

## **Тема 1.**

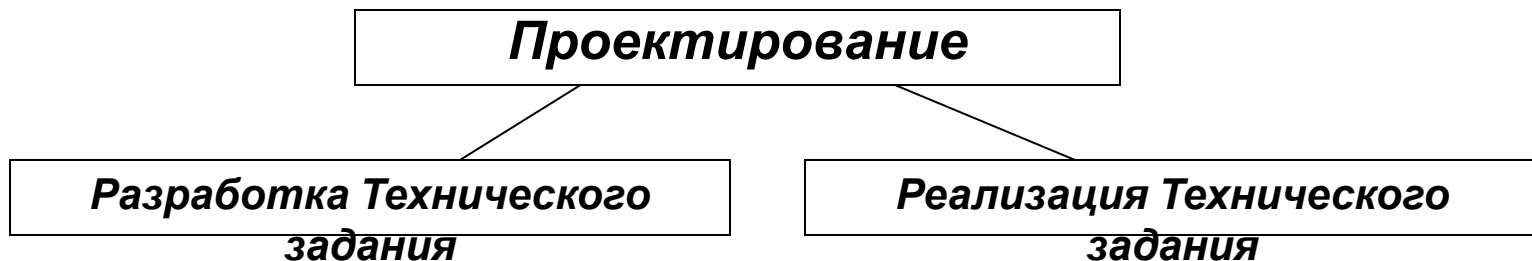
# **ВВЕДЕНИЕ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

## **Системный подход к проектированию**

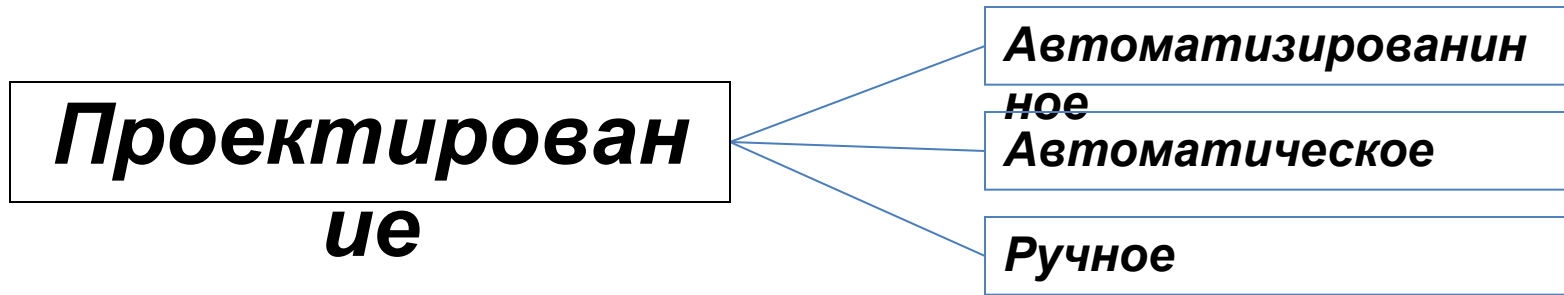
**Проектирование** технического объекта - это создание, преобразование и представление в принятой форме образа этого еще не существующего объекта.

Проектирование включает в себя разработку технического предложения и (или) технического задания (ТЗ), и реализацию ТЗ в виде проектной документации.

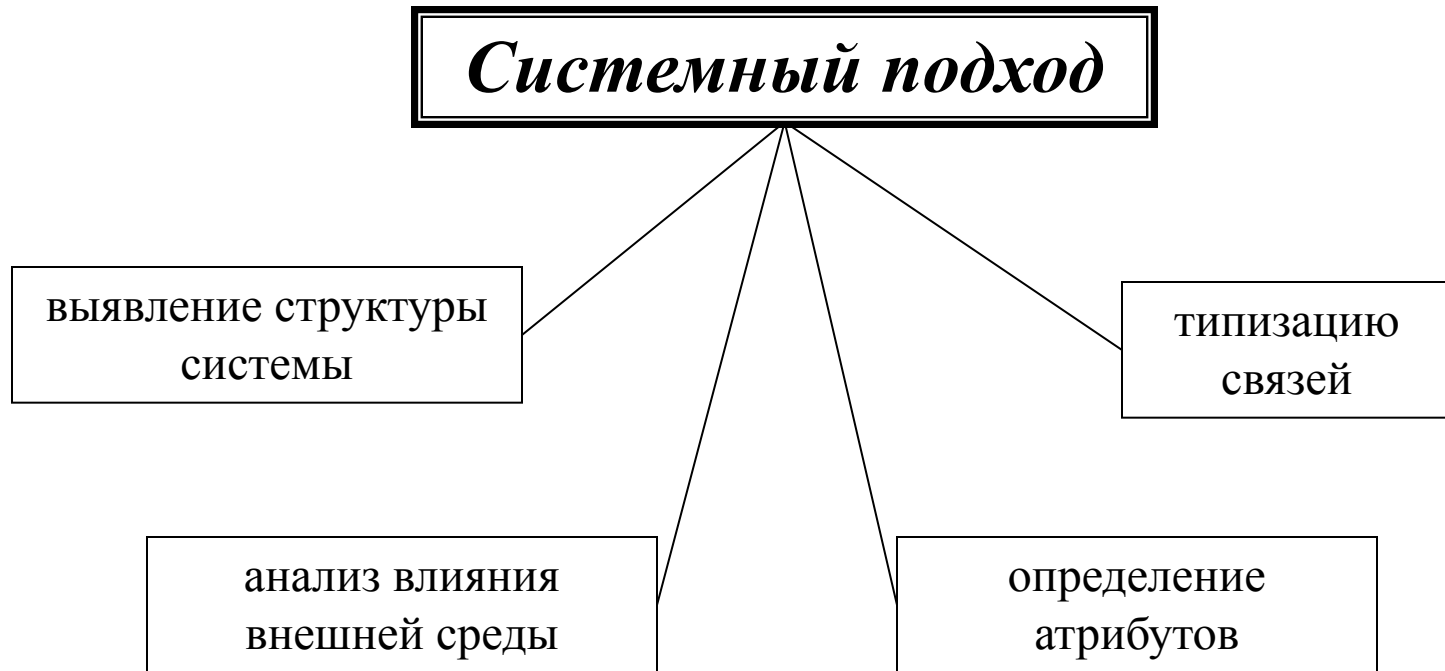
Обычно ТЗ представляют в виде некоторых документов, и оно является исходным (первичным) описанием объекта. Результатом проектирования, как правило, служит полный комплект документации, содержащий достаточные сведения для изготовления объекта в заданных условиях. Эта документация и есть **проект**, точнее, окончательное описание объекта.



Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека и ЭВМ, называют **автоматизированным**, в отличие от ручного (без использования ЭВМ) или автоматического (без участия человека на промежуточных этапах).



Система, реализующая автоматизированное проектирование, представляет собой **систему автоматизированного проектирования САПР** (в англоязычном написании *CAD System -Computer Aided Design System*).



Основной общий принцип системного подхода заключается в рассмотрении частей явления или сложной системы с учетом их взаимодействия.

## Используемые базовые термины:

**Система** — множество элементов, находящихся в отношениях и связях между собой.

**Элемент** - такая часть системы, представление о которой нецелесообразно подвергать при проектировании дальнейшему членению.

**Сложная система** - система, характеризуемая большим числом

элементов и, что наиболее важно, большим числом взаимосвязей элементов.  
**Подсистема**—часть системы (подмножество элементов и их взаимосвязей), которая имеет свойства системы.

**Надсистема** — система, по отношению к которой рассматриваемая система является подсистемой.

**Структура** - отображение совокупности элементов системы и их взаимосвязей.

**Параметр** — величина, выражающая свойство или системы, или ее части, или влияющей на систему среды.

**Фазовая переменная** — величина, характеризующая энергетическое или информационное наполнение элемента или подсистемы.

**Состояние** — совокупность значений фазовых переменных, зафиксированных в одной временной точке процесса функционирования.

