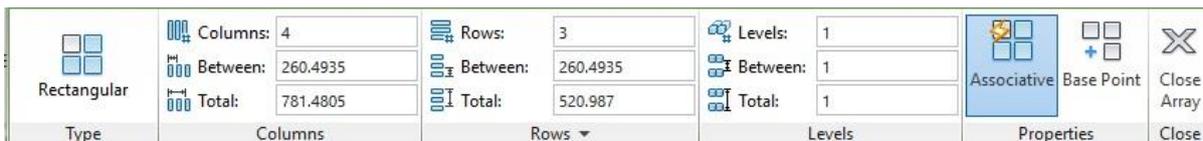


Рис. 5.8. Вкладка прямоугольного массива

Возможности создания и редактирования прямоугольного массива показаны на рис. 5.9.

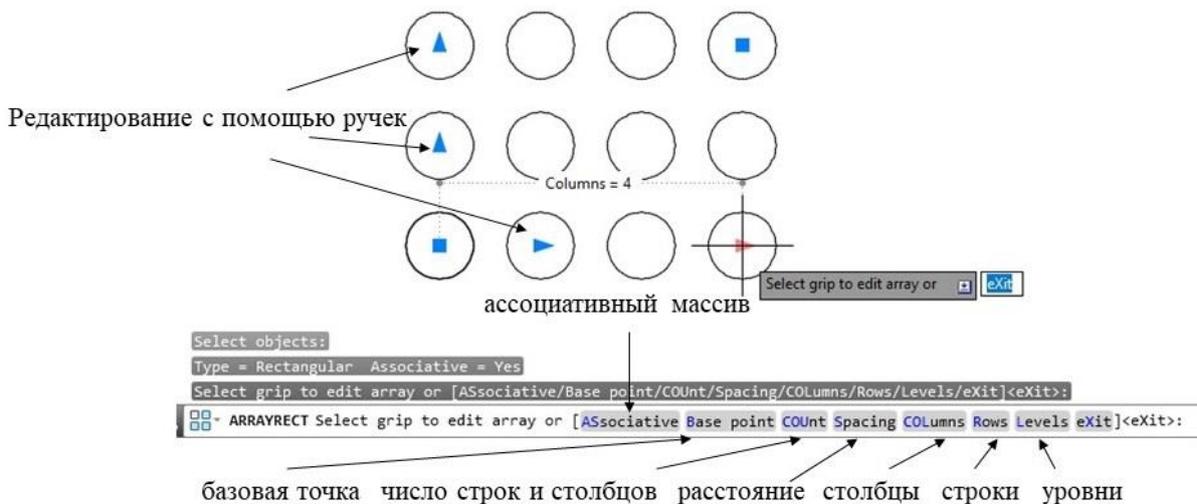


Рис. 5.9. Возможности создания и редактирования прямоугольного массива

В случае создания кругового массива его редактирование также может происходить с помощью ручек или с помощью опций. В случае выбора опции Associative вкладка для работы с таким массивом будет выглядеть, как показано на рис. 5.10.



**Рис. 5.10. Вкладка кругового массива**

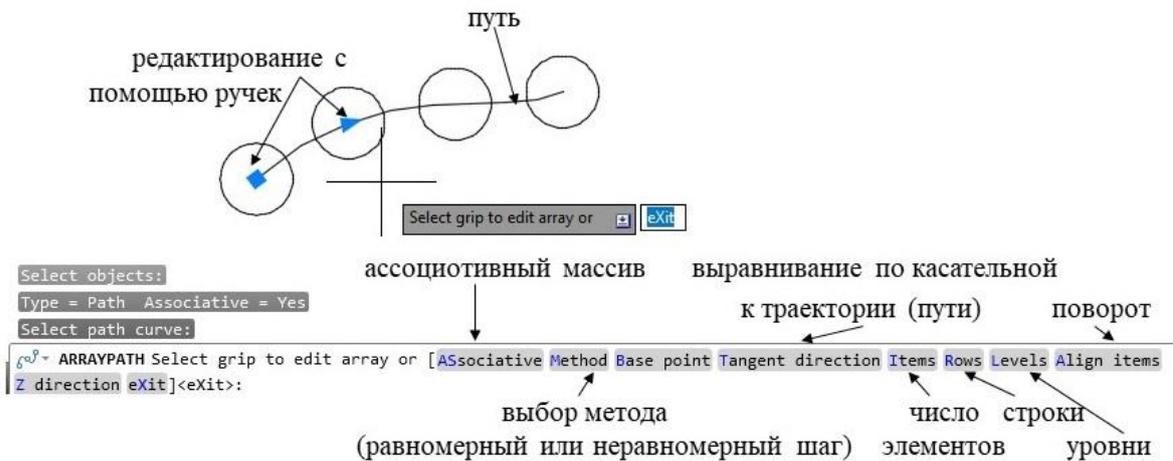
Возможности создания и редактирования кругового массива показаны на рис. 5.11.



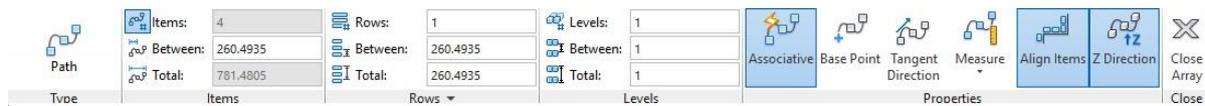
**Рис. 5.11. Возможности создания и редактирования кругового массива**

Как видно из рис. 5.11, опции для создания кругового массива отличаются от опций прямоугольного массива. Опция Base Point позволяет задать центр окружности, по длине которой будет происходить копирование элементов. Число элементов массива может быть задано по-разному: опция Item позволяет задать точное количество элементов массива; с помощью опции Angle between задается угол между элементами массива, при задании полного угла (опция Fill angle) происходит расчет числа элементов массива. При создании кругового массива можно указать необходимость поворота исходных объектов при копировании (опция Rotate items). Также как в прямоугольном массиве, есть опция, позволяющая построить трехмерный массив (опция Level). Опция Rows позволяет создать дополнительные ряды на окружности, концентрической к исходной.

Для создания массива по кривой (ArrayPath) перед началом выполнения команды необходимо задать траекторию, вдоль которой будет происходить копирование. Для создания такого массива необходимо выбрать способ формирования массива (опция Method) – равномерный или неравномерный. Во втором случае нужно задать расстояние, на котором от начала линии копируются объекты. Опция Items позволяет изменить число элементов массива. С помощью опции Align items можно управлять поворотом при размещении исходных объектов вдоль траектории. Если траектория трехмерная (неплоская), то управление углом поворота объектов осуществляется с помощью опции Z direction. Опция Tangent direct позволяет учитывать касательную к траектории при размещении исходных объектов. На рис. 5.12 показаны возможности создания и редактирования массива по траектории. Вкладка массива по траектории показана на рис. 5.13.



**Рис. 5.12. Возможности создания и редактирования кругового массива**

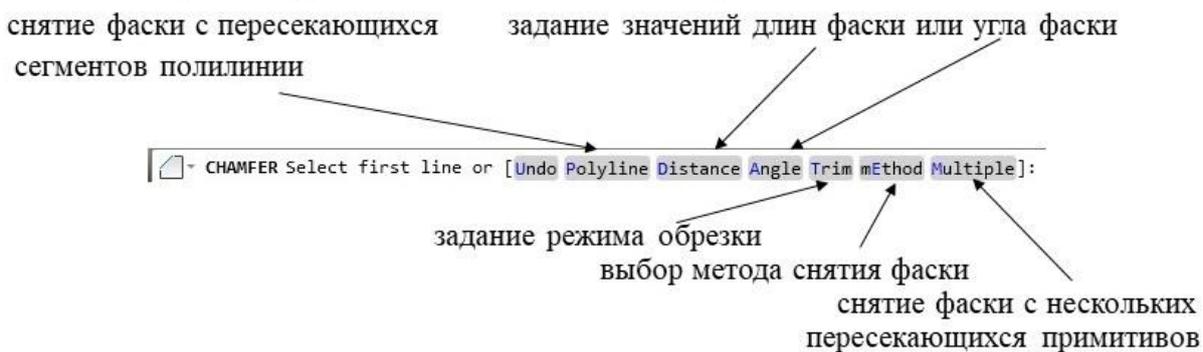


**Рис. 5.13. Вкладка создания массива по траектории**

### 5.3. Команда снятия фаски и команда создания скругления

Команда Chamfer позволяет выполнить обрезку прямолинейных сегментов (примитивы - луч, отрезок, прямая или линейные сегменты полилинии). Команда Chamfer может быть вызвана с помощью кнопки .

Команда в своем диалоге имеет несколько опций. Диалог команды Chamfer с расшифровкой опций показан на рис. 5.14.



**Рис. 5.14.** Диалог команды Chamfer

С помощью команды Chamfer можно выполнить снятие фаски в двух режимах (опция method) - указание двух длин (Distance) или одной длины и угла (Angle), под которым строится другой отрезок фаски по отношению к первому сегменту. После обращения к команде необходимо проверить параметры фаски, т.е. значение длин обрезаемых углов, в случае работы в первом режиме команды, либо значение одной длины и угла в случае второго режима выполнения команды. Если параметры удовлетворяют, то можно перейти к выбору сегментов. В противном случае необходимо поменять параметры с помощью опций – Distance или Angle. Опция Trim позволяет обрезать исходные сегменты или оставить их в чертеже (No trim). Опция Multiple позволяет выполнять фаску не один раз, а работать в цикле, до тех пор пока не будет завершена работа команды. При выполнении команды с использованием этой опции можно с помощью опции Undo отменить последнюю операцию снятия фаски, выполняемую в цикле. Опция Polyline позволяет снять фаску сразу со всех пересекающихся сегментов полилинии. Например, если это прямоугольник, то фаска будет снята со всех углов прямоугольника.

Команда Fillet очень похожа по своему диалогу на команду Chamfer. Эта команда может быть вызвана с помощью кнопки . С помощью команды Fillet выполняется сопряжение (скругление) примитивов с помощью дуги заданного радиуса. На рис. 5.14 показан диалог команды Fillet.



**Рис. 5.14.** Диалог команды Fillet

Как видно из диалога команды, при ее выполнении необходимо задать значение радиуса сопряжения (опция Radius). Все остальные опции совпадают и выполняют те же функции, что соответствующие опции команды Chamfer.

## 5.4. Команды редактирования полилиний и сплайнов

Команды редактирования полилиний и сплайнов могут быть вызваны из панели инструментов MODIFY II: редактирование полилинии вызывается с помощью кнопки , а редактирование сплайнов с помощью кнопки . Эти команды также могут быть вызваны из командной строки (Pedit и Splinedit) и из падающего меню.

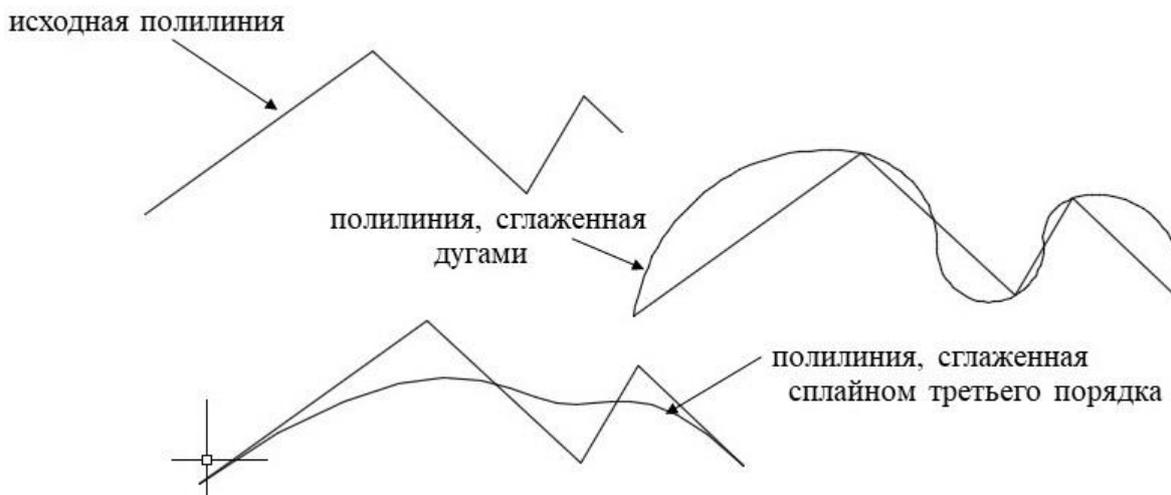
Рассмотрим возможности команды редактирования полилиний. На рис. 5.15 показан диалог команды редактирования полилинии.



