

# Тема 3. Структурный анализ плоских механизмов.

---

## 3.1. Основной принцип образования механизмов

Основной принцип образования механизмов был впервые сформулирован в 1914г. русским ученым Л.В. Ассуром. Им был предложен метод образования кинематических схем механизмов путем последовательного *наслоения* кинематических цепей, обладающих определенными свойствами.

Формулируется *принцип Ассура* следующим образом: схема любого механизма может быть образована последовательным присоединением к одному или нескольким *начальным механизмам* (*механизмам 1-го класса*) структурных групп звеньев с *нулевой степенью подвижности*, не распадающихся на более простые цепи, обладающие нулевой степенью подвижности.

Эти структурные группы получили название *групп Ассура*.

# Тема 3

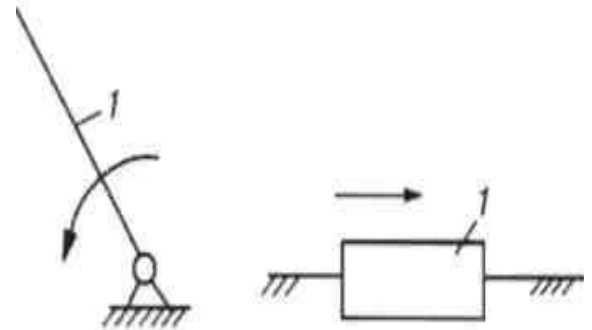
---

**Группа Ассура** – это незамкнутая кинематическая цепь с нулевой степенью подвижности, не распадающаяся на более простые кинематические цепи, удовлетворяющие этому условию.

**Правила выделения групп Ассура:**

- 1) Звенья группы должны обладать подвижностью;
- 2) Группа Ассура не может быть присоединена к одному звену.

**Начальным механизмом** или **механизмом первого класса** называется **ведущее** звено, связанное со стойкой КП **5-го класса**.



## Тема 3.

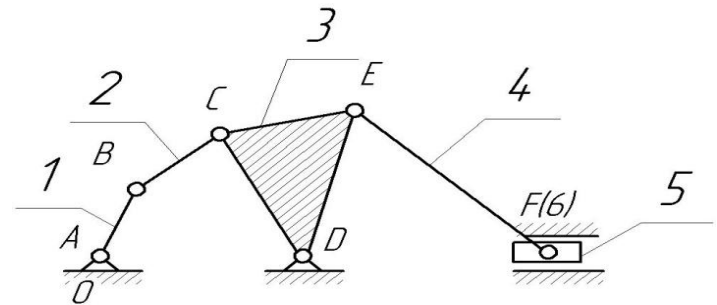
Рассмотрим процесс образования следующего механизма. Число его степеней подвижности

$$w = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1.$$

Покажем, что данный механизм может быть получен путем присоединения к ведущему звену 1 и стойке 0, т.е. начальному механизму, сначала звеньев 2 и 3, а затем – звеньев 4 и 5. В результате первого присоединения будем иметь механизм  $ABCD$ , имеющий одну степень подвижности

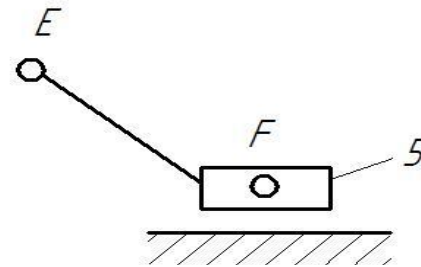
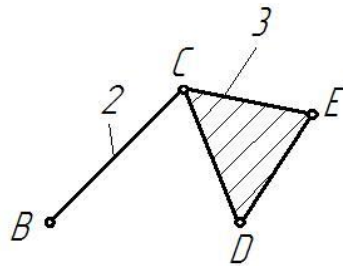
$$w = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1,$$

а в результате второго – исходный механизм  $ABCDEF$  с одной степенью подвижности.

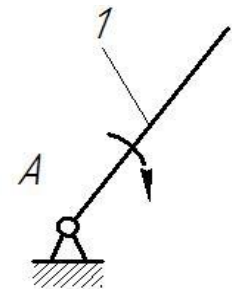


# Тема 3.

Присоединяемые, к начальному механизму структурные группы звеньев обладают нулевой степенью свободы, т. е. являются *группами Ассура*.



Эти группы присоединяются к *начальному механизму*, состоящему из ведущего звена 1, связанного со стойкой O кинематической парой A.



## Тема 3.

---

Рассмотрим процесс образования следующего механизма. Число его степеней подвижности

$$w = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1.$$

Покажем, что данный механизм может быть получен путем присоединения к ведущему звену  $1$  и стойке  $0$ , т.е. начальному механизму, сначала звеньев  $2$  и  $3$ , а затем – звеньев  $4$  и  $5$ . В результате первого присоединения будем иметь механизм  $ABCD$ , имеющий одну степень подвижности

$$w = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1,$$

а в результате второго – исходный механизм  $ABCDEF$  с одной степенью подвижности.