**Поведение (динамика) системы** — изменение состояния системы в процессе функционирования.

**Система без последействия** — ее поведение при  $t > t_0$  определяется заданием состояния в момент  $t_0$  и вектором внешних воздействий  $Q(t)$ .

**Вектор переменных  $V$** , характеризующих состояние (вектор переменных состояния), - избыточное множество фазовых переменных, задание значений которых в некоторый момент времени полностью определяет поведение системы в дальнейшем (в автономных системах без последействия).

**Пространство состояний** — множество возможных значений вектора переменных состояния.

**Целенаправленность** — свойство искусственной системы, выражающее назначение системы.

**Целостность** — свойство системы, характеризующее взаимосвязанность элементов и наличие зависимости выходных параметров от параметров элементов.

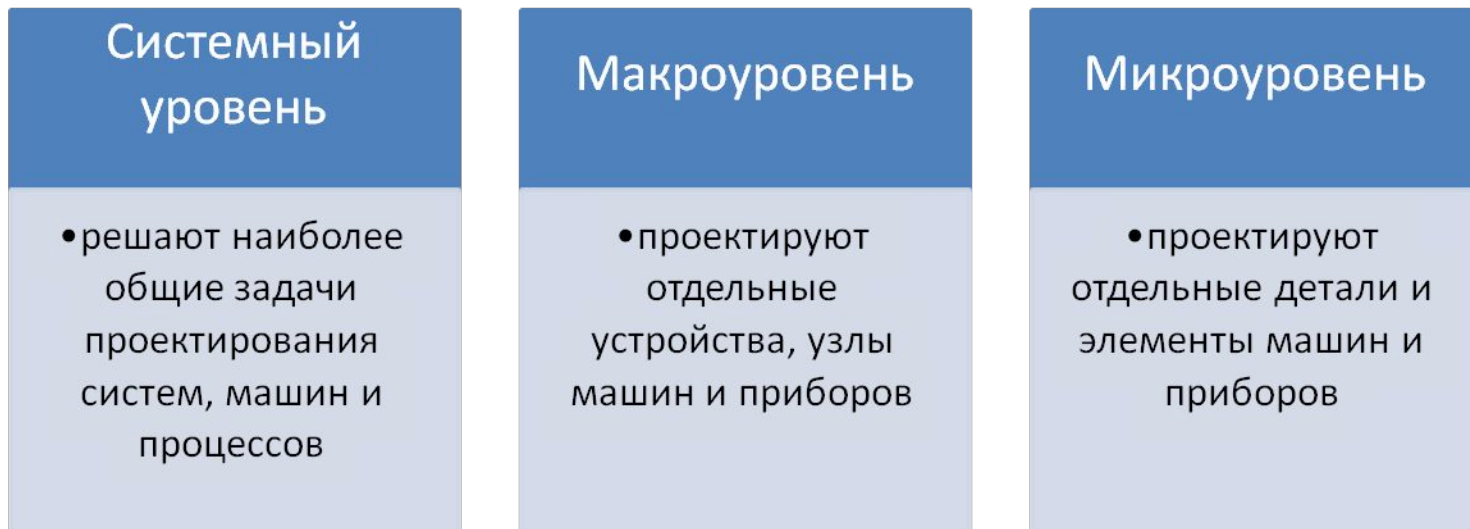
**Иерархичность** — свойство сложной системы, выражающее возможность и целесообразность ее иерархического описания, т. е. представления в виде нескольких уровней, между компонентами которых имеются отношения целое — часть.

**Моделирование** имеет две задачи: 1 — создание моделей сложных систем (в англоязычном написании - modeling); 2 - анализ свойств систем на основе исследования их моделей (simulation).

# Структура процесса проектирования

**Блочно-иерархический подход** основан на разбиении сложной задачи большой размерности на последовательно и (или) параллельно решаемые группы задач малой размерности, что существенно сокращает требования к используемым вычислительным ресурсам или время решения задач.

## Иерархические уровни



# Стадии проектирования



**Стадии проектирования** — наиболее крупные части проектирования как процесса, развивающегося во времени. Стадии проектирования подразделяют на составные части, называемые **проектными процедурами**.

## Содержание технических заданий на проектирование

В ТЗ на проектирование объекта указывают, следующие данные.

1. Назначение объекта.
2. Условия эксплуатации. (температура окружающей среды, внешние силы, электрические напряжения, нагрузки и т. п.)
3. Требования к **выходным** параметрам, т. е. к величинам, характеризующим свойства объекта, интересующие потребителя (расход топлива на 100 км пробега автомобиля <8л)



# Основные этапы разработки изделия

## Жизненный цикл изделия

- проведение маркетинга;
- постановка задачи, планирование;
- концептуальное проектирование, анализ изделия;
- разработка рабочей конструкторской документации;
- конструкторско-технологическая подготовка производства;
- заказ и закупки материалов и комплектующих для изготовления изделия;
- производство изделия;
- испытания и контроль качества;
- упаковка и отгрузка;
- поставка и распространение;
- обслуживание и эксплуатация;
- утилизация и переработка.

## Этапы создания новых объектов

1. Этап научно-исследовательских работ (НИР),
2. Этап опытно-конструкторских работ (ОКР),
3. Этап рабочего проектирования.

# Структура САПР

## Проектирующие

- подсистемы непосредственно выполняют проектные процедуры. Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации, схемотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

## Обслуживающие

- подсистемы обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными, подсистемы разработки и сопровождения программного обеспечения **CASE (Computer Aided Software Engineering)**

# Семь видов обеспечения САПР

## Техническое (ТО)

- различные аппаратные средства (ЭВМ, периферийные устройства, сетевое коммутационное оборудование)

## Математическое (МО)

- объединяющее математические методы, модели и алгоритмы для выполнения проектирования

## Программное

- представляемое компьютерными программами САПР;

## Информационное

- состоящее из базы данных, СУБД, а также включающее другие данные, используемые при проектировании

## Лингвистическое

- выражаемое языками общения между проектировщиками и ЭВМ, языками программирования

## Методическое

- включающее различные методики проектирования

## Организационное

- представляемое штатными расписаниями, должностными инструкциями и другими документами, регламентирующими работу проектного предприятия.

# Разновидности САПР

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков, например по приложению, целевому назначению, характеру базовой подсистемы - ядра САПР.

## По приложениям



## По целевому назначению



# Три уровня MCAD

## Нижний (легкий)

- выполнение почти всех работ с двумерными чертежами. Имеют ограниченный набор функций по трехмерному проектированию. Область их работы – создание чертежей отдельных деталей. (AutoCAD, T-FlexCAD LT, Компас LT)

## Средний (средний)

- охватывают «легкие» САПР плюс позволяют работать со сборками. Имеется возможность работать со сложными поверхностями, описываемыми кривыми второго порядка. (Inventor, Solid Edge, Solid Works)

## Верхний (тяжелый)

- решение наиболее трудоемких задач – моделирования поведения сложных механических систем в реальном масштабе времени, оптимизирующих расчетов с визуализацией результатов, расчетов температурных полей и теплообмена, дизайн поверхностей любой сложности. (CATIA, Unigraphics, Pro/Engineer)

# По характеру базовой подсистемы

**САПР на базе подсистем машинной графики и геометрического моделирования**

- САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т. е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов.

**САПР на базе СУБД**

- ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчетах перерабатывается большой объем данных.

**САПР на базе конкретного прикладного пакета**

- автономно используемые программно-методические комплексы (ПМК), например, имитационного моделирования производственных процессов, расчета прочности по МКЭ, синтеза и анализа систем автоматического управления и т. п.

**Комплексные (интегрированные) САПР**

- состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов. Характерными примерами комплексных САПР являются CAE/CAD/CAM-системы в машиностроении или САПР БИС.