Рис. 5.15. Диалог команды редактирования полилиний Pedit

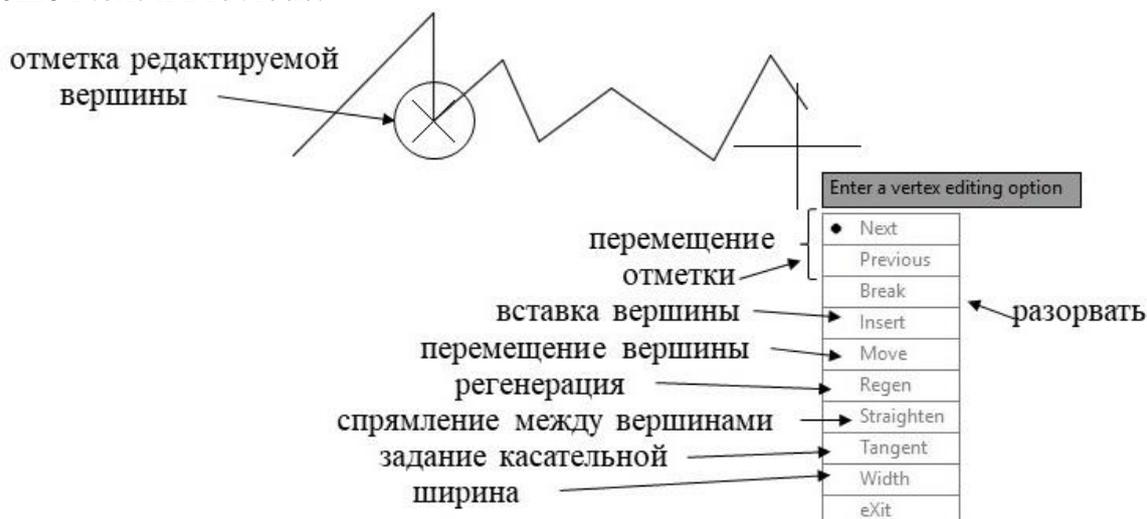
С помощью команды Pedit можно замкнуть полилинию, если она была разомкнута. В том случае, если полилиния была замкнута, то в диалоге команды вместо опции Close появляется опция Open, что позволяет разомкнуть полилинию. Важное значение имеет опция Join, которая позволяет добавить сегменты к исходной полилинии. С помощью этой команды можно изменить ширину полилинии (Width), изменить направление полилинии (Reverse), изменить тип сегментов полилинии (Ltype gen).

Важной функцией команды Pedit является возможность сглаживания (аппроксимации) полилинии дугами (Fit) или кривыми - В-сплайнами второго или третьего порядка, так называемыми сплайнами (Spline). В результате выполнения этих опций полилиния представляет собой гладкую кривую. На рис. 5.16 показан результат сглаживания полилинии дугами и сплайнами.



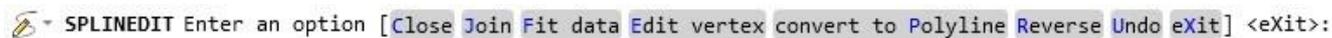
**Рис. 5.16. Результат сглаживания полилинии дугами и сплайнами**

Опция **Edit vertex** позволяет редактировать вершины полилинии (изменять полигон будущей аппроксимирующей кривой). С помощью этой опции можно добавлять, удалять и перемещать вершины. Также данная команда позволяет разрывать полилинию на две; спрямлять участки полилинии в результате соединения двух не рядом стоящих вершин. Выбор той или иной возможности этой опции происходит через дополнительное меню, которое показано на рис. 5.17. Управление перемещением вершин происходит с помощью опций дополнительного меню **Next** и **Previous**.



**Рис. 5.17. Дополнительное меню опции Edit vertex**

Перейдем к рассмотрению возможностей команды редактирования сплайнов – Splinedit. После выбора команды необходимо выделить редактируемый сплайн. После этого появляется главное меню, показанный на рис. 5.18



**Рис. 5.18. Главное меню команды Splinedit**

Из рис. 5.18 видно, что некоторые опции команды Splinedit совпадают с опциями команды Pedit (Join, Close, Reverse). Опция Fit date позволяет перейти к редактированию управляющих точек сплайна, а опция Edit vertex к редактированию управляющих вершин. Опция convert to Polyline преобразует сплайн в полилинию.

Рассмотрим редактирование сплайна в режиме изменения определяющих точек. При работе в этом режиме происходит пересчет NURBS кривой при изменении положения точек, через которые кривая должна проходить. На рис. 5.19 показан диалог команды Splinedit в рассматриваемом режиме.

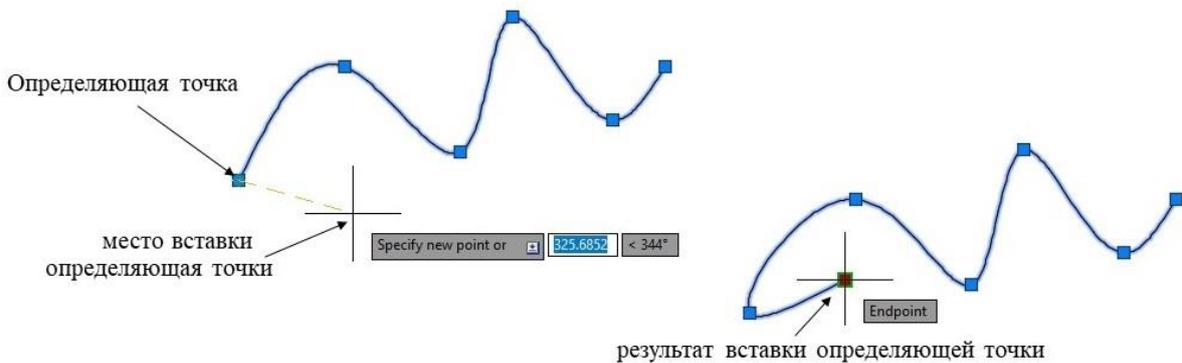


**Рис. 5.19. Диалог команды Splinedit в режиме редактирования определяющих вершин**

Рассматриваемый режим редактирования позволяет добавлять (Add), перемещать (Move) и удалять (Delete) определяющие точки. С помощью опции Kink можно изменить гладкость сплайна – добавить излом в какой-либо точке. В этом случае нарушается главное свойство сплайна – гладкость, другими словами, вместо одной кривой появляется две кривые,

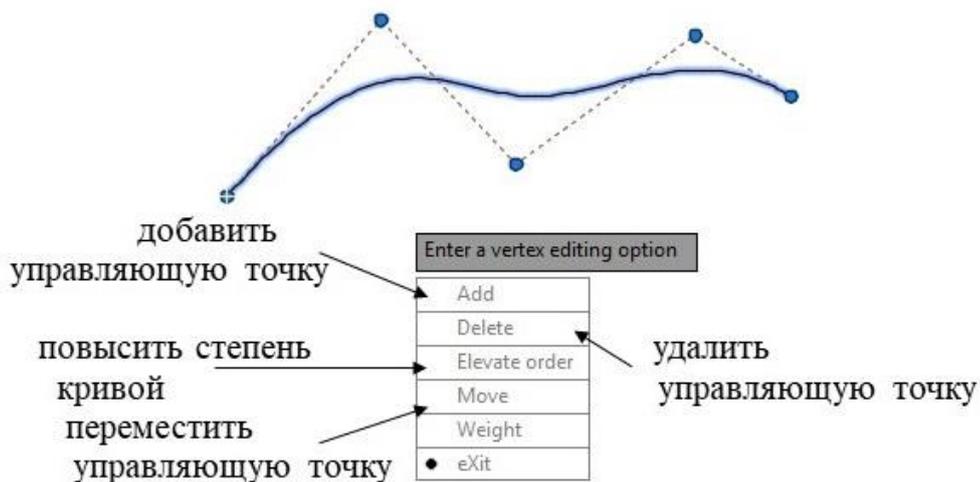
имеющие общую точку. Опция Tangents позволяет изменить положение касательных в первой и последней точке кривой. Точность аппроксимации кривой, т.е. отклонение кривой от определяющих точек, задается с помощью опции tolerance. В этом случае происходит пересчет NURBS кривой путем изменения весов, влияющих на положение кривой по отношению к определяющим точкам.

На рис. 5.20 показано изменение кривой при добавлении определяющей точки (Add).



**Рис. 5.20. Изменение кривой при вставке определяющей точки**

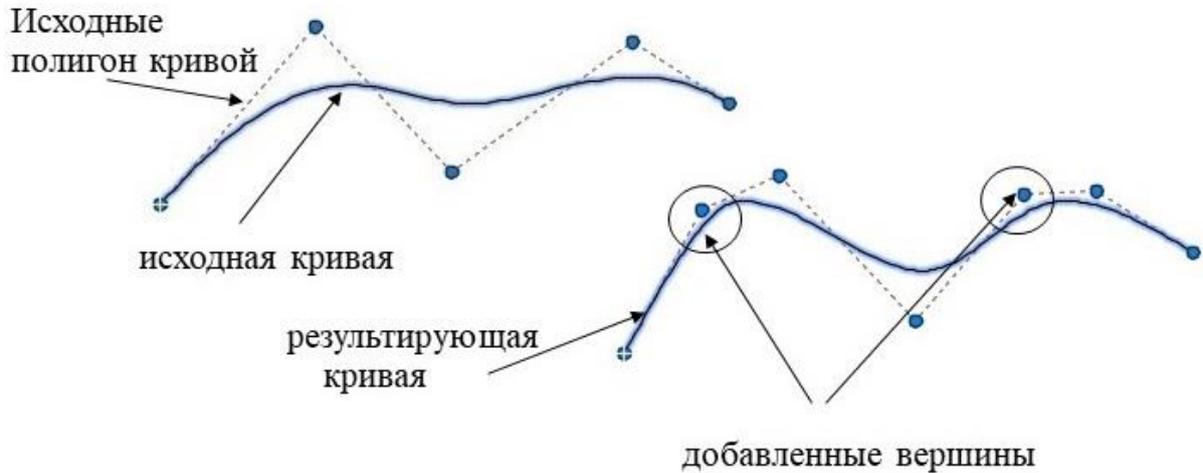
Выбор в главном меню команды Splinedit опции Edit vertex позволяет редактировать сплайн, изменяя полигон кривой, т.е. управляющие вершины. Подменю этой опции показано на рис. 5.21.



**Рис. 5.21. Подменю команды Splinedit – редактирование управляющих вершин**

В этом режиме можно добавлять (Add), удалять (Delete) и перемещать (Move) управляющие вершины, принадлежащие полигону

кривой. На рис. 5.21. после выполнения каждой из этих операций, происходит пересчет и построения кривой с учетом нового полигона. На рис. 5.22. показан результат пересчета кривой после добавления управляющей вершины (точки полигона кривой).



**Рис. 5.22. Результат редактирования кривой при добавлении управляющих вершин**

С помощью опции Elevate order можно повысить степень аппроксимирующего многочлена (повысить порядок кривой). Порядок кривой может принимать значения от 4 до 26. При выполнении этой операции происходит изменение точек полигона (управляющих вершин) и, соответственно, пересчет результирующей кривой. На рис. 5.23 показан результат построения кривой при изменении ее порядка с четвертого на восьмой.



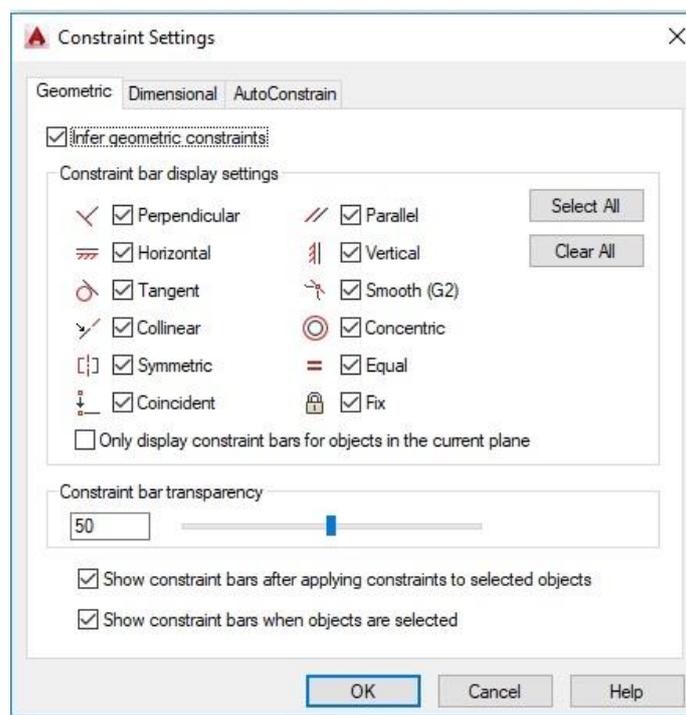
**Рис. 5.23. результат пересчета кривой при увеличении ее порядка**

## 6. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В AUTOCAD

В настоящее время в геометрических моделлерах современных САПР обязательно присутствуют параметрические модели. Известны различные типы параметризации: вариационная, геометрическая, иерархическая и табличная параметризации [4]. Пробразом параметрических моделей в ранних версиях AutoCAD можно считать геометрические зависимости, создаваемые объектной привязкой (Object Snap). Начиная с версии 2010, AutoCAD поддерживает параметризацию в явном виде: в системе присутствует наложение зависимостей и ограничений на двумерные примитивы и объекты, а также есть параметры при простановке размеров [1,2].