.

## Тема 3.

---

Группы Ассура делятся на классы, имеют различный порядок и вид.

**Класс** группы Ассура определяется наивысшим *числом внутренних КП*, входящих в *замкнутый контур*.

**Порядок** группы Ассура определяется *числом элементов* звеньев, с помощью которых группа присоединяется к основному механизму (показаны штриховыми линиями).

**Вид** группы Ассура определяется *сочетанием* вращательных и поступательных кинематических пар в *двухповодковой* группе.

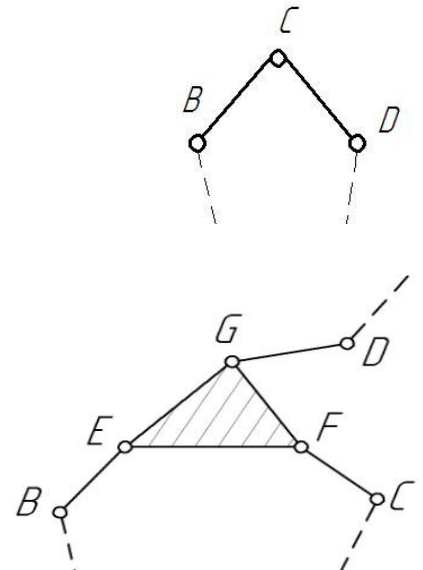
## Тема 3.

Таким образом, число кинематических пар 5-го класса в группе равно  $\mathbf{3/2 n}$ . Так как число КП может быть только целым, возможны следующие соотношения:  $\mathbf{n = 2, p_5 = 3; n = 4, p_5 = 6; n = 6, p_5 = 9; n = 8, p_5 = 12}$  и т. д.

Практическое значение имеют *два* первых соотношения.

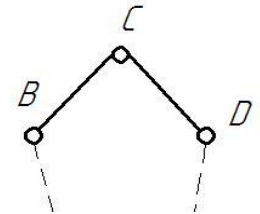
Первое соотношение:  $\mathbf{n = 2, p_5 = 3}$ . Эта группа получила название *двухповодковой*, т. к. присоединяется к механизму с помощью *двух* поводков  $BC$  и  $CD$ .

При втором соотношении ( $\mathbf{n = 4, p_5 = 6}$ ) получим *трехповодковую* группу. Она присоединяется к механизму *тремя* поводками -  $BE, GD$  и  $FC$ .

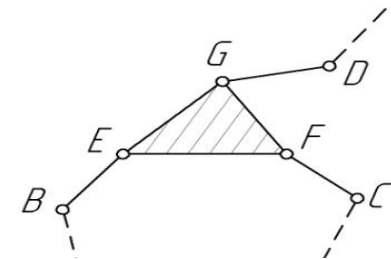


# Тема 3.

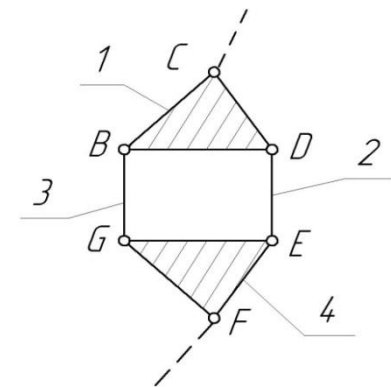
При принятой классификации двухповодковая группа будет являться группой **2-го класса** и **2-го порядка** и **1-го вида**.



Трехповодковая группа будет группой **3-го класса** и **3-го порядка**.





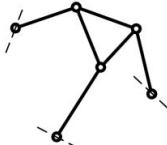
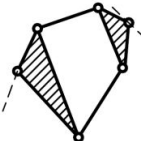
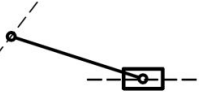
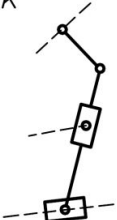
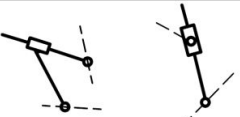
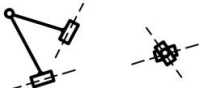
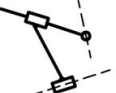


При другом возможном сочетании 4-х звеньев и 6-ти КП группа Ассур будет иметь **4-й класс** и **2-й порядок**.