# CALS-технологии

CALS-технологии – это технологии комплексной компьютеризации сфер промышленного производства, цель которых — унификация и стандартизация спецификаций промышленной продукции на всех этапах ее жизненного цикла. В CALS-системах предусмотрены хранение, обработка и передача информации в компьютерных средах, оперативный доступ к данным в нужное время и в нужном месте. Аббревиатура CALS расшифровывается — *Continuous Acquisition and Lifecycle Support* (компьютерное сопровождение и поддержка изделий).

Применение CALS-технологий позволяет существенно сократить объемы проектных работ, так как описания многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в унифицированных форматах данных сетевых серверов, доступных любому пользователю технологий CALS

Одна и та же конструкторская документация может быть использована многократно в разных проектах, а одна и та же технологическая документация - адаптирована к разным производственным условиям, что позволяет существенно сократить и удешевить общий цикл проектирования и производства. Кроме того, упрощается эксплуатация систем.

# AutoCAD – система автоматизированного проектирования

Система AutoCAD является на сегодняшний день наиболее распространенной графической системой автоматизированного проектирования. Ориентирована на специалистов разной квалификации — конструкторов, архитекторов, строителей, инженеров, техников, чертежников. Формат DWG, используемый в системе, стал фактически всемирным стандартом.

## Пользовательский

**интерфейс**  
Рабочая зона располагается по центру экрана, в которой происходит черчение объектов.

В верхней части чертежа располагается **Верхнее Меню** (ВМ) (см. рис.). ВМ содержит наименования падающих меню (Файл, Правка, Вид, ...), раскрыть любое из которых можно, нажав правой кнопкой мыши. С помощью ВМ возможно запустить практически любую команду.

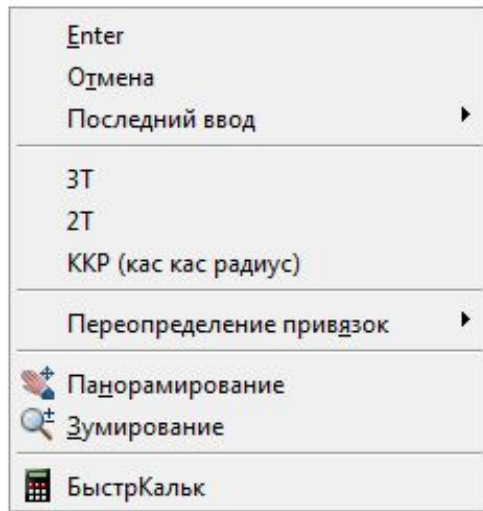
Ниже ВМ располагаются **Панели Инструментов** (ПИ). При первом запуске открываются панели по умолчанию. ПИ можно перемещать по всему пространству окна. Чтобы закрыть/открыть ПИ необходимо нажать правой кнопкой мыши над любой из пиктограмм панели инструментов и затем выбрать имя ПИ.

На рабочей зоне в левом нижнем углу располагается **знак системы координат**. Направление стрелок совпадает с положительным направлением соответствующих осей.

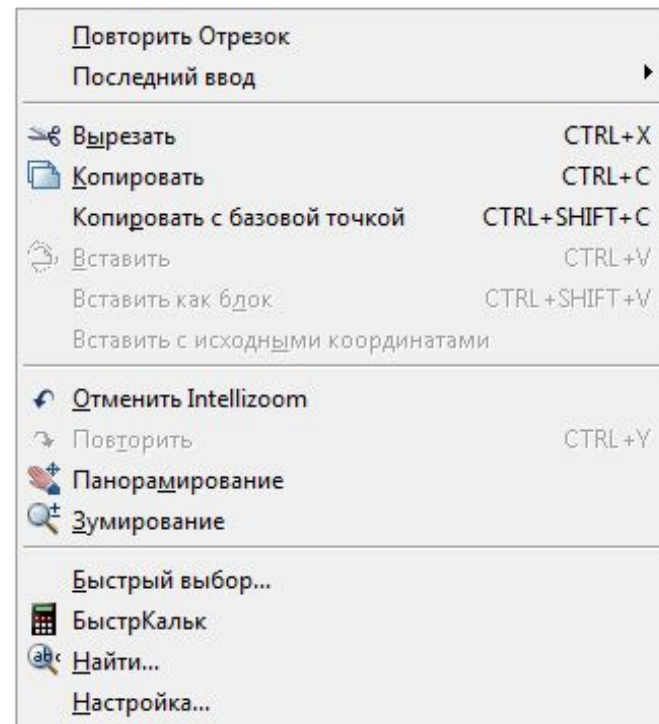


Под графической зоной находится **командная строка (КС)**. С помощью КС в AutoCAD вводятся команды, значения. В КС отображается алгоритм выполнения команды, а также сообщения об ошибках. Под КС расположена **Строка Состояния**.

Одним из удобных средств в AutoCAD является **Контекстное Меню**. Оно вызывается правой кнопкой мыши (а). В нем отображаются стандартные операции, такие как вставить, вырезать, повторить, а также дополнительные опции во время выполнения различных команд (б).

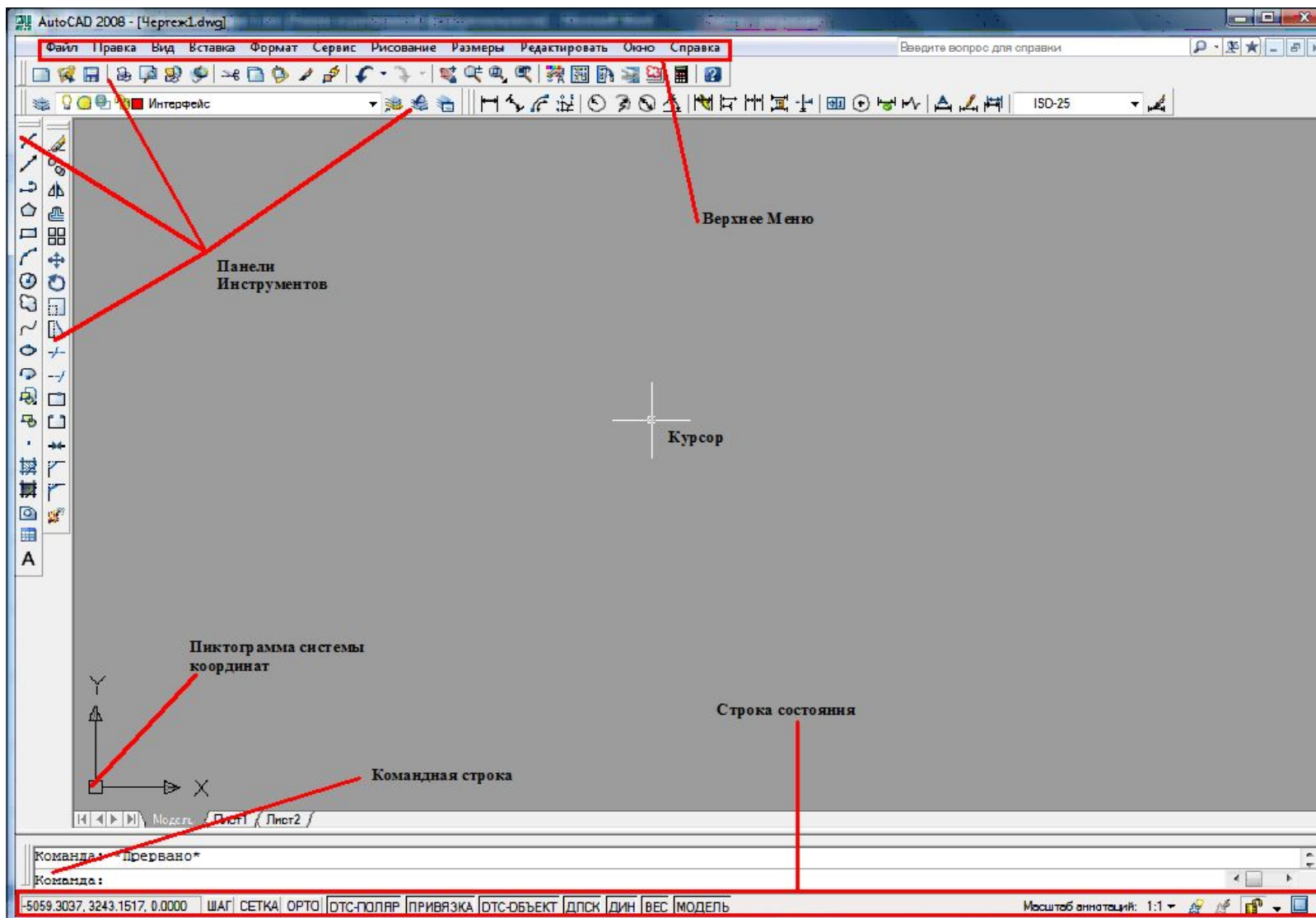


а)  
)