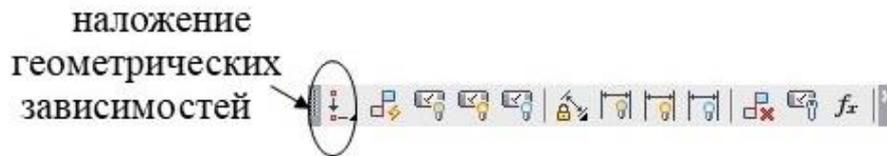
В данных методических материалах рассмотрим возможности AutoCAD для создания зависимостей и ограничений в двумерных геометрических моделях. Параметризация этого типа является геометрической, т.к. позволяет наложить на объекты двумерной модели геометрические зависимости, накладывающие ограничения на взаимное расположение примитивов и групп примитивов в двумерной модели. Это зависимости типа: сохранять параллельность, перпендикулярность, касание и т.п.

Типы таких зависимостей, которые можно использовать при создании модели, можно предварительно задать в диалоговом окне – Constraint Setting (Настройка зависимостей) (рис.6.1).

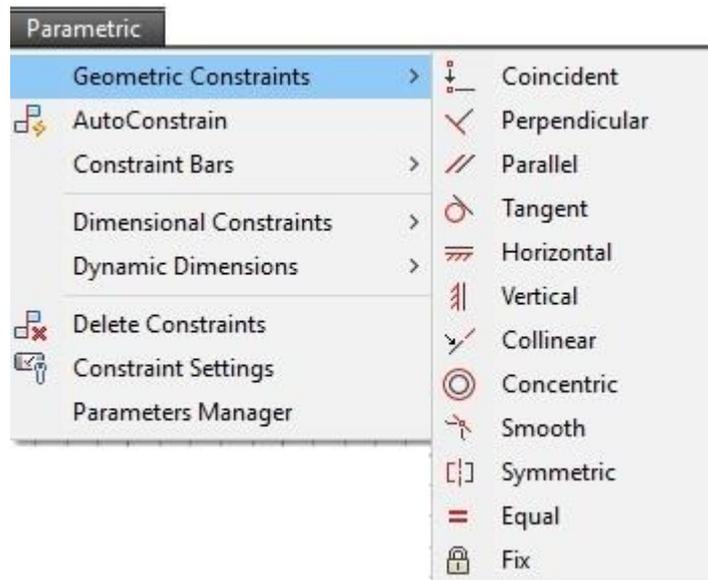


**Рис. 6.1. Диалоговое окно «Настройка зависимостей»**

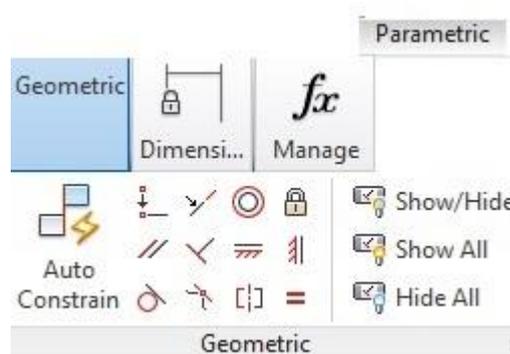
После установки возможных геометрических зависимостей можно нанести эти зависимости на элементы двумерной модели, используя панель инструментов PARAMETRIC (рис. 6.2), кнопку падающего меню с таким же названием (рис. 6.3) или панель Geometric вкладки PARAMETRIC ленточного меню (рис. 6.4).



**Рис. 6.2. Панель инструментов Parametric**



**Рис. 6.3. Задание геометрических зависимостей в падающем меню**



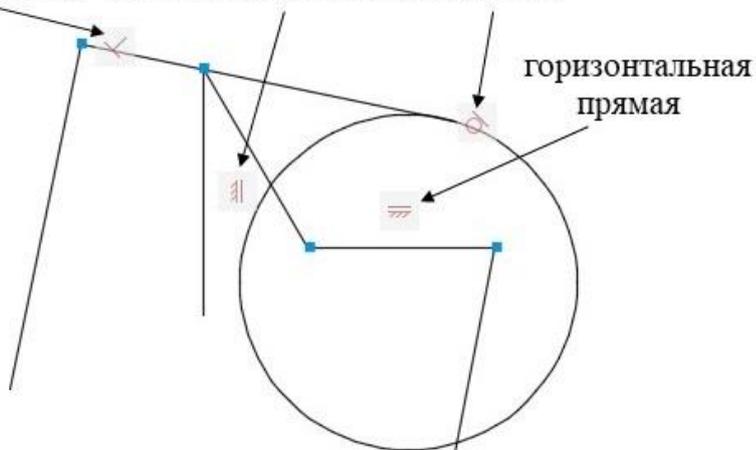
**Рис. 6.4. Задание геометрических зависимостей в ленточном меню**

Если флажок  (Inferred geometric constrain - подразумеваемые геометрические зависимости) в строке состояния включен, AutoCAD сам накладывает подразумеваемые (очевидные) геометрические зависимости на составляющие двумерной модели.

После задания геометрических зависимостей двумерная модель становится параметрической. При редактировании такой модели в системе учитываются созданные геометрические модели. Если некоторые из наложенных геометрических зависимостей не позволяют выполнить необходимые операции редактирования, то эти геометрические зависимости могут быть легко удалены. На рис. 6.5. показан двумерный чертеж, на который наложены геометрические зависимости.

геометрические зависимости:

перпендикулярность, вертикальная прямая, касание,



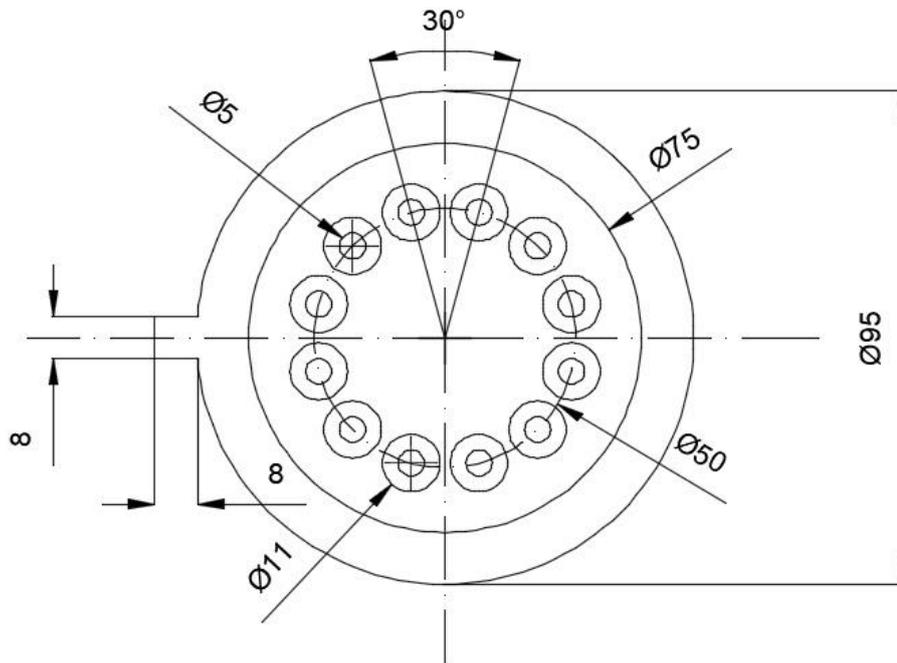
**Рис. 6.5. Двумерный чертеж с наложенными геометрическими зависимостями**

Другие возможности создания параметрических моделей в данных методических материалах не рассматриваются.

## **7. ПРИМЕРЫ СОЗДАНИЯ ДВУМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ В AUTOCAD**

### **7.1. Построение модели с использованием команды Array (Circle)**

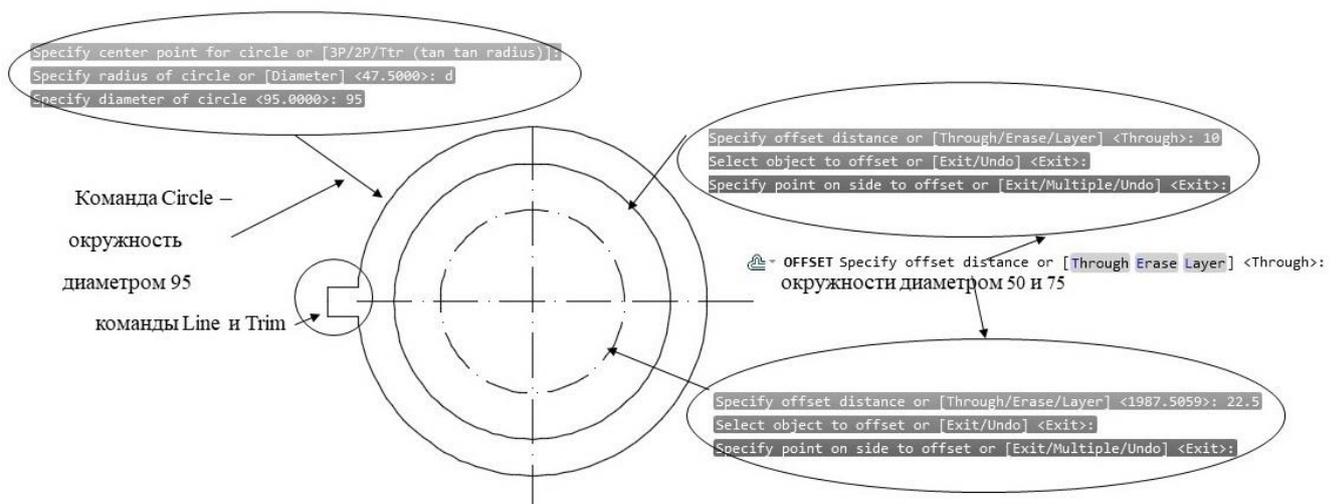
Рассмотрим этапы построения двумерной модели, показанной на рис.7.1.



**Рис. 7.1. Двумерная модель, в построении которой используется команда Array (Circle)**

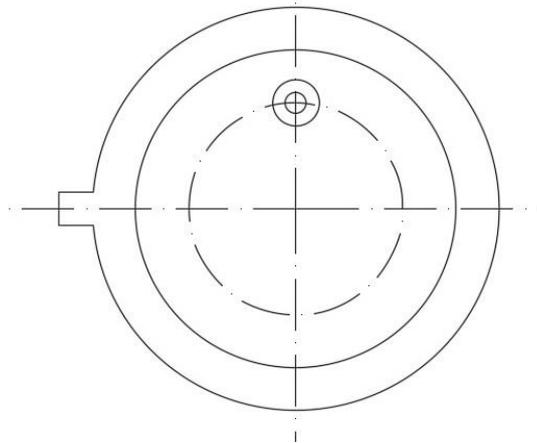
Для создания этой модели используются команды группы команд DRAW (панели DRAW вкладки HOME ленточного меню) – Circle, Line; команды группы команд MODIFY (панели MODIFY вкладки HOME ленточного меню) - Trim, Offset, Rotate, Array (Circle). Рассмотрим последовательно этапы создания этой модели.

Первым шагом при создании данной двумерной модели – является отрисовка окружности диаметром 95 с помощью команды Circle и двух окружностей диаметром 50 и 75 с помощью команды Offset, а также с помощью команды Line и Trim выполняется отрисовка прямоугольника, сопряженного с большей окружностью. На рис. 7.2. показан результат выполнения этих команд.



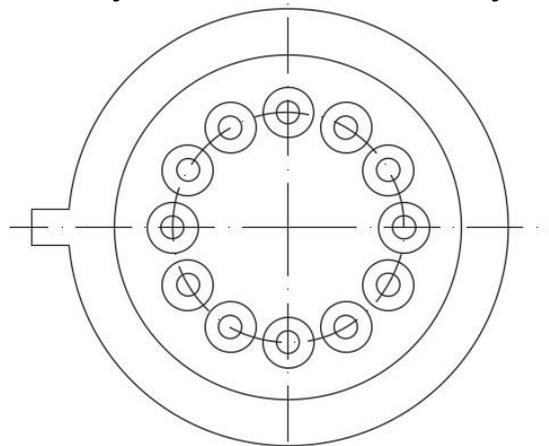
**Рис. 7.2. Создание заготовки для двумерной модели рис.7.1**

Следующим шагом является отрисовка двух концентрических окружностей диаметром 5 и 11 соответственно на пересечении вертикальной осевой линии и окружности диаметром 50 (рис.7.3).