# Тема 3.

2 класс	3 класс	4 класс	
<i>Признак</i>			
			
<p>1 вид 2 порядок</p> 	<p>3 порядок</p> 	<p>2 порядок</p> 	
<p>2 вид 2 порядок</p> 			<p>3 порядок</p> 
<p>3 вид 2 порядок</p> 			
<p>4 вид 2 порядок</p> 			
<p>5 вид 2 порядок</p> 			

# Тема 3.

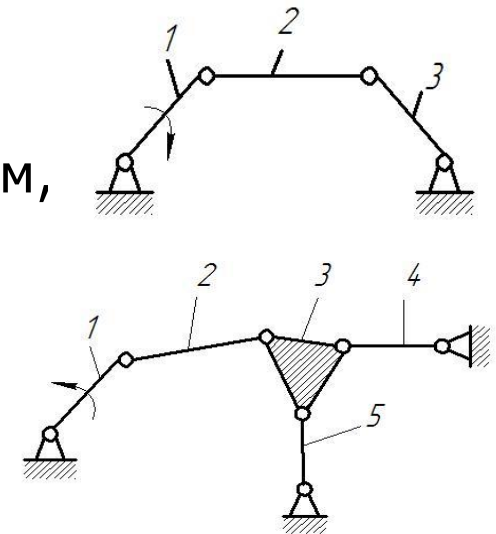
## 3.3. Структурная классификация плоских механизмов

**Класс механизма** определяется наивысшим классом структурной группы, входящей в его состав.

Большинство современных механизмов принадлежит к механизмам 2-го класса.

**Механизм второго класса** - это механизм, в состав которого входят группы не выше 2-го класса и 2-го порядка.

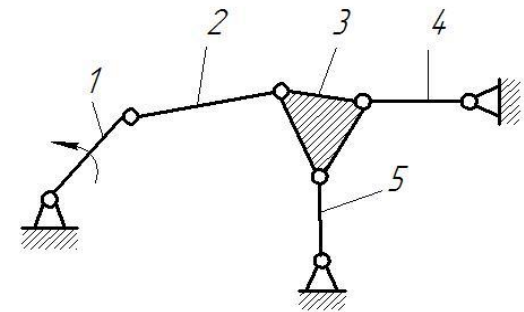
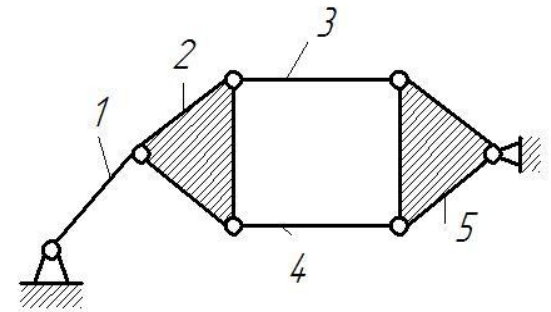
Механизмы, в состав которых входят группы не выше 3-го класса, называются **механизмами 3-го класса**.



## Тема 3.

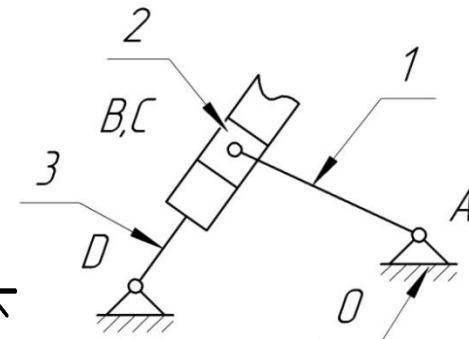
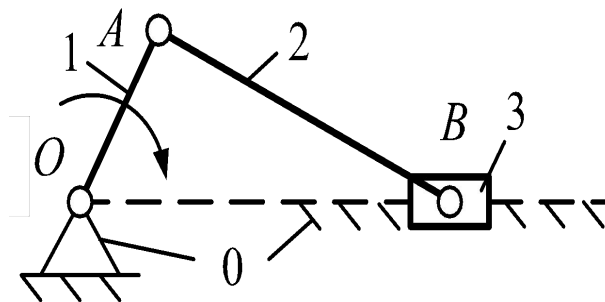
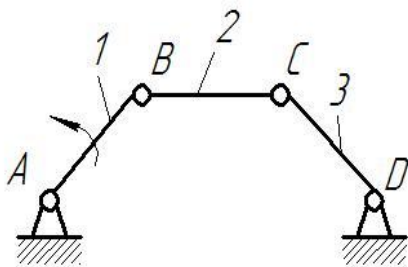
Механизмы, в состав которого входят группы не выше 4-го класса, 2-го порядка называются **механизмами 4-го класса**.

При определении класса механизма необходимо указывать, какие из звеньев являются **ведущими**. Например, если в приведенном выше механизме 3-го класса за ведущее звено принять не 1-е, а 4-е звено, то получим механизм 2-го класса, так как наивысшим классом группы Ассур будет второй.