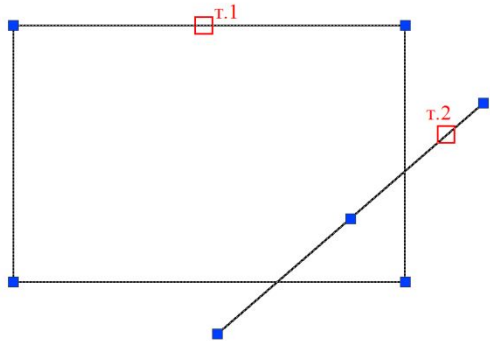


б)

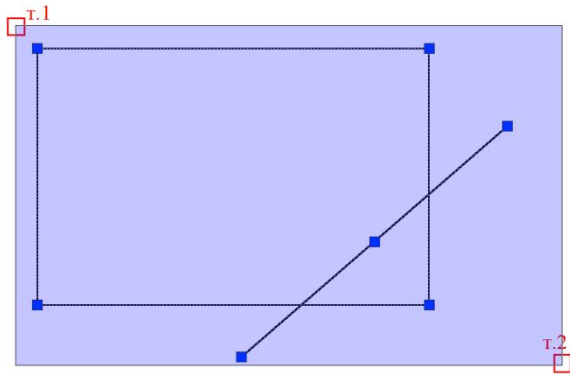
# Пользовательский интерфейс.



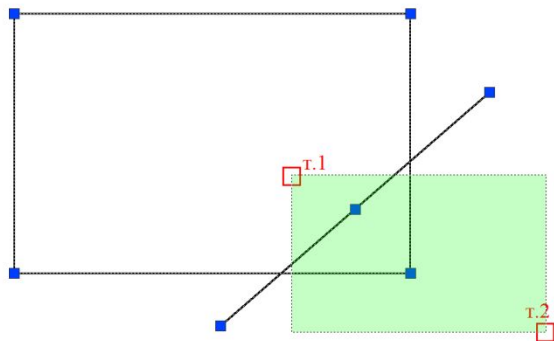
# Три способа выбора объектов в AutoCAD



- **Единичный выбор.** Указывается курсором т.1 на прямоугольнике и т.2 на прямой. Объекты выделяются пунктирной линией и синими маркерами.



- **Рамка (синяя рамка).** Мышкой, слева от т.1 направо до т.2 выделяем рамкой объекты, которые хотим выделить. Выделяются только те объекты, которые находятся полностью в рамке.



- **Секущая рамка (зеленая рамка).** Мышкой, теперь справа от т.2 налево до т.1 выделяем рамкой объекты. Выделяются все объекты, которые находятся и полностью и частично в рамке.

# Ввод

## Абсолютные координаты

- вводятся параметры (координаты) начальной и конечной точек отрезка

## Относительные координаты

- вводятся изменение расстояния по осям  $X$  и  $Y$  от предыдущей точки построения. Для задания относительных координат в Командной строке при вводе их значений с клавиатуры используется символ собачка - @.

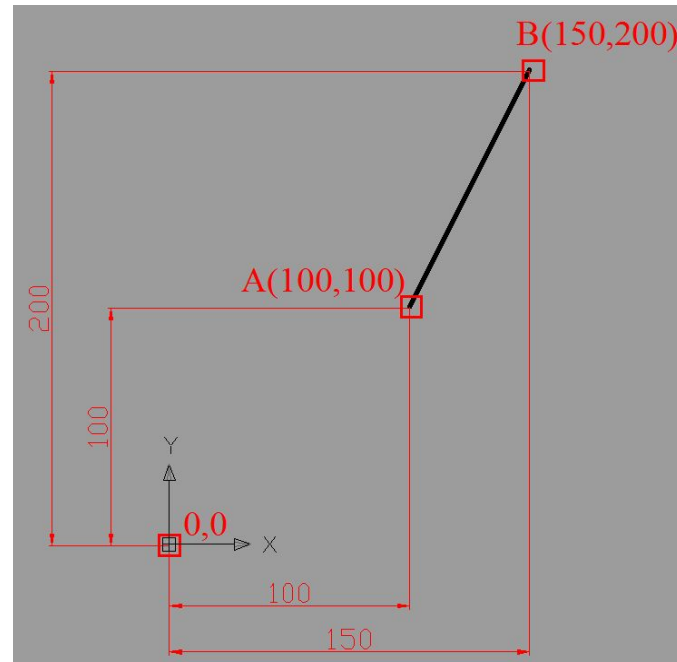
**Координаты записываются всегда через запятую:  
Например: 100,100 (сначала координата  $X$ , затем  $Y$ )**

## Задача 1.1.

Используя абсолютные координаты, построить отрезок с координатами точек: A (100,100), B (150,200)



команда отрезок

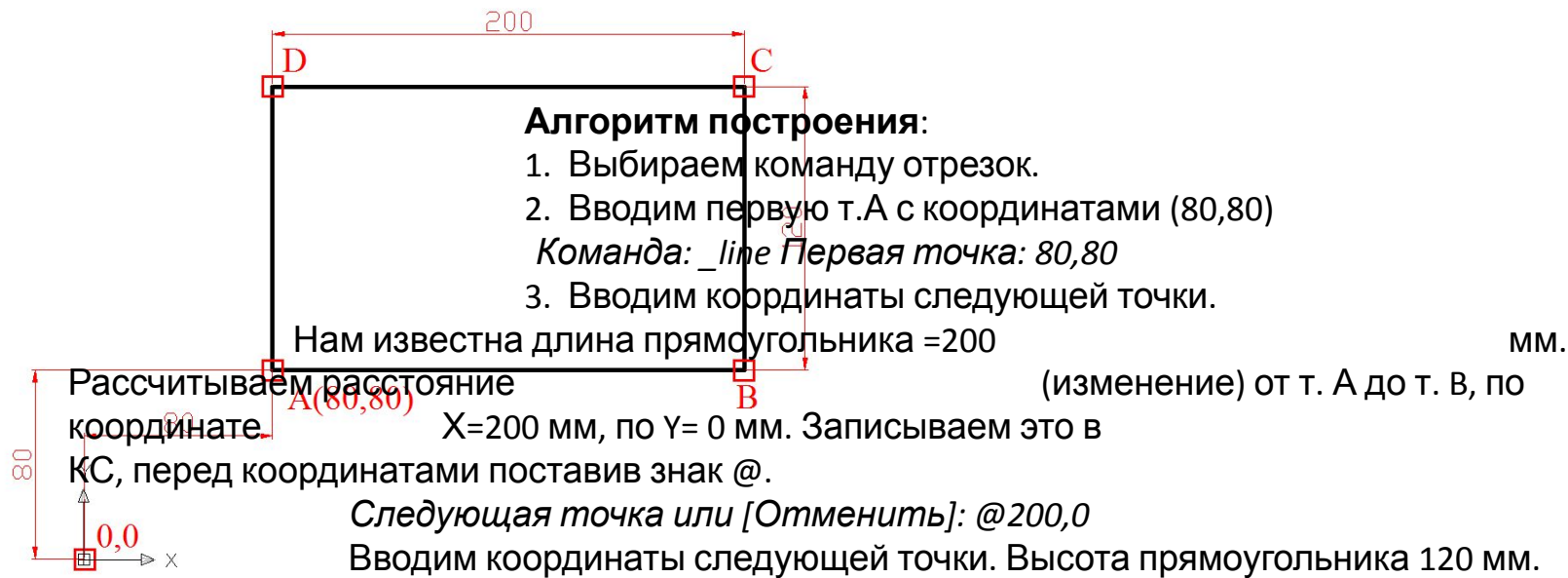


### **Алгоритм построения:**

- Нажимаем на команду отрезок на панели инструментов «Рисование».
- Вводим координаты точки A на запрос в Командной Строке:  
*Команда: `_line` Первая точка: 100,100*
- Вводим координаты точки B на запрос в Командной Строке:  
*Следующая точка или [Отменить]: 150,200*
- Заканчиваем операцию, нажав Enter