**Рис. 7.3. Окружности, используемые в команде Array (Circle)**

Выполнение команды Array (опция Circle) – копирование по окружности позволяет получить модель, показанную на рис.7.4.



**Рис. 7.4. Результат выполнения команды Array (Circle)**

Параметры массива можно задавать в командной строке (рис.7.5) или в вкладке - Создание массива (рис.7.6).

```
Specify angle between items:  
Select grip to edit array or [ASsociative/Base point/Items/Angle between/Fill angle/ROWS/Levels/ROTate items/eXit]<eXit>:  
Select grip to edit array or [ASsociative/Base point/Items/Angle between/Fill angle/ROWS/Levels/ROTate items/eXit]<eXit>:  
ARRAYPOLAR Select grip to edit array or [ASsociative Base point Items Angle between Fill angle ROWs Levels ROTate items  
eXit]<eXit>:
```

**Рис. 7.5. Задание параметров массива в командной строке**



Рис. 7.6. Задание параметров массива (Circle) во вкладке – Создание массива

Для получения окончательного результата моделирования, показанного на рис.7.1., необходимо выполнить команду Rotate элементов массива на 15 градусов. Диалог команды Rotate в данном примере показан на рис.7.7.

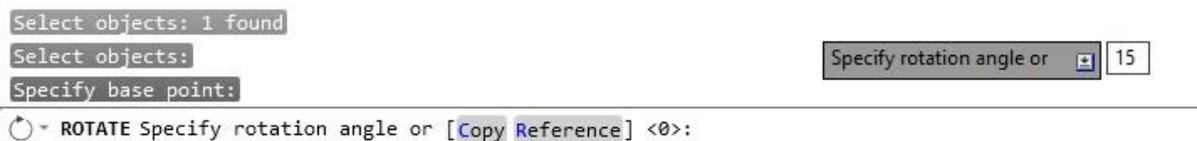


Рис. 7.7. Диалог команды Rotate

## 7.2. Построение модели с использованием команды Array (Rectangular)

Теперь перейдем к рассмотрению этапов построения двумерной модели, показанной на рис. 7.8.

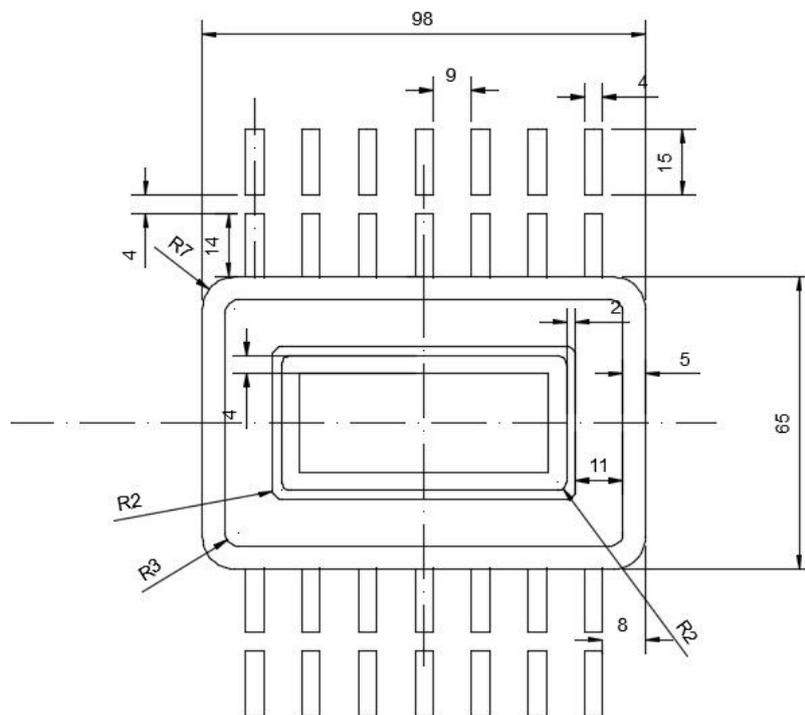
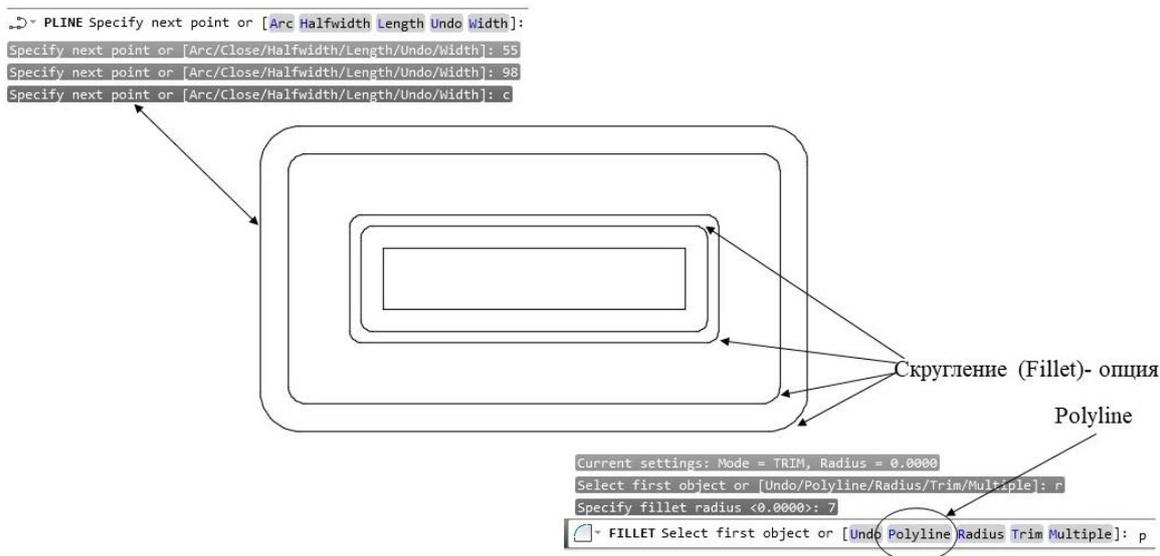


Рис. 7.8. Двумерная модель, в построении которой используется команда Array (Rectangular)

Для создания этой модели используются команды группы DRAW (панели DRAW вкладки HOME ленточного меню) – Pline, Line; команды группы команд MODIFY (панели MODIFY вкладки HOME ленточного меню) - Offset, Fillet (Pline), Array (Rectangular), Mirror. Рассмотрим последовательно этапы создания этой модели.

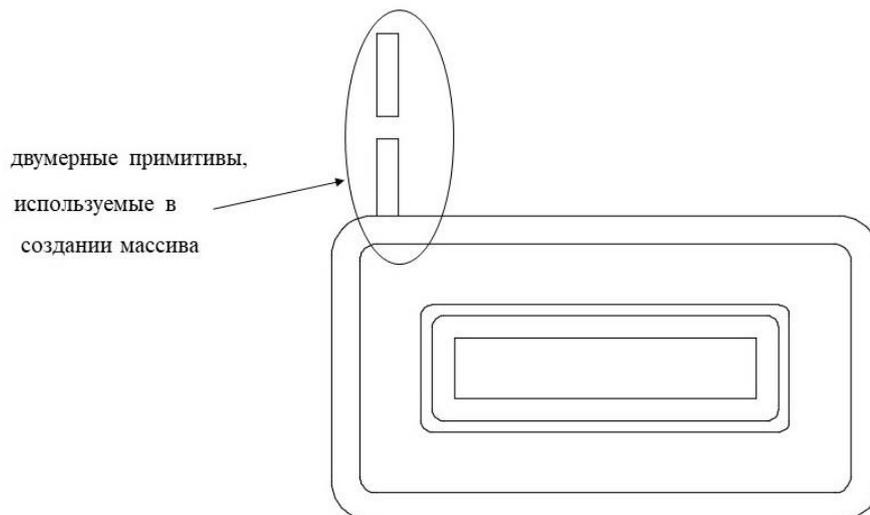
На первом шаге необходимо с помощью команды Pline отрисовать прямоугольник размером 56x98. Для выполнения этого шага можно также использовать команду Rectangular. При отрисовке прямоугольника с помощью команды Pline нужно обязательно использовать опцию Close (замкнуть). Это необходимо для того, чтобы в дальнейшем можно было использовать команду скругления – Fillet, применяя опцию Polyline для выполнения скругления по всем углам прямоугольника.

После отрисовки первого прямоугольника, можно воспроизвести и все другие прямоугольники, используя команду Offset. Скругление нужно делать только после того, как будут созданы все прямоугольники. Все вышеперечисленные шаги показаны на рис. 7.9.



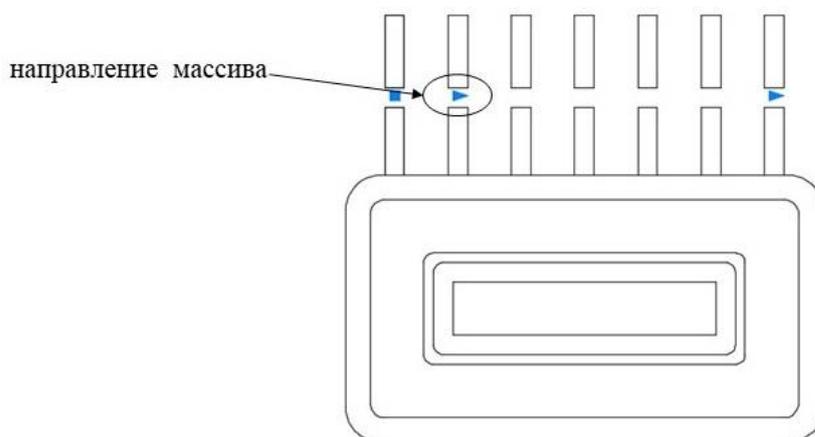
**Рис. 7.9. Прямоугольники и скругление их углов**

Следующий шаг – подготовка к выполнению команды копирования в массив Array по прямоугольнику (опция Rectangular). На этом этапе с помощью команды Line необходимо создать два прямоугольника, показанные на рис. 7.10.



**Рис. 7.10. Примитивы, участвующие в создании массива**

Для создания прямоугольного массива необходимо воспользоваться командой Array (Rectangular). Массив состоит из семи столбцов, расстояние между которыми – 13, и одной строки. Вся эта информация отражается во вкладке – Создание массива. На рис.7.11 показан результат выполнения команды Array и вкладка – Создание массива.



**Рис. 7.11. Выполнение команды Array (Rectangular)**

Для построения заданной двумерной модели необходимо выполнить зеркальное отражение полученного массива относительно оси - отрезка прямой, проходящей через середины боковых сторон прямоугольника (рис.7.12).