## Тема 3.

Рассмотрим основные виды механизмов 2-го класса. Если в четырехзвенном механизме 2-го класса все пары вращательные, то механизм называется **четырёхзвенником**. Если поступательная пара находится на конце одного из звеньев, то механизм называется **кривошипно-ползунным**. Если поступательная пара находится между звеньями 2 и 3, то механизм называется **кулисным**.



## Тема 3.

---

### 3.4. Порядок структурного анализа механизмов

Структурный анализ механизма следует проводить путем *расчленения* его на структурные группы в порядке, *обратном образованию* механизма, т.е. выделение групп необходимо начинать с наиболее *удаленной* (последней в порядке присоединения к механизму 1-го класса) группы. В результате отсоединения структурных групп *остаётся механизм (механизмы) первого класса.*

# Тема 3.

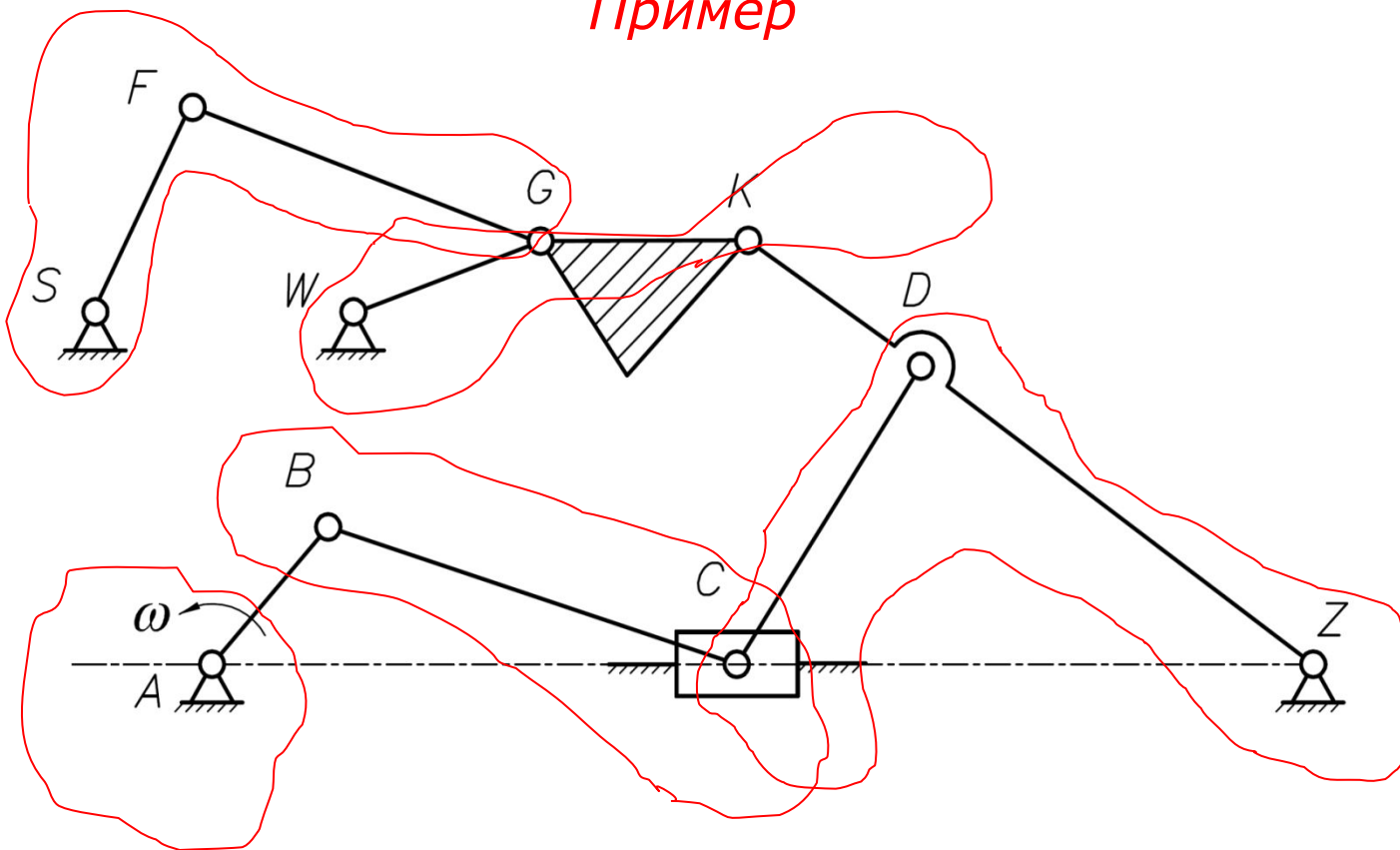
---

## *Последовательность структурного анализа*

1. Определить *ВИД* механизма.
2. Обозначить все звенья механизма и дать им *названия*.
3. Обозначить все *кинематические пары* (КП) механизма, определить их *класс* и *вид*.
4. Вычислить *степень подвижности* механизма.
5. Разложить механизм на структурные *группы Ассура*. Определить их *класс, вид* и *порядок*.
6. Определить *класс* механизма.