## Задача 1.2

Построить отрезками прямоугольник, размером 200x120. Начальная точка А имеет координаты (80,80)



**Алгоритм построения:**

1. Выбираем команду отрезок.
2. Вводим первую т.А с координатами (80,80)  
*Команда: `_line` Первая точка: 80,80*
3. Вводим координаты следующей точки.

Нам известна длина прямоугольника =200 мм.

Рассчитываем расстояние (изменение) от т. А до т. В, по координате X=200 мм, по Y= 0 мм. Записываем это в КС, перед координатами поставив знак @.

*Следующая точка или [Отменить]: @200,0*

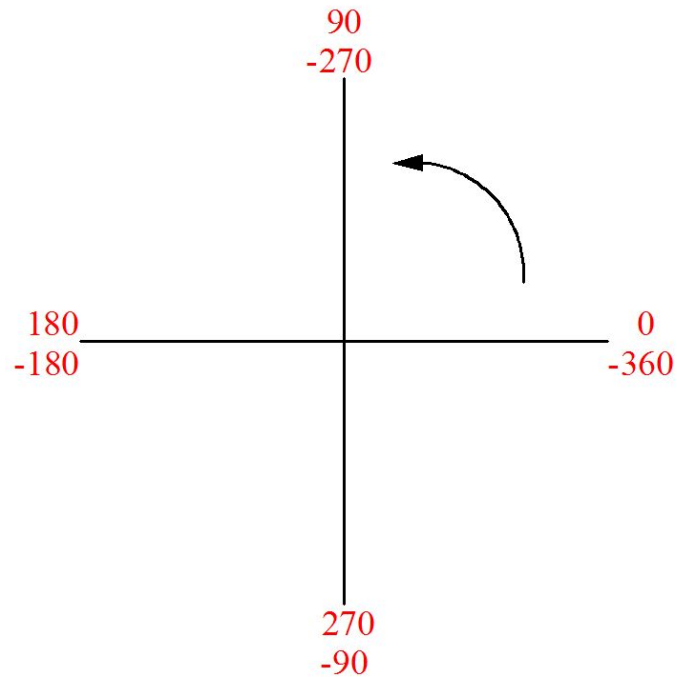
Вводим координаты следующей точки. Высота прямоугольника 120 мм. Расстояние от т. В до т. С по координате X=0, по Y=120. Записываем это в КС.

*Следующая точка или [Отменить]: @0,120*

- Вводим координаты т. D. Расстояние от т. С до т. D по X= - 200, т.к. движение идет уже против положительного направления оси X. Расстояние по оси Y=0 мм.  
*Следующая точка или [Замкнуть/Отменить]: @-200,0*
- Чтобы закончить последний отрезок DA, нажимаем правую кнопку мыши, выбрать там опцию **Замкнуть**. Эту же операцию можно задать с клавиатуры, написав букву **З**.  
*Следующая точка или [Замкнуть/Отменить]: З*

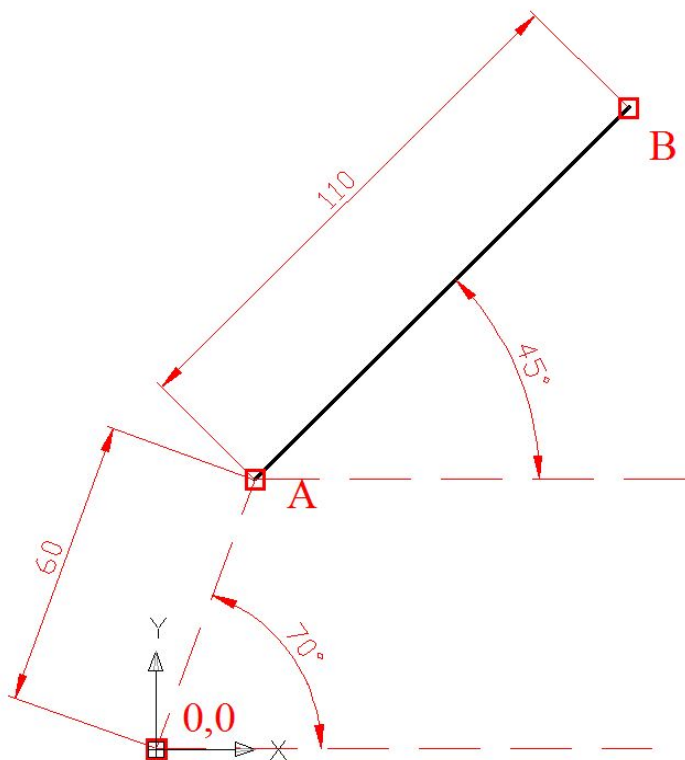
## Полярные координаты

- Известны направление и длина отрезка от начала координат или от предыдущей точки построения. Задаются в формате расстояние<угол. Между расстоянием и углом ставится знак угла < (больше).
- Отчет углов начинается от оси X и измеряется против часовой стрелки



### Задача 1.3.

Построить отрезок  $AB=110$  мм, под углом  $45^\circ$ , на расстоянии 60 мм от начала координат и углом  $70^\circ$ .



Алгоритм построения:

Выбираем команду отрезок .

Вводим данные для т. А относительно начала координат: длина от начала координат 60 мм, угол  $70^\circ$

*Команда: `_line` Первая точка: `60<70`*

3. Вводим значения т. В относительно т. А, используя знак @.

*Следующая точка или [Отменить]: `@110<45`*

4. Заканчиваем операцию, нажав Enter .



## метод направление-расстояние

- В данном случае необходимо задать направление (либо мышкой, либо с клавиатуры) и ввести значение расстояния до следующей точки.

### Задача 1.4

Построить треугольник ABC, используя метод направление-расстояние. Длина отрезка AB=110 мм, BC=80 мм. Отрезки строятся под произвольным углом.

Алгоритм построения:

Выбираем команду отрезок .

Первую точку задаем, нажав на экране левой кнопкой мыши.

3. Мышкой задаем направление отрезка AB и вводим длину отрезка =110 мм.

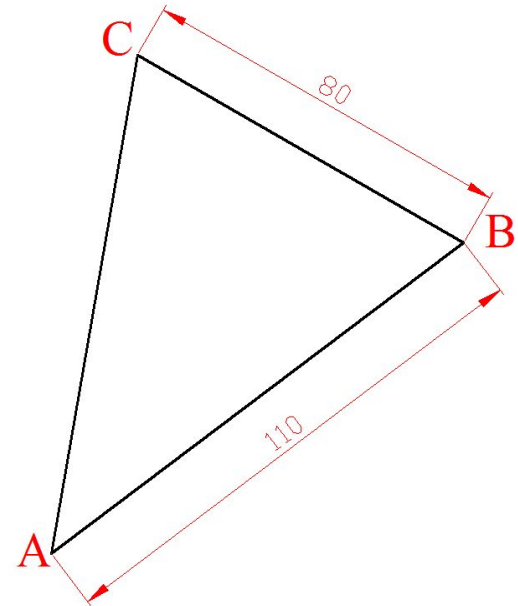
*Следующая точка или [Отменить]: 110*

Задаем мышкой направление отрезка BC и вводим длину =80 мм.