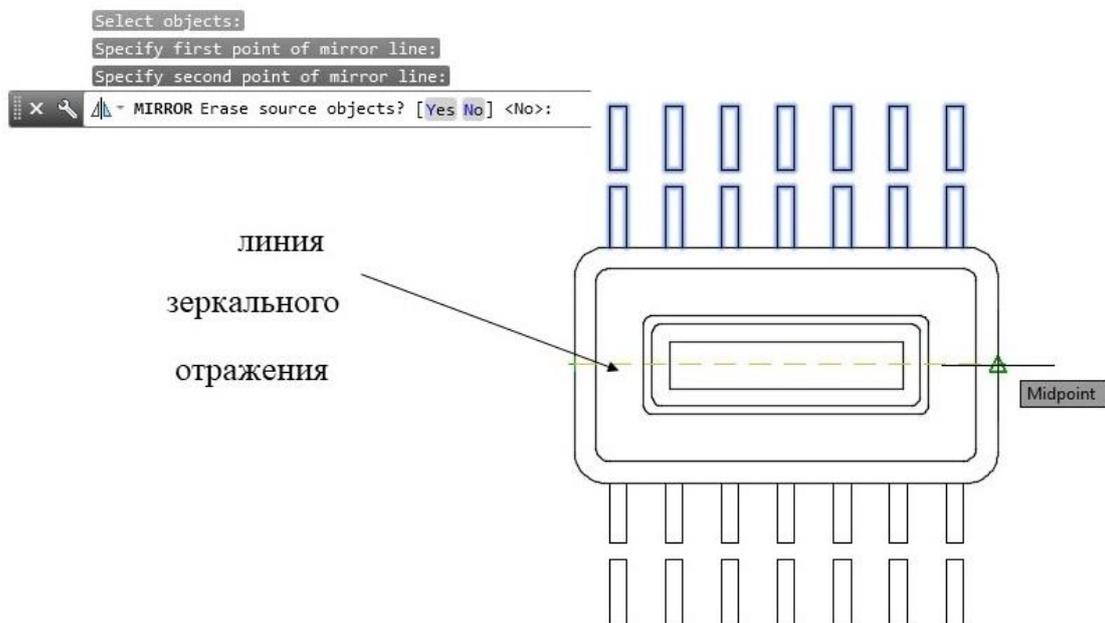
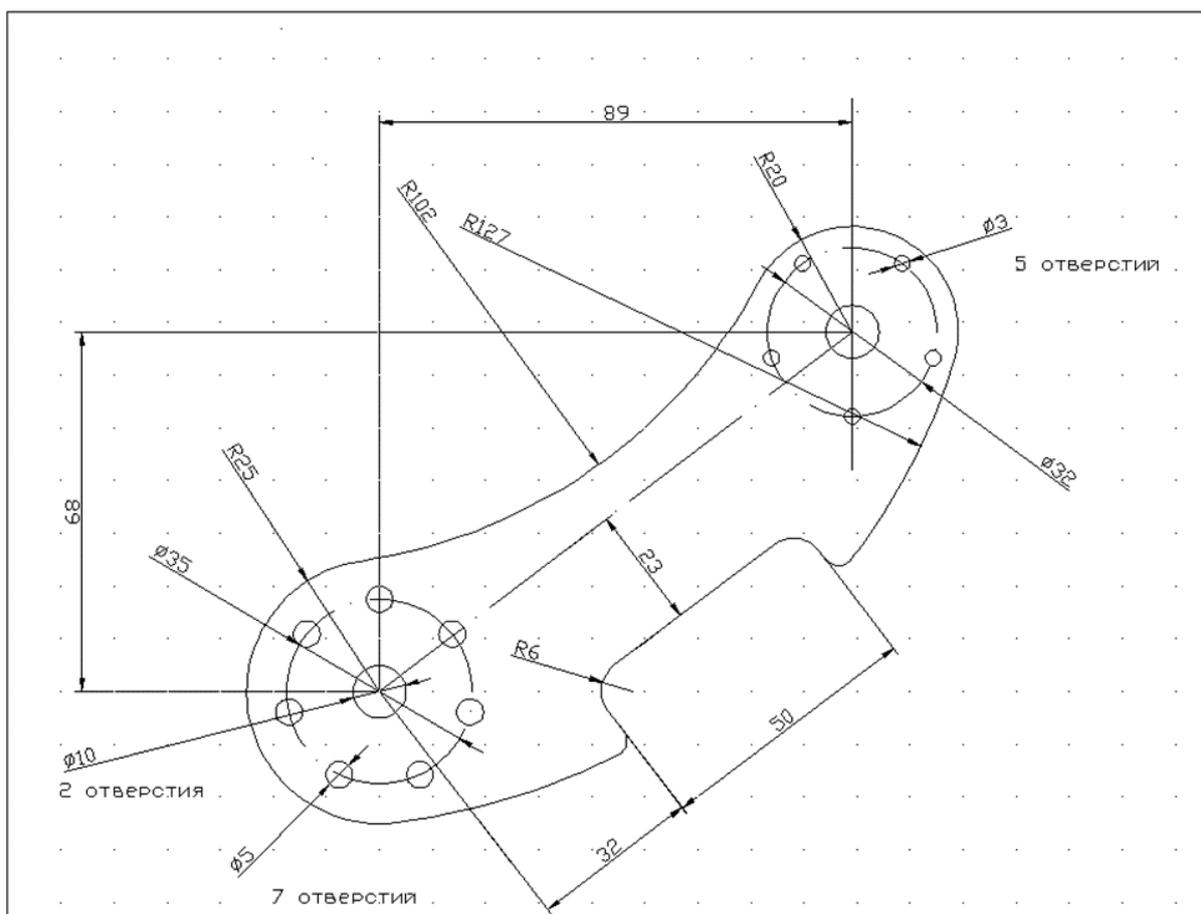


Рис. 7.12. Зеркальное отражение массива с помощью команды Mirror

### 7.3. Построение сопряжений с использованием команды Circle (TTR, TTT)

В этом разделе рассмотрим более сложный пример построения двумерной модели, в котором совмещены уже освоенные приемы построения с использованием команд Circle, Line (панель DRAW вкладки HOME ленточного меню); команд Trim, Offset, Rotate, Array (Circle) (панель MODIFY вкладки HOME ленточного меню), с дополнительными возможностями построения кривых сопряжения с помощью команды Circle с использованием опций– тангенс, тангенс, радиус (Tan, Tan, Radius) и тангенс, тангенс, тангенс (Tan, Tan, Tan). Такая двумерная модель приведена на рис. 7.13.



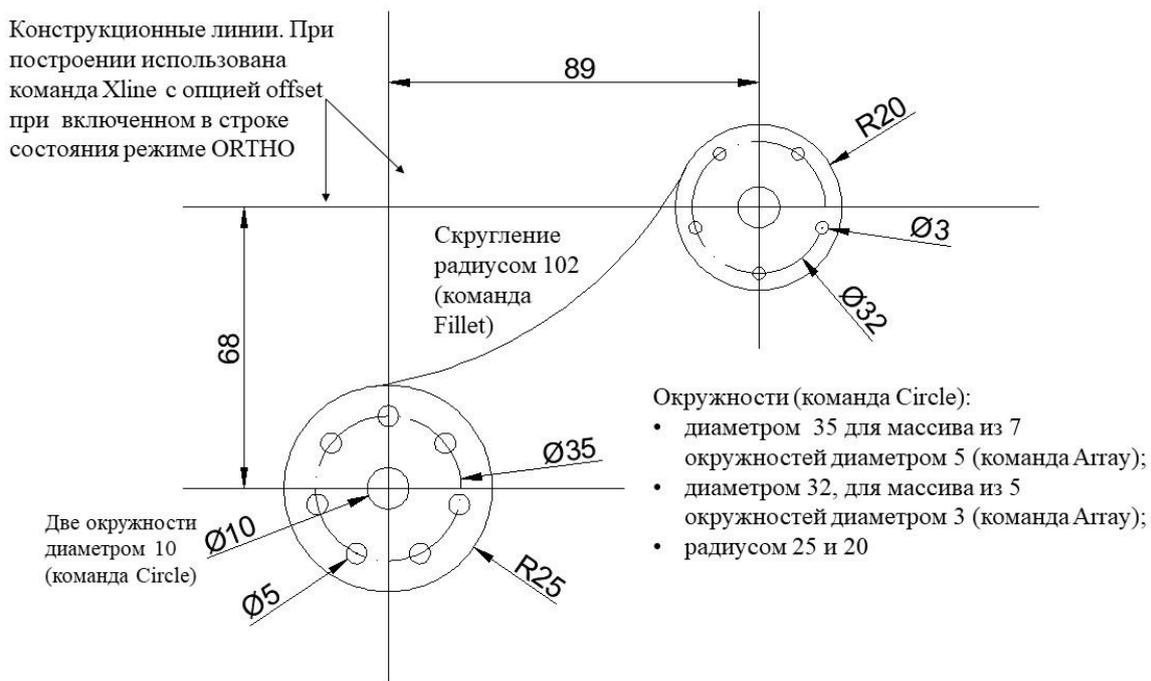
**Рис. 7.13. Двумерная модель, в построении которой используется команда **Circle (Tan, Tan, Radius)****

После внимательного изучения данной модели предлагается следующий сценарий ее построения, состоящий из последовательного выполнения команд группы DRAW (панели DRAW вкладки HOME ленточного меню) – Circle, Line; команд группы MODIFY (панели MODIFY вкладки HOME ленточного меню) - Trim, Offset, Array (Circle), который по пунктно представлен на рис. 7.14. Все перечисленные команды уже были описаны выше, однако в данном примере следует особое внимание уделить такому построению сопрягающей кривой, когда желаемый результат достигается за счет построения окружности Circle по касательной к двум существующим в модели объектам и значению ее радиуса (опция Circle - Tan, Tan, Radius) с последующей обрезкой (Trim) в точках касания окружности. Это построение будет подробно рассмотрено в пункте 4 предложенного сценария.



линий (панель PROPERTIES вкладки HOME). Процесс построения концентрических окружностей и кругового массива подробно рассмотрен в разделе 7.1. В данном проекте строим два круговых массива (7 окружностей диаметром 5 по окружности диаметром 35 и 5 окружностей диаметром 3 по окружности диаметром 32).

В пункте 3 сценария построим скругление радиусом R102 (команда Fillet - панель MODIFY вкладки HOME ленточного меню). Обращаем ваше внимание, что при первом использовании команды радиус скругления равен 0. Поэтому выполнение команды Fillet следует начать с установки значения радиуса. Далее необходимо выбрать объекты, которые сопрягаются дугой окружности. Обратите внимание, что окружности радиусами 20 и 25 нужно указывать в том квадранте, где предполагается точка касания скругления и окружности. Промежуточный результат построения чертежа в соответствии с пунктами 1 – 3 сценария представлен на рис. 7.15.

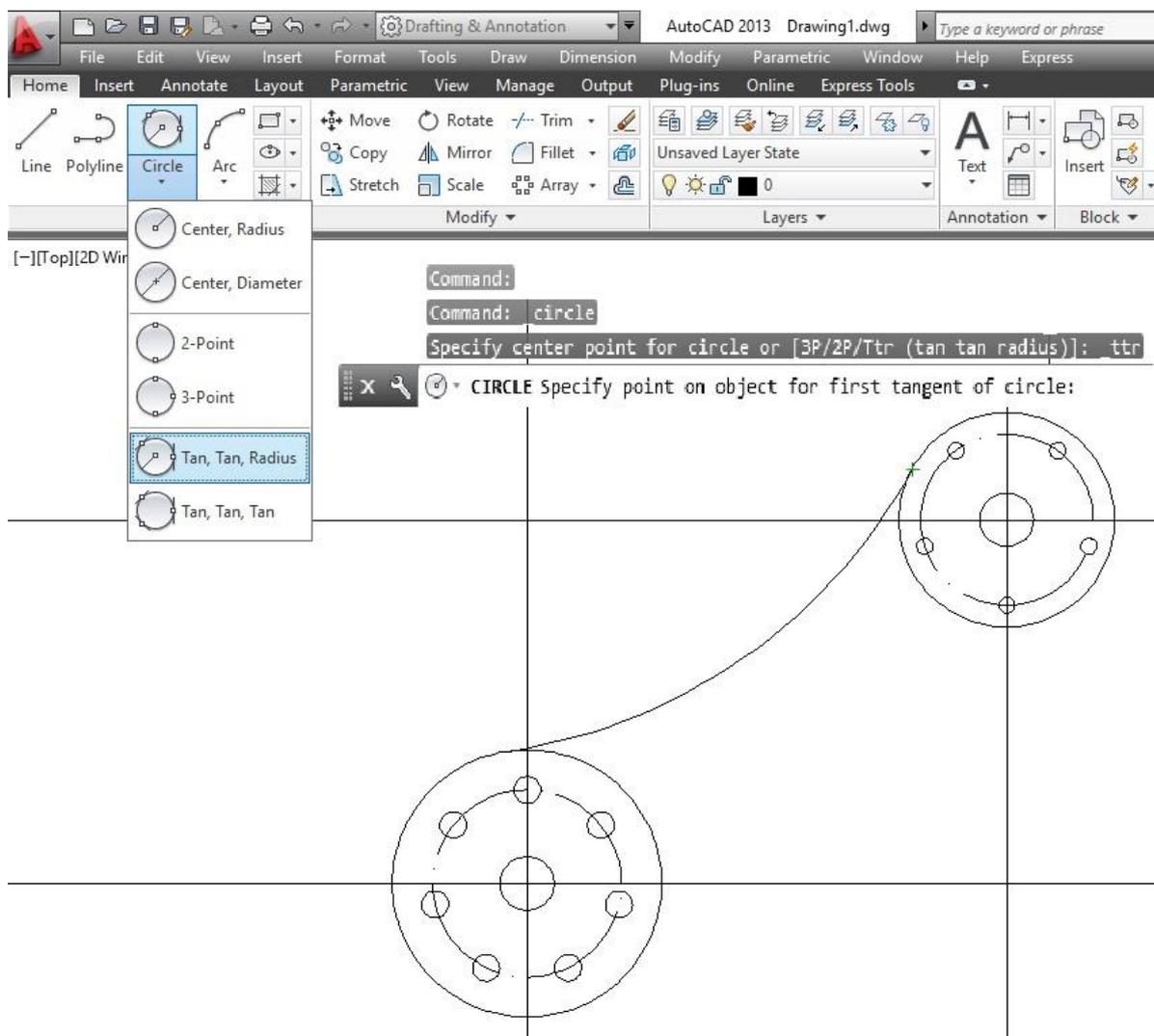


**Рис. 7.15. Промежуточный результат построения модели – использование команд Circle, Array (Polar), Fillet**

В пункте 4 реализуемого сценария в данном проекте осуществляется построение дуги радиусом R127, по касательной сопрягающей две ранее построенные окружности R25 и R20 соответственно. Следует отметить, что попытка справиться с этой задачей с помощью команды Fillet не приведет к требуемому результату. Такие

«выпуклые скругления» придется строить иным способом. Рассмотрим подробнее прием, позволяющий решить эту проблему.