# Тема 3.

*Пример*



# Тема 4. Кинематический анализ

---

## 4.1. Задачи и методы кинематического анализа.

**Целью кинематического анализа** является изучение движения звеньев механизмов и машин с геометрической точки зрения, без учёта действующих сил. При кинематическом анализе решаются следующие **основные задачи**:

- определение **положений** звеньев и построение **траекторий** движения отдельных точек или звеньев в целом;
- нахождение **линейных скоростей** точек механизма и **угловых скоростей** звеньев;
- определение **линейных ускорений** точек механизма и **угловых ускорений** звеньев.



## Тема 4.

---

*Исходными данными* для кинематического анализа являются:

- *кинематическая схема* механизма;
- *размеры* всех звеньев;
- *законы движения* ведущих звеньев.

Поскольку в большинстве случаев движение плоских механизмов носит *периодический* характер кинематические параметры определяются в пределах *одного рабочего цикла*, то есть за один оборот ведущего звена.

## Тема 4.

---

При кинематическом анализе сложных рычажных механизмов удобно пользоваться *структурными группами Ассура*. Разделение сложных механизмов на группы Ассура позволяет обобщить методы кинематического анализа и применять их к этим группам, представляющих статически определимые системы.

Классификационный порядок структурных групп указывает возможный и наиболее рациональный способ исследования данной системы.

При кинематическом анализе сложных рычажных механизмов определение положений, скоростей и ускорений *начинают с ведущего звена* и непосредственно к нему присоединенной группы Ассура, затем переходят ко второй группе и т. д.

## Тема 4.

---

При кинематическом анализе используется *три метода*:

- **графический**, основанный на получении кинематических диаграмм с последующим графическим дифференцированием и интегрированием этих диаграмм;
- **графоаналитический** (*метод планов*), связанный с построением планов скоростей и ускорений звеньев;
- **аналитический**, основанный на получении геометрических зависимостей, связывающих координаты ведомых звеньев с координатами ведущего звена, и дифференцировании полученных зависимостей.

## Тема 4.

---

*Графический* метод, в основном, применяется для определения закона движения и кинематических параметров только *заданных точек* выходных звеньев механизма в *течение рабочего цикла*. Этот метод отличается наглядностью и простотой, иногда является единственно возможным (например, при графическом задании движения ведущего звена), однако он трудоемкий и имеет невысокую точность.

Наиболее распространенным методом кинематического анализа механизмов всех видов является *графоаналитический* метод. Построение планов скоростей и ускорений основано на графическом решении векторных уравнений распределения величин скоростей и ускорений между *всеми точками* механизма для *заданного положения* ведущего звена.

---

## Тема 4.

---

Этот метод дает примерно одинаковый, по точности с графическим методом, результат, однако он позволяет найти кинематические параметры *любых* точек механизма в заданном положении.

*Аналитический* метод наиболее точный, менее трудоемкий, однако его применение ограничено механизмами с *небольшим числом звеньев* из-за сложности нахождения геометрических зависимостей, связывающих координаты ведомых звеньев с координатами ведущего звена.

## Тема 4.

---

Рассмотрим процесс образования следующего механизма. Число его степеней подвижности

$$w = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1.$$

Покажем, что данный механизм может быть получен путем присоединения к ведущему звену  $1$  и стойке  $0$ , т.е. начальному механизму, сначала звеньев  $2$  и  $3$ , а затем – звеньев  $4$  и  $5$ . В результате первого присоединения будем иметь механизм  $ABCD$ , имеющий одну степень подвижности

$$w = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1,$$

а в результате второго – исходный механизм  $ABCDEF$  с одной степенью подвижности.

## Тема 4.

---

Рассмотрим процесс образования следующего механизма. Число его степеней подвижности

$$w = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1.$$

Покажем, что данный механизм может быть получен путем присоединения к ведущему звену  $1$  и стойке  $0$ , т.е. начальному механизму, сначала звеньев  $2$  и  $3$ , а затем – звеньев  $4$  и  $5$ . В результате первого присоединения будем иметь механизм  $ABCD$ , имеющий одну степень подвижности

$$w = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1,$$

а в результате второго – исходный механизм  $ABCDEF$  с одной степенью подвижности.

.

## Тема 4.

---

Рассмотрим процесс образования следующего механизма. Число его степеней подвижности

$$w = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1.$$

Покажем, что данный механизм может быть получен путем присоединения к ведущему звену  $1$  и стойке  $0$ , т.е. начальному механизму, сначала звеньев  $2$  и  $3$ , а затем – звеньев  $4$  и  $5$ . В результате первого присоединения будем иметь механизм  $ABCD$ , имеющий одну степень подвижности

$$w = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1,$$

а в результате второго – исходный механизм  $ABCDEF$  с одной степенью подвижности.