*Следующая точка или [Отменить]: 80*

Нажимаем правую кнопку мыши, выбираем опцию **Замкнуть**. Или с клавиатуры вводим букву **З**.

*Следующая точка или [Замкнуть/Отменить]: З*



# Команды управлением

## экраном

Команда **Регенерировать** – обновляет экранные координаты всех объектов, выполняет индексирование базы данных чертежа для оптимального отображения на экране и выбора объектов. Используется также в тех случаях, когда AutoCAD не дает возможности увеличить/уменьшить или панорамировать изображение. Для запуска команды нажмите в Верхнее Меню – Вид – Регенерировать.

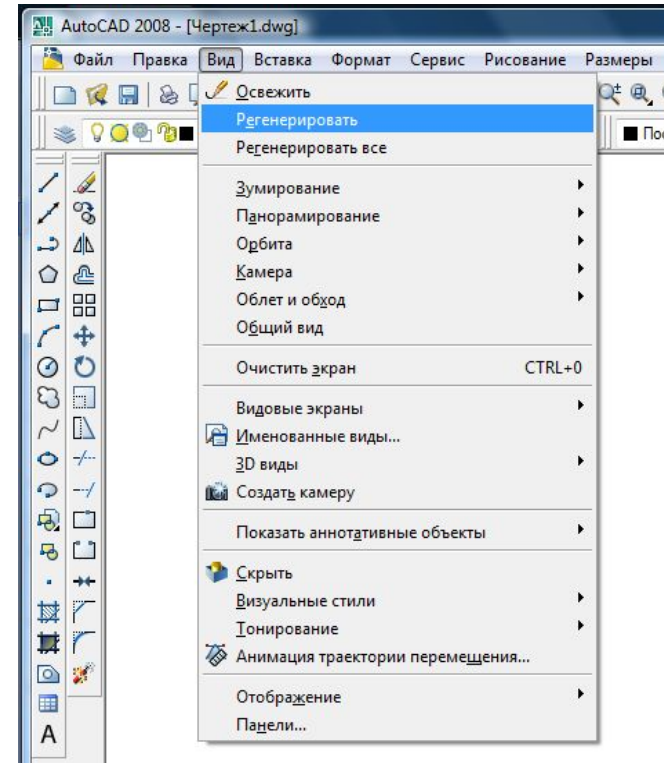


**Панорамирование** – перемещение

визуала на экране без изменения масштаба чертежа. Для перемещения нажать на колесико мыши и сдвинуть мышшь. Либо выбрать команду в ПИ «Стандартная». После выбора команды в ПИ, держа нажатой ЛКМ двигать мышкой.



**Зумирование** – Увеличение или уменьшение вида на экране без изменения масштаба элементов чертежа. Для увеличения/уменьшения нужно покрутить колесико мыши. Либо выбрать команду в ПИ «Стандартная», и, держа нажатой ЛКМ двигать мышкой вверх/вниз.



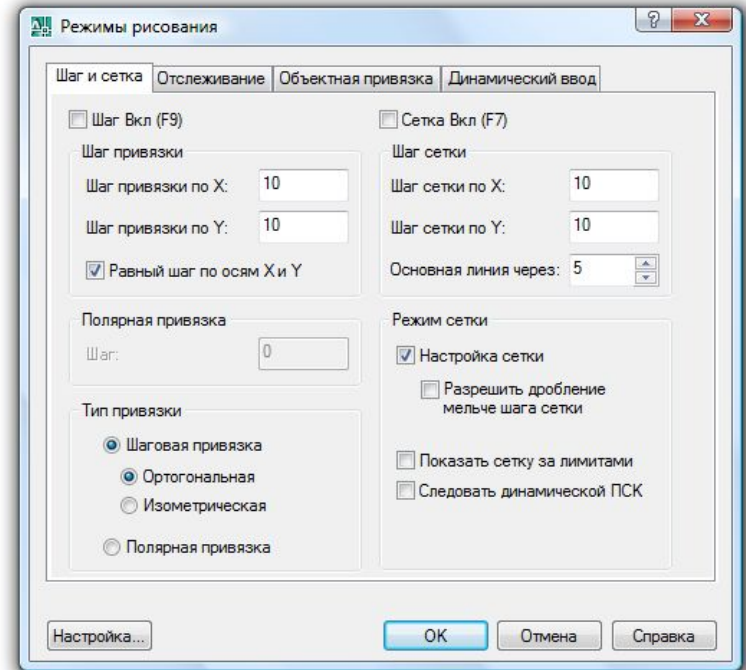
# Средства обеспечения

## Точности Сетка, Шаговая привязка и режим ОРТО

**Сетка** представляет собой прямоугольную комбинацию точек, расположенных с заданным шагом. Она помогает выравнивать объекты и оценивать расстояние между ними. На печать сетка не выводится. Включение сетки -F7 или кнопка Сетка в строке состояния. Для настройки сетки необходимо нажать ПКМ над пиктограммой Сетка и выбрать настройка.

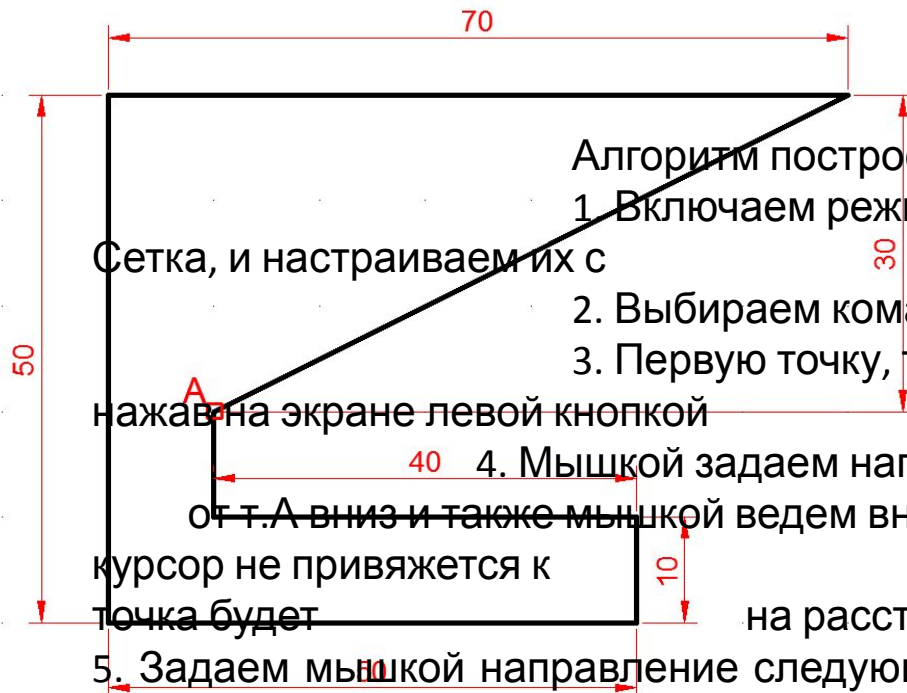
**Шаговая привязка** позволяет ограничить передвижение курсора только узлами воображаемой решетки. При включенном режиме шаговой привязки движение курсора становится скачкообразным, он как бы "прилипает" к узлам решетки. Включение шаговой привязки осуществляется клавишей F9 или кнопкой Шаг в строке состояния.

**Режим ОРТО** заключается в возможности вычерчивать линии только горизонтально или вертикально, а также в строде углом 0, 90, 180 и 270°. Включение режима ОРТО осуществляется клавишей F8 или нажатием на кнопку ОРТО в строке состояния.