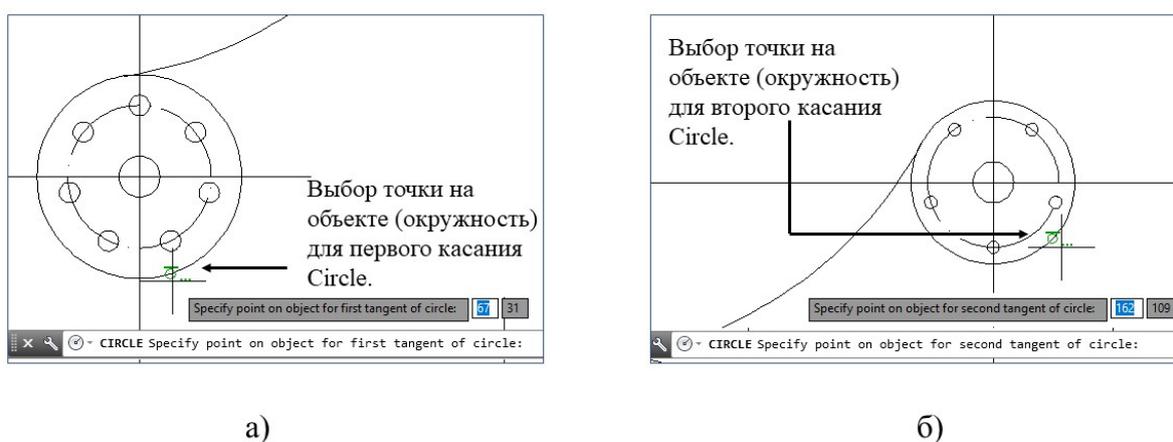
Воспользуемся командой построения окружности с опцией Tan, Tan, Radius. Соответствующее подменю команды Circle и диалог команды для опции TTR представлены на рис. 7.16.



**Рис. 7.16. Команда построения окружности по касательной к двум имеющимся на чертеже объектам и значению радиуса**

Построение окружности по таким параметрам обладает рядом преимуществ и дает пользователю системы дополнительные возможности. Самое главное, что для такого построения не требуется определять позицию центра окружности, достаточно только знать ее радиус и иметь объекты, к которым окружность должна примыкать с соблюдением условия касательности. Это следует из приведенного выше диалога – после выбора опции построения окружности (TTR), система

запрашивает у пользователя точку на объекте первого касания окружности. И здесь очень важно учесть два момента. Во-первых, на этом этапе построения необходимо включить в режимах привязки – объектного отслеживания (Osnap) привязку Tangent (см. рис. 2.19 – кнопка   Tangent ). А во-вторых, при выборе объекта первого касания, в данном случае – окружности, нужно указывать на нее в том квадранте, где это касание предполагается. Поможет нам в этом значок Tangent, динамически отображающийся в процессе выбора в области прицела следящего перекрестия. При невнимательном отношении к указанию можно получить совершенно неожиданный результат. И наконец в-третьих – рекомендуется выбирать точки касания на объектах в порядке, соответствующем направлению вычерчивания окружности, т.е. – против часовой стрелки. И хотя в данном случае результат не зависит от того, в каком порядке выбираются окружности касания, все-таки грамотное построение предполагает сначала выбирать окружность R25, а затем – R20. Последовательность запросов и ответов в диалоге команды Circle (TTR) при выборе точек на объектах касания окружности приведена на рис. 7.17.



**Рис. 7.17. Диалог в команде Circle (TTR) при выборе точек на объектах касания: а) выбор точки на первом объекте; б) выбор точки на втором объекте**

После выбора объектов касания пользователю остается только ввести значение радиуса окружности, после чего процесс построения завершается. Здесь также нужно быть внимательным – попытка ввести радиус, при котором окружность не сможет «коснуться» выбранных на предыдущем этапе объектов, приведет к коллизии и сообщению об

ошибке. На рис. 7.18 показан результат выполнения команды Circle (TTR) после ввода ее радиуса – 127.

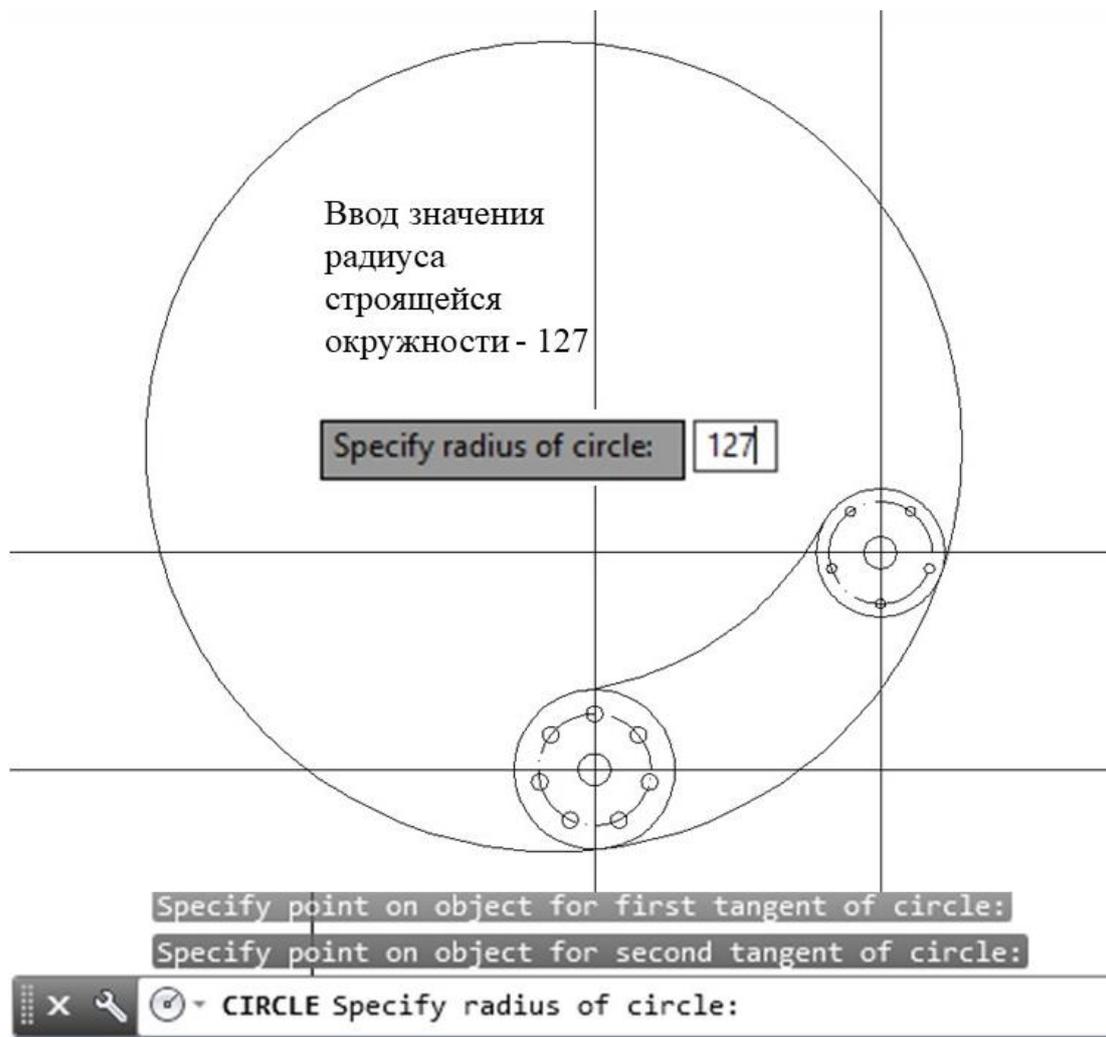
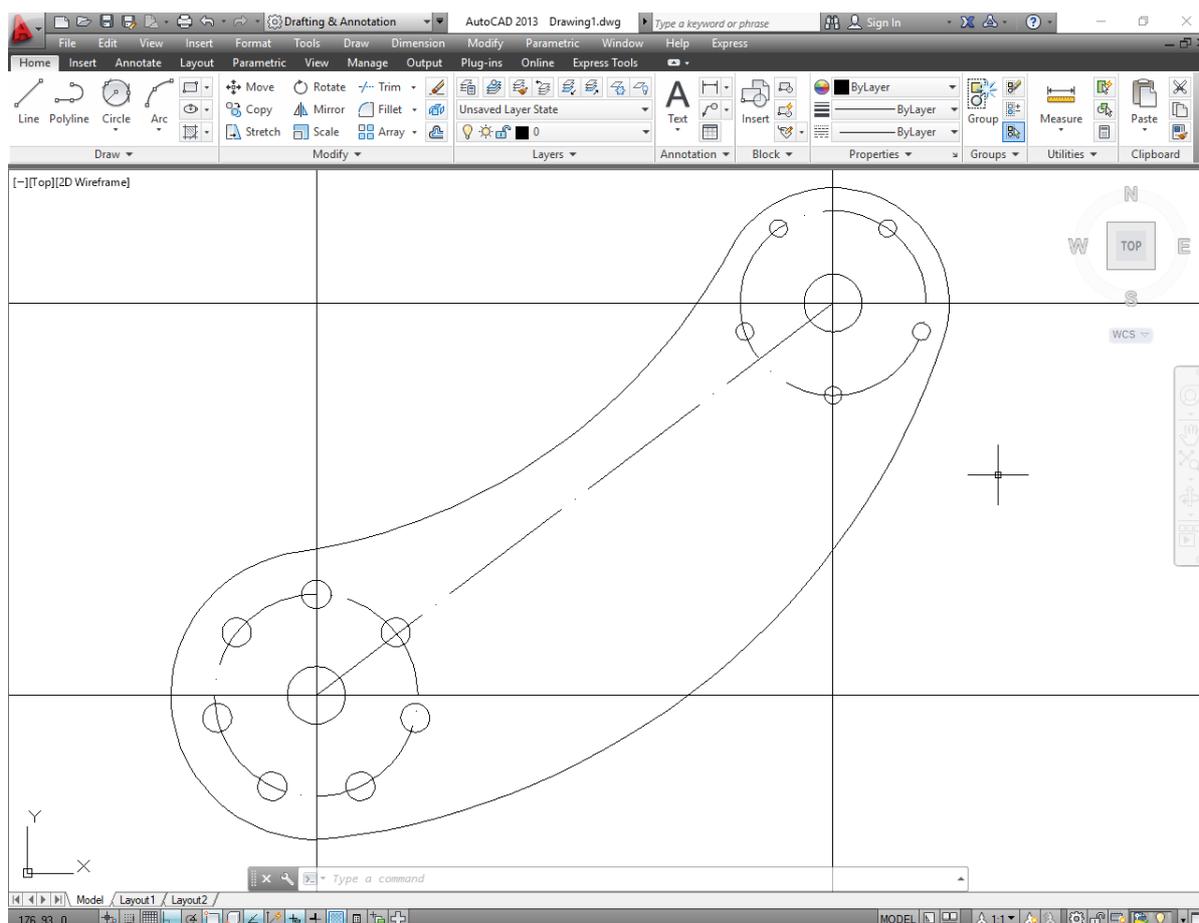


Рис. 7.18. Результат выполнения команды Circle (TTR)

Для того, чтобы завершить 4-й этап сценария, необходимо обработать полученный промежуточный результат, удалив лишние части построенных на предыдущих этапах окружностей. Для этого воспользуемся командой Trim вкладки MODIFY, формат которой подробно описан в разделе 5.1., а диалог пользователя в этой команде приведен на рис. 5.4. Точками, ограничивающими удаляемые фрагменты, являются точки касания окружностей R25 и R20, с дугой скругления R102 и окружностью R127. Таким образом, отвечая на вопрос о секущих кромках, выбираем окружности R25, R20 и R127, а также дугу скругления R102. Выбирая объекты для обрезки (Trim), указываем на окружности R127, R25 и R20 в той части изображения объекта, которая должна быть убрана из чертежа. Результат выполнения 4-ого этапа сценария