.



## Тема 4.

---

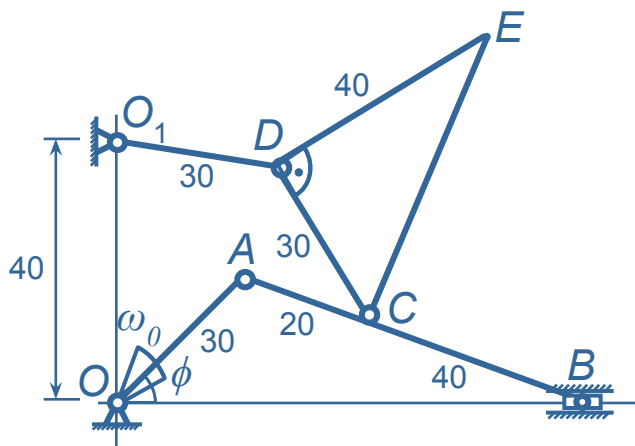
### *Порядок построения плана механизма.*

1. Задаться *масштабным коэффициентом* длин и вычислить *длины отрезков*, изображающих все звенья механизма, межцентровые расстояния, координаты КП и т.д..
2. *Отметить положение* центров КП и показать *траектории* движения всех звеньев.
3. Отметить *заданное положение* начального звена и *методом засечек*, т.е. пересечением длин звеньев с соответствующими траекториями движения, *определить положения остальных КП* механизма.
4. Полученные точки механизма *соединить* между собой.

Рассмотрим *пример* построения плана механизма в заданном положении начального звена.

---

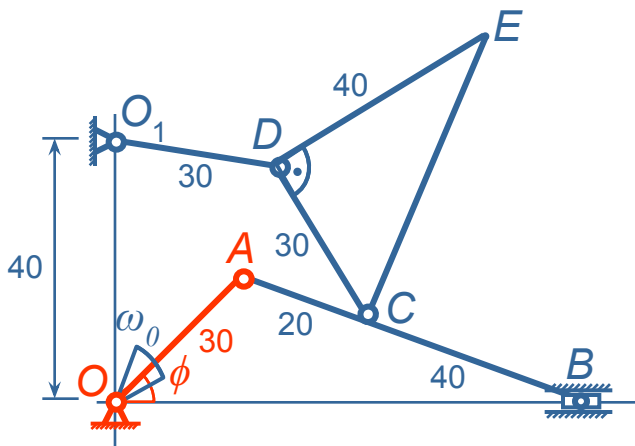
1. Начертить в принятом масштабе длин кинематическую схему механизма при  $\phi = 30^\circ$ .