## Задача 1.5

Построить фигуру №1 по узлам Сетки, изображенную на рис, используя режим Сетки и Шага. Построение начинать от т. А, без ввода с клавиатуры цифровых значений (длин отрезков).



Алгоритм построения:

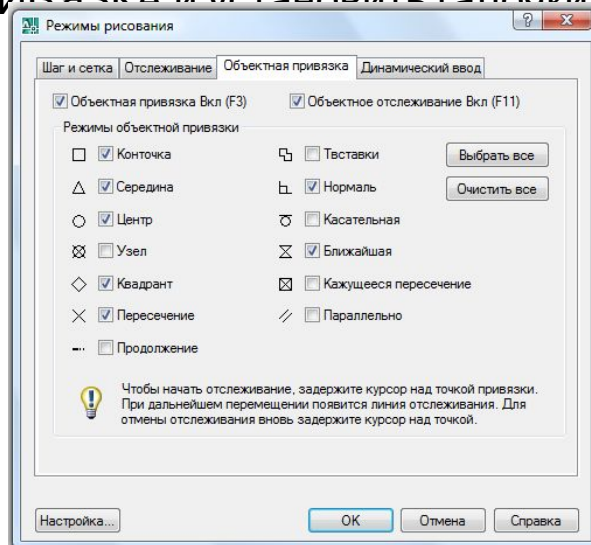
1. Включаем режимы Шаг и Сетка, и настраиваем их с шагом, равным 10 мм.
2. Выбираем команду отрезок .
3. Первую точку, т.А задаем, нажав на экране левой кнопкой мыши.
4. Мышкой задаем направление отрезка от т.А вниз и также мышкой ведем вниз до тех пор, пока курсор не привяжется к следующему узлу на сетке. Это точка будет на расстоянии 10 мм от т. А. Нажимаем ЛКМ.
5. Задаем мышкой направление следующего отрезка и ведем мышкой вправо до четвертого узла сетки (40 мм от предыдущей точки).
6. Таким образом строятся шесть отрезков фигуры. Чтобы закончить последний отрезок , нажимаем правую кнопку мыши, выбираем опцию **Замкнуть**. Или с клавиатуры вводим букву **З**.

*Следующая точка или [Замкнуть/Отменить]: З*

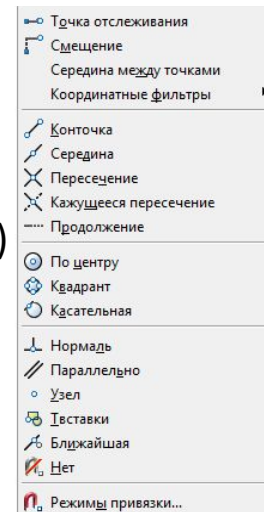
# Объектная привязка

**Объектная привязка** позволяет отказаться от явного задания координат. Она привязывает ввод координат к характерным точкам существующих объектов (центру, середине, концу). Бывают разовые и текущие объектные привязки. Разовые выбираются во время выполнения команды и действуют только один раз. Для запуска Разовой привязки необходимо открыть контекстного меню (нажать ПКМ при нажатой клавише SHIFT) и выбрать привязку (см. рис. а) или нажать на привязку на ПИ Объектная привязка. Текущие (автоматические) устанавливаются заранее и действуют всегда, если включена объектная привязка. Включение Объектной привязки осуществляется клавишей F3 или нажатием на кнопку ПРИВЯЗКА в строке состояния. Для настройки объектной привязки необходимо нажать ПКМ над кнопкой ПРИВЯЗКА и установить галочки над нужными привязками (рис. б).

а)



б)



## Задача 1.6.

Построить отрезок АВ длиной 150 мм. Из центра этого отрезка и перпендикулярно ему, построить отрезок CD длиной 150 мм .  
Использовать объектные привязки.

Алгоритм построения:

1. Включаем режим ОРТО и Объектную привязку (середина)
2. Выбираем команду отрезок.
3. Задаем первую т.А с помощью мыши.
4. Задаем вторую точку, используя длину отрезка 150 мм. Мышью задаем направление и вводим с клавиатуры 150. Для завершения операции построения первого отрезка нажимаем дважды Enter.

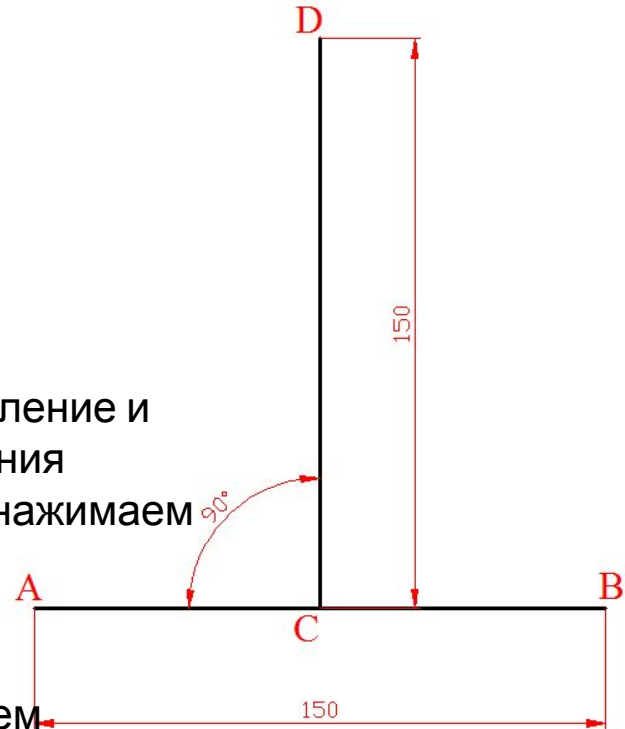
*Следующая точка или [Отменить]:150*

*Следующая точка или [Отменить]:*

5. Для построение отрезка CD снова выбираем команду отрезок . Подводим мышью к середине отрезка АВ, загорается привязка Середина в виде треугольничка. Нажимаем ЛКМ, задается автоматически т.С в центре отрезка АВ.
7. Мышью задаем направление вверх, вводим длину 150 и нажимаем для полного завершения операции два раза Enter.

*Следующая точка или [Отменить]: 150*

*Следующая точка или [Отменить]:*

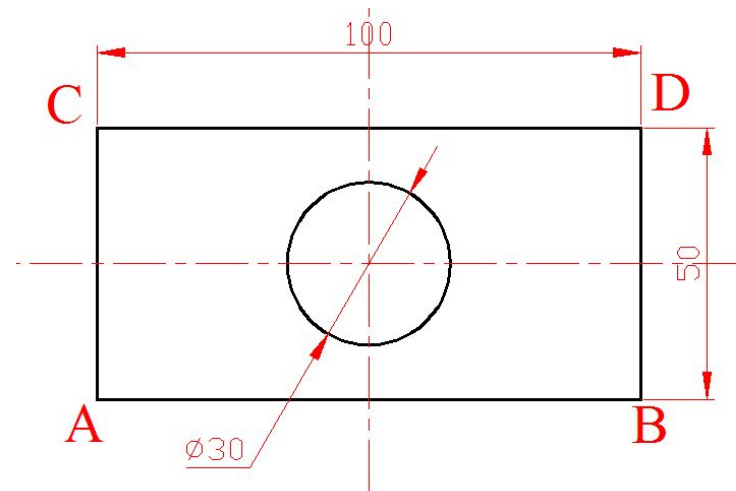


# Объектное и полярное отслеживание

**Объектное отслеживание** позволяет располагать объекты под определенными углами или в определенной зависимости относительно других объектов чертежа и отказаться от вспомогательных построений. При включенных режимах автоотслеживания специальные временные линии отслеживания помогают выполнять точные построения. Объектное отслеживание включает в себя два варианта: полярное отслеживание и отслеживание объектной привязки. Включение Объектного отслеживания осуществляется клавишей F11 или нажатием на кнопку ОТС-ОБЪЕКТ в строке состояния. Также должна быть включена объектная привязка – ПРИВЯЗКА