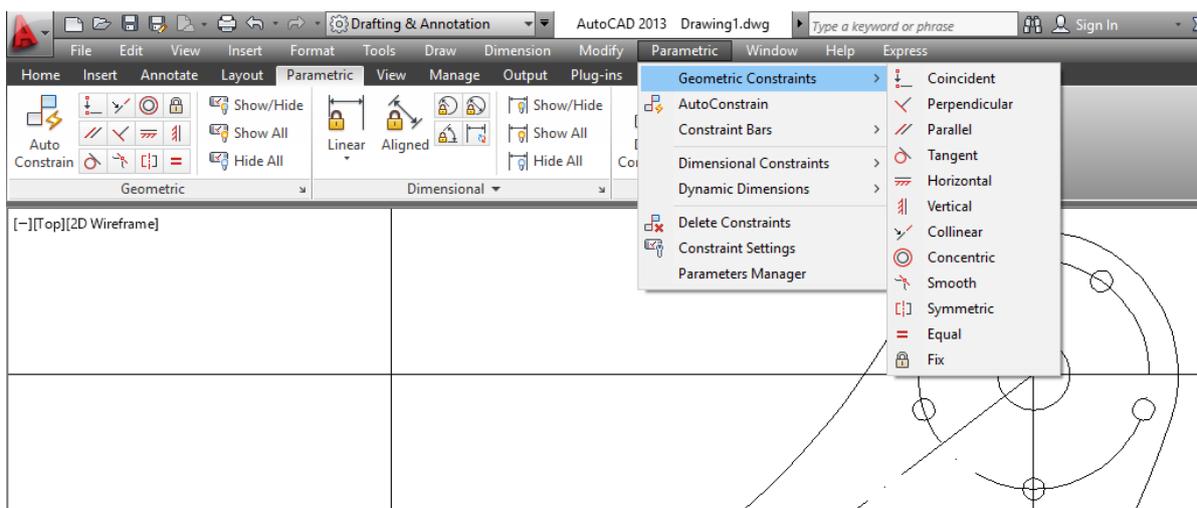
построения рассматриваемой модели представлен на рис. 7.19. Здесь же показана вспомогательная линия (ее легко построить с помощью команды Line, соединяя центры окружностей с использованием необходимых режимов привязки Osnap), относительно которой будут проводиться все необходимые построения последнего, 5-го этапа сценария реализации проекта. Изменим тип этой линии с помощью (опция Linetype панели PROPERTIES вкладки HOME).



**Рис. 7.18. Промежуточный результат выполнения проекта – пункт 4 сценария**

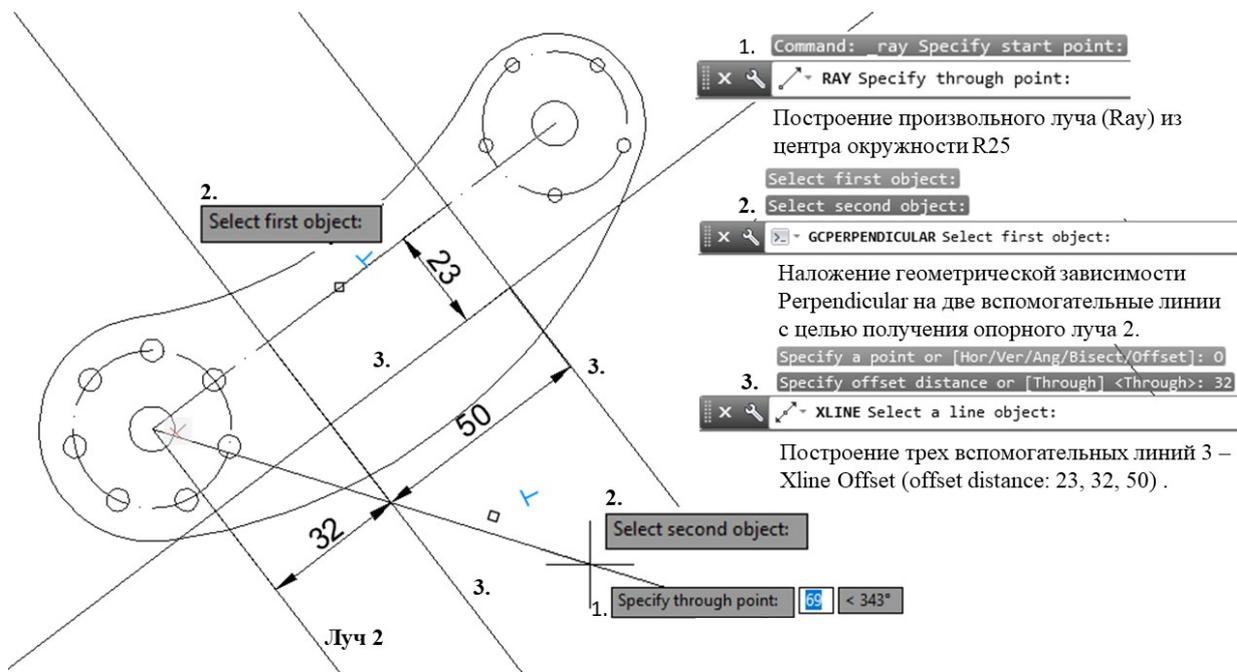
Для реализации последнего этапа сценария нам опять придется воспользоваться вспомогательными линиями – команды Xline и Ray вкладки DRAW. При этом, имея все необходимые данные, для построения «каркаса» в виде полилинии для последующих скруглений R6 (команда Fillet, см. подробное описание в разделе 5.3), следует воспользоваться уже известной нам опцией offset команды Xline. Для построения луча (команда Ray) с началом в центре окружности R25 перпендикулярно

построенной вспомогательной линии воспользуемся инструментарием вкладки PARAMETRIC, которая доступна как из падающего меню (если оно загружено), так и из ленточного меню (вспомним разделы 2 и 6). И в том и другом случае следует использовать группу установок Geometric Constrain → опция Perpendicular. Таким образом можно наложить геометрические зависимости (перпендикулярность) на выбранные линии – вспомогательную между центрами окружностей и лучем, проведенным из центра окружности R25. Где находится и как выглядит описанное меню показано на рис. 7.19.



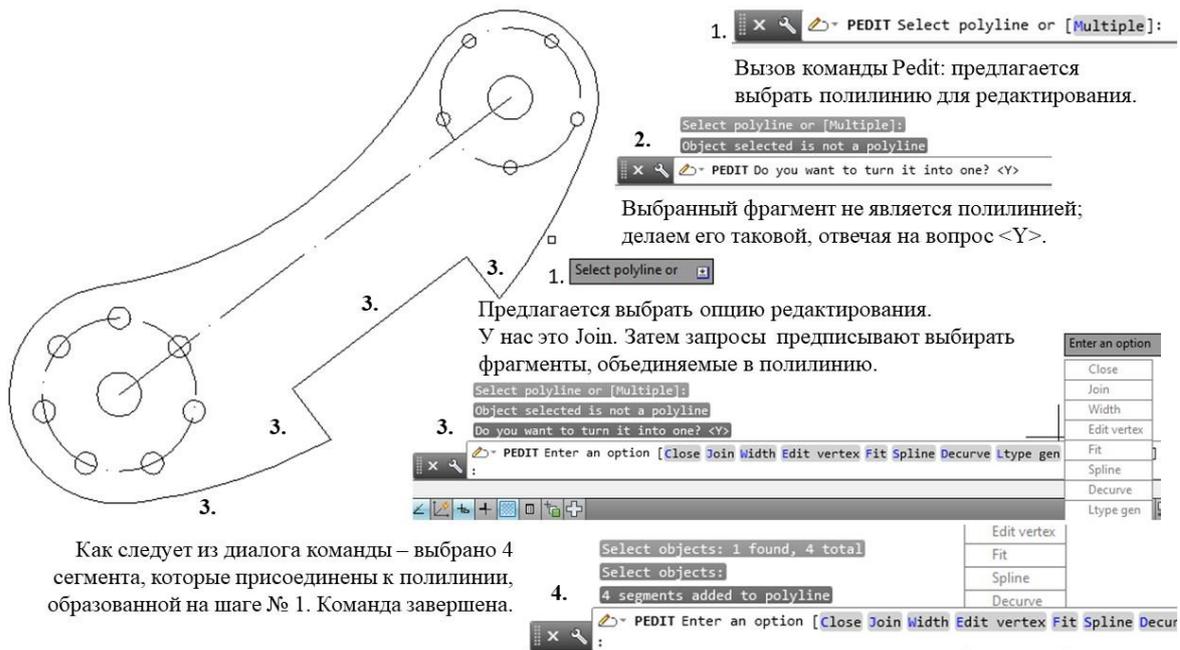
**Рис. 7.19. Возможности задания геометрических зависимостей между элементами чертежа**

Итак, для полноценного выполнения пункта 5 реализуемого сценария, построим несколько конструктивных линий: луч (Ray), точное позиционирование которого получается за счет выбора геометрической зависимости Perpendicular (кнопка  Perpendicular, рис. 7.19) между произвольным лучем, построенным из центра окружности R25, и вспомогательной линией между центрами окружностей R25 и R20; три вспомогательные линии – команда Xline с опцией Offset и известными значениями offset distance. Результат построения и диалог пользователя с командами построения приведены на рис. 7.20.



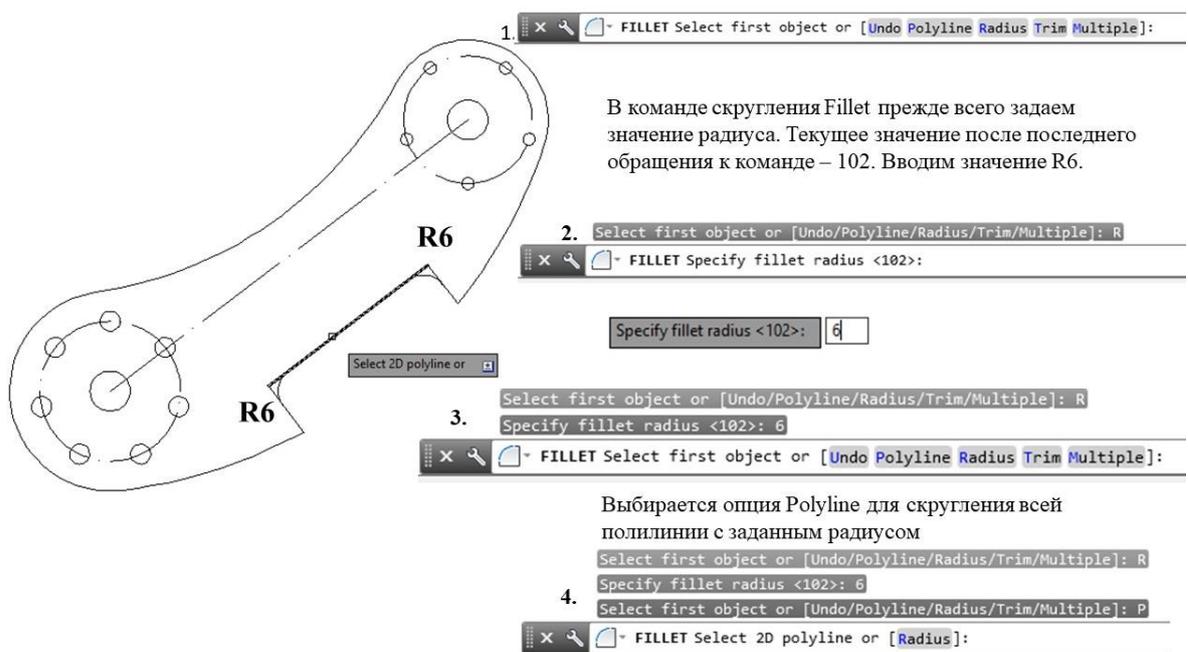
**Рис. 7.20. Подготовительные операции для начала пункта 5 сценария реализации проекта**

На завершающем этапе (пункт 5) сценария (см. рис. 7.14.) необходимо оформить вырез со скругленными углами, основываясь на каркасе, который образуют только что построенные вспомогательные линии. Для максимально эффективного использования команды Fillet для одновременного построения нескольких скруглений одного и того же радиуса, необходимо создать полилинию. Этот объект можно в данном проекте получить разными способами. Предлагается следующая последовательность выполнения команд на завершающем этапе построения. В первую очередь, с помощью команды Trim вкладки MODIFY получаем необходимый каркас: в качестве секущих кромок выбираются вспомогательные линии, построенные на предыдущем этапе, и часть окружности R127. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что в процессе выполнения команды и указания объектов для удаления, может сложиться ситуация, когда некоторые фрагменты утрачивают связь со своим объектом и их удаётся убрать из чертежа только с помощью команды Erase вкладки MODIFY. Затем с помощью команды PEdit (Edit Polyline) вкладки MODIFY необходимо объединить в полилинию полученные после выполнения команды Trim объекты: фрагменты дуги окружности R127 и обрезанных конструкционных линий. На рис. 7.21. приведены результаты выполнения этих команд.