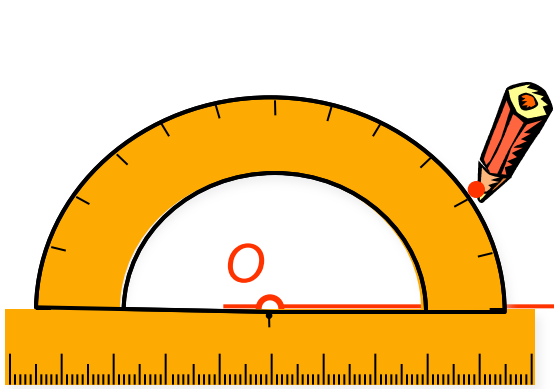
Выбираем  
масштаб длин

*Масштаб: в 1 см - 5 см*





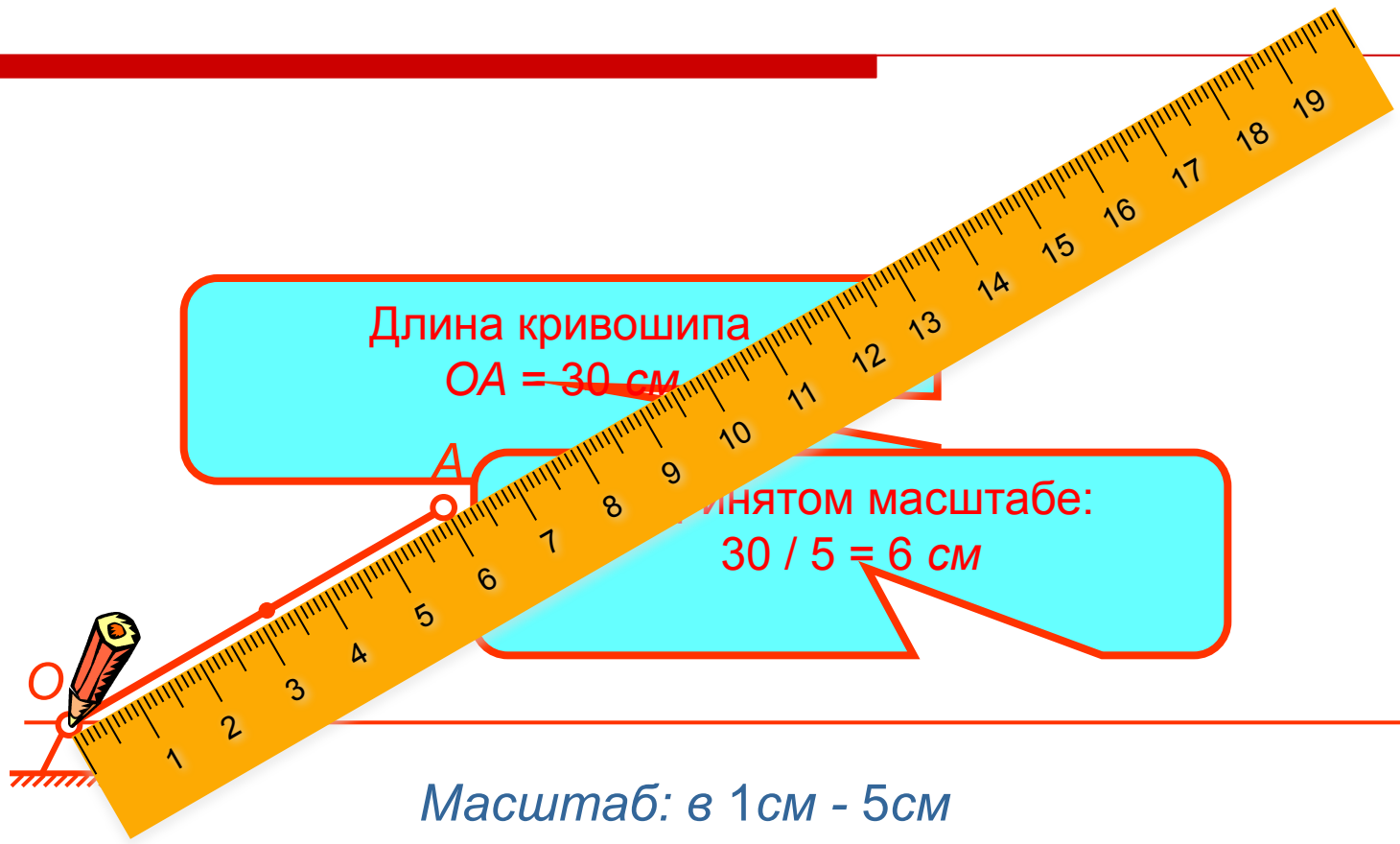
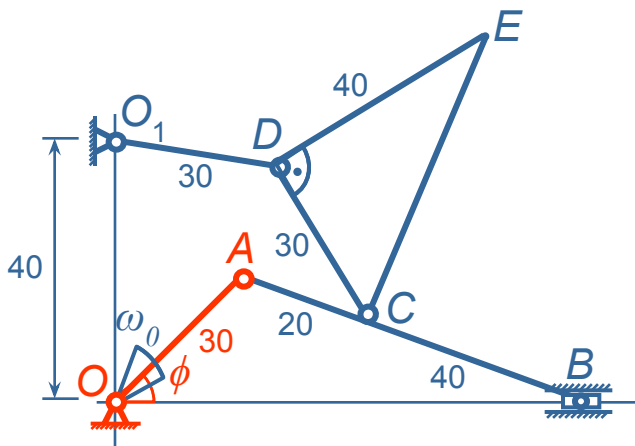
Строим кривошип  
OA

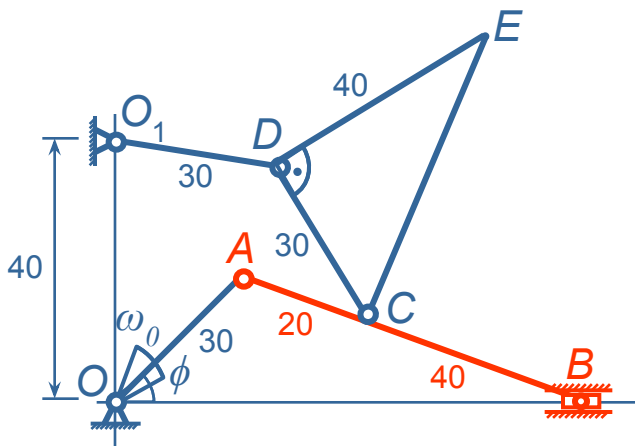


30  
0

Масштаб: в 1см - 5см



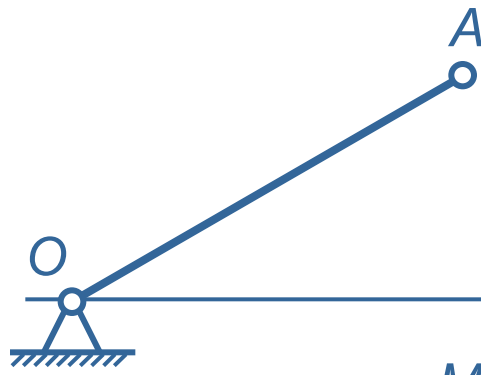




Строим звено  $AB$

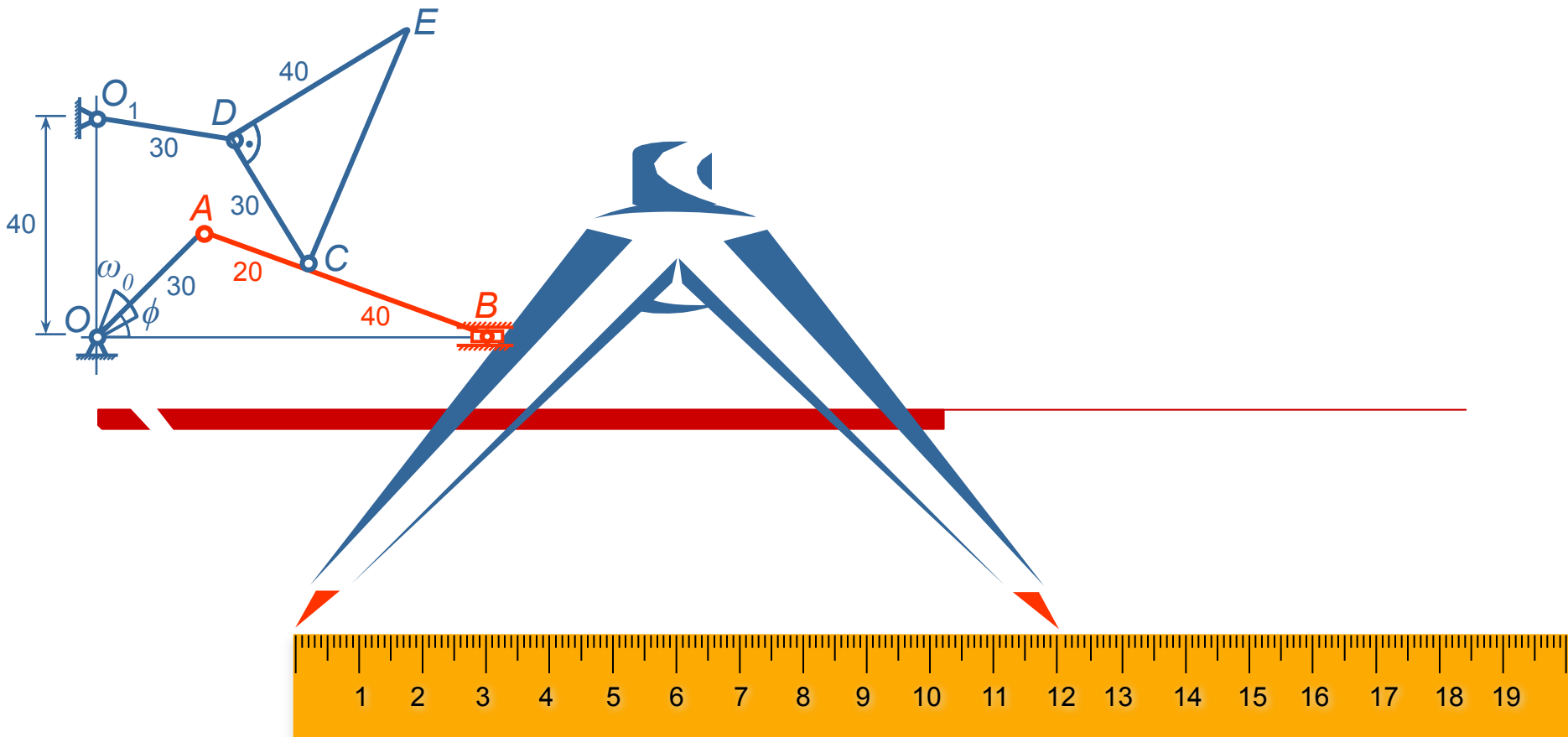
Длина звена  $AB = 60 \text{ см}$

В принятом масштабе:  
 $60 / 5 = 12 \text{ см}$

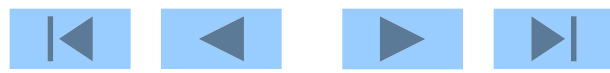