## Задача 1.7.

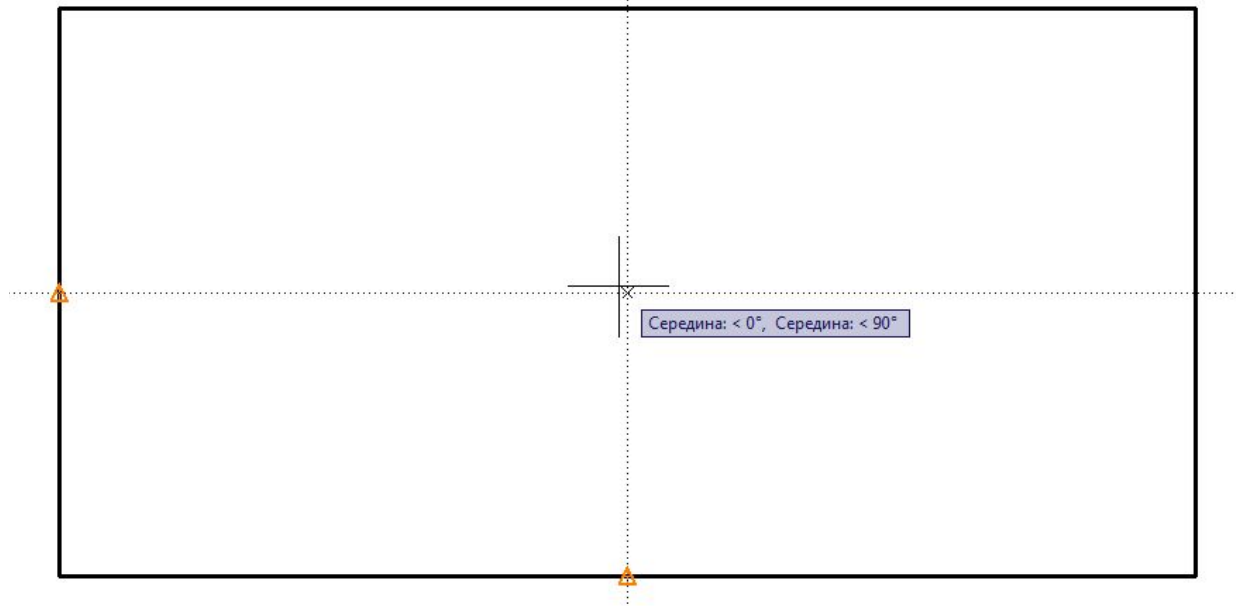
Построить окружность радиусом 15 мм в центре прямоугольника ABCD, размерами 100x50 мм без вспомогательных линий, используя Объектное отслеживание.



Алгоритм построения:

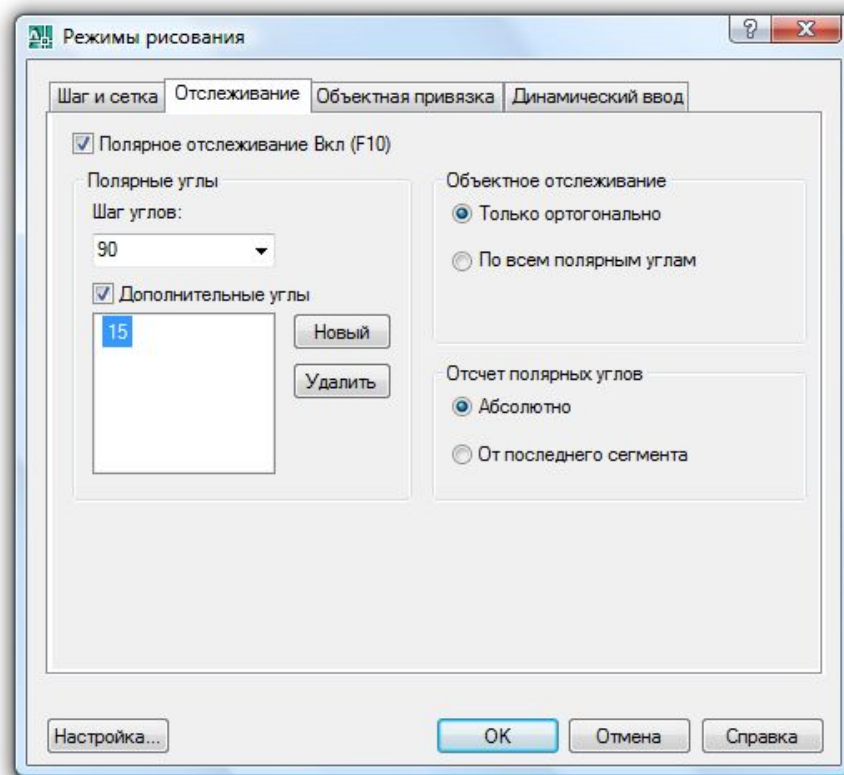
1. Включаем режим ОРТО, Объектную привязку (Середина), Объектное отслеживание.
2. Построим прямоугольник отрезками, используя направление и длину (см. предыдущие задачи).
3. Для построения окружности выбираем команду круг.
4. Задаем центр круга, используя объектное отслеживание. Для этого во время операции Круг мышью подводим сначала к середине нижней стороны прямоугольника, загорается привязка середины. Затем медленно мышью ведем вверх, тянется пунктирная линия. Таким же образом привязываемся к середине левой стороны прямоугольника и ведем мышью к центру прямоугольника. В пересечение двух пунктиров и есть центр прямоугольника – центр нашего круга (см. рис.). Нажимаем ЛКМ.
5. Задаем радиус круга: 15 мм и нажимаем Enter.

*Радиус круга или (Периметр): 15*





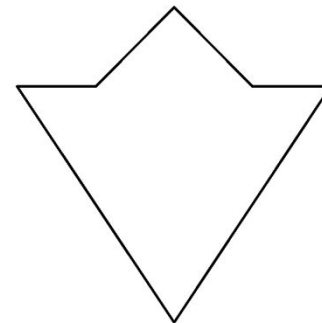
**Полярное отслеживание** ограничивает перемещение курсора направлением под заданным углом. Полярная привязка задает шаг перемещения курсора в заданном направлении. Включение Полярного отслеживания осуществляется клавишей **F10** или нажатием на кнопку ОТС-ПОЛЯР в строке состояния. Для настройки нажмите ПКМ на пиктограмме ОТС-ПОЛЯР и выберите настройку, где можно установить дополнительные углы для отслеживания и шаг углов.





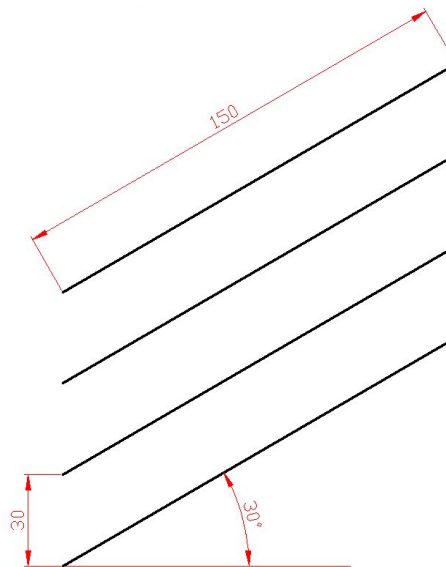
### Задача Б:

Построить фигуру по узлам Сетки, используя режим Сетки и Шага.



### Задача В:

Построить четыре отрезка длиной 150 мм на расстоянии 30 мм друг от друга под углом 30, используя полярное отслеживание



### Задача Г:

Построить равносторонний треугольник произвольного размера и вписать в него окружность. Использовать полярное отслеживание и объектное отслеживание