**Рис. 7.21. Подготовка каркаса – полилинии для завершающих операций скругления**

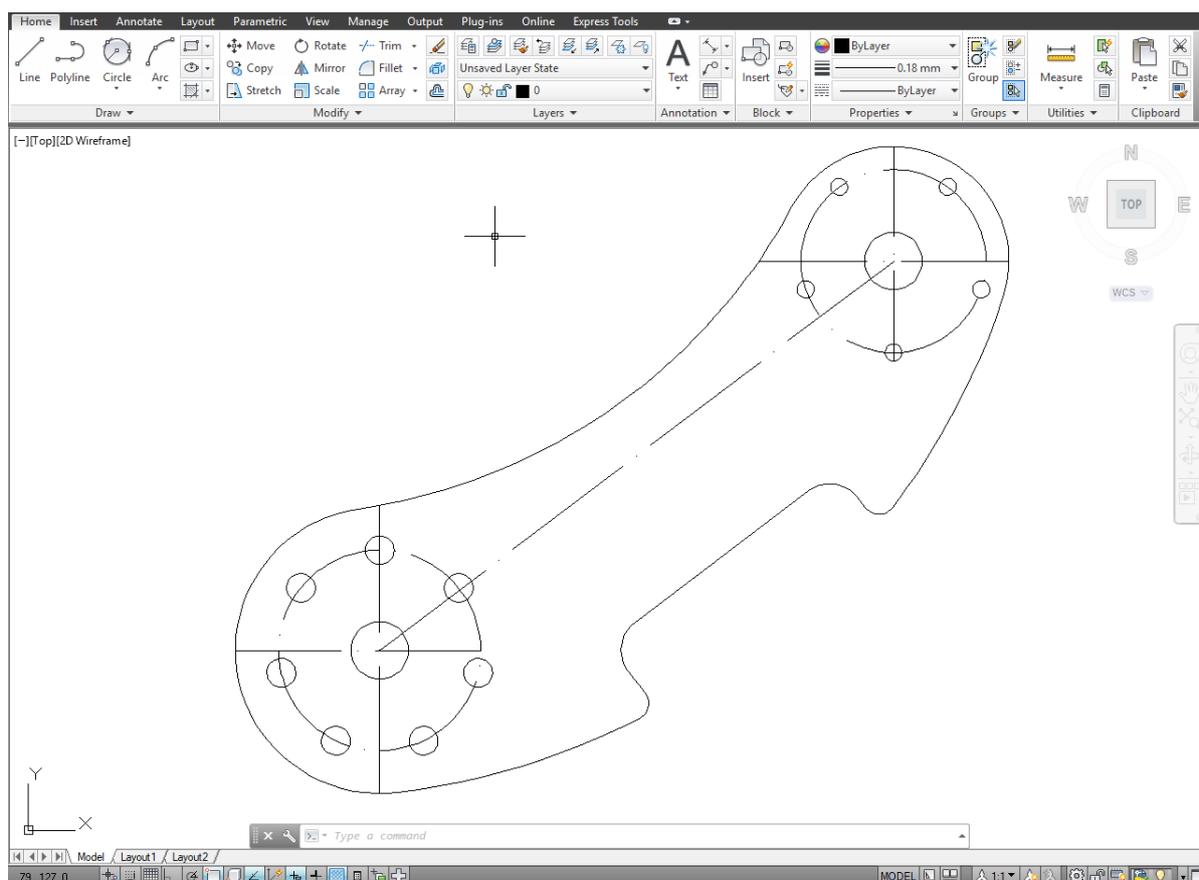
Закончим полученную полилинию с помощью команды Fillet вкладки MODIFY. Как показано на рис. 7.22. попытка скругления полученной полилинии с радиусом скругления R6 (Fillet/Polyline) не увенчалась успехом. AutoCAD смог скруглить с таким радиусом лишь два угла полилинии.



**Рис. 7.22. Выполнение операции скругления на полученной полилинии**

Как видно из рисунка, не завершая команду, система в режиме предпросмотра показывает, что реализовано с радиусом R6 может быть только 2 скругления. В связи с этим оставшиеся два скругления (Fillet, опция Multiple) выполним со значением радиуса R3.

Окончательный результат реализации сценария выполнения проекта представлен на рис. 7.23. Осевые линии выполнены из конструктивных с изменением типа линий.



**Рис. 7.23. Результат построения двумерной модели с использованием команды Circle (Tan, Tan, Radius)**

## 8. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО РАЗДЕЛУ «ДВУМЕРНЫЕ МОДЕЛИ»

В заключение предложим примеры двумерных чертежей, создание которых поможет освоить команды моделирования и редактирования двумерных моделей в среде САПР AutoCAD.

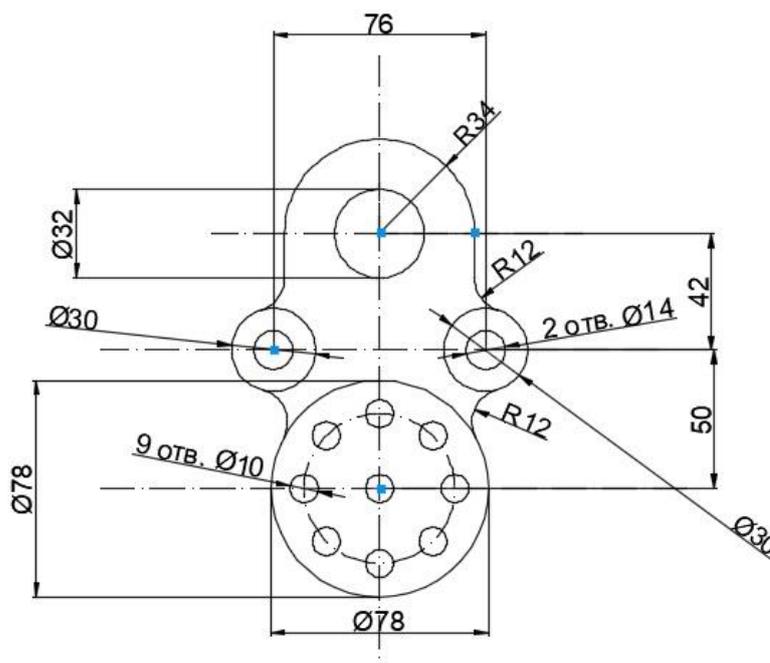


Рис. 8.1. Пример 1

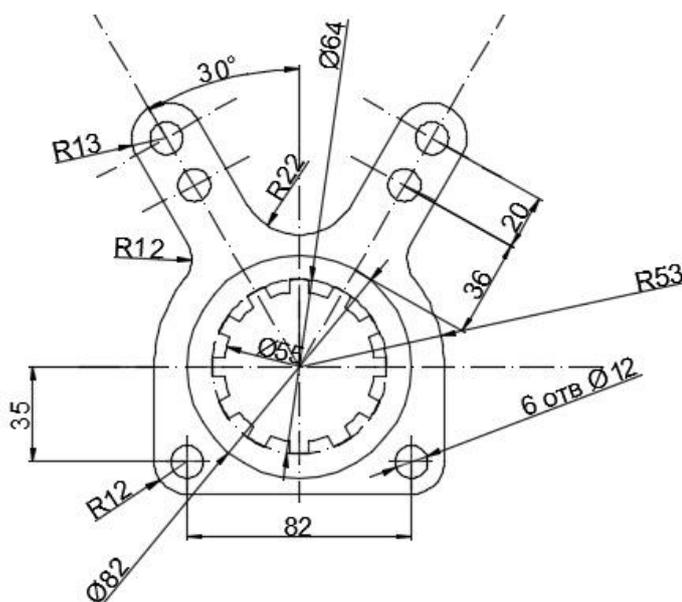


Рис. 8.2. Пример 2

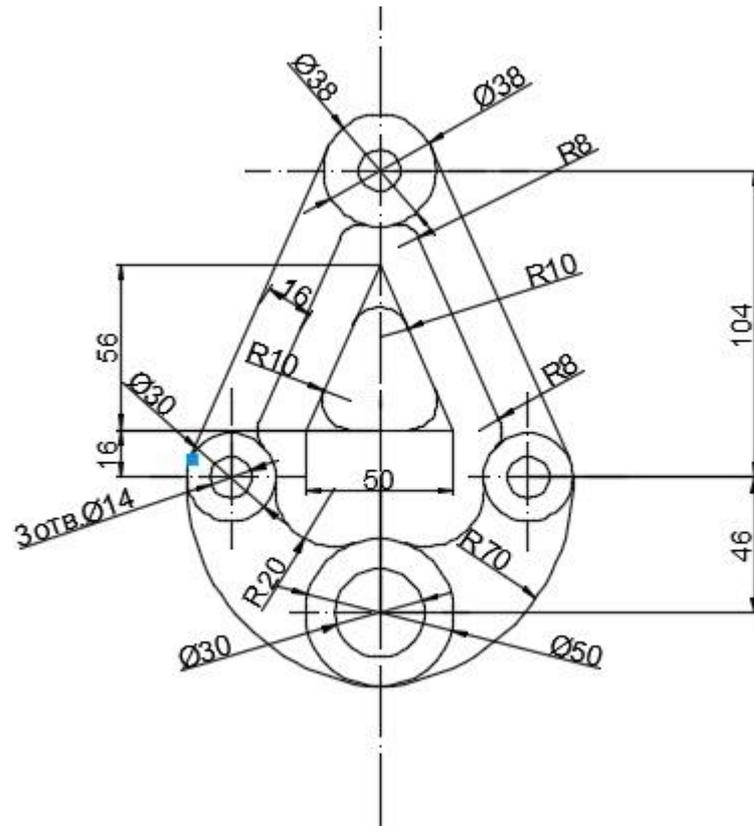


Рис. 8.3. Пример 3

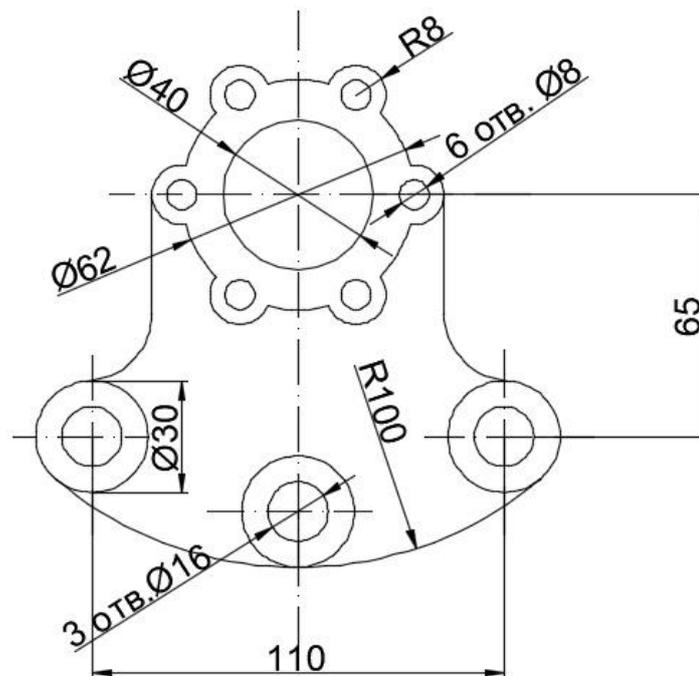


Рис. 8.4. Пример 4

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В предложенных методических материалах изложены возможности AutoCAD для создания на основе команд двумерного моделирования сложных двумерных эскизов. Двумерные эскизы являются основой для создания трехмерных моделей. Таким образом, освоение методов, изложенных в данных методических материалах, позволит студентам перейти к изучению способов построения более сложных трехмерных моделей, как поверхностных так и твердотельных, в среде САПР AutoCAD.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. **Полещук Н.Н.** Самоучитель AutoCAD 2016.- СПб.: БХВ- Петербург, 2016.- 464с.
2. **Полещук Н.Н.** Самоучитель AutoCAD 2015.- СПб.: БХВ- Петербург, 2015.- 464с.
3. **Зуев С.А., Полещук Н.Н.** САПР на базе AutoCAD – как это делается.- СПб.: БХВ- Петербург, 204. -1168с.
4. **Лешихина И.Е., Пирогова М.А.** Методика изучения способов построения геометрических моделей кривых и поверхностей // Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» — ИНФОРИНО-2016 (Москва, 12—13 апреля 2016 г.). — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С.360-365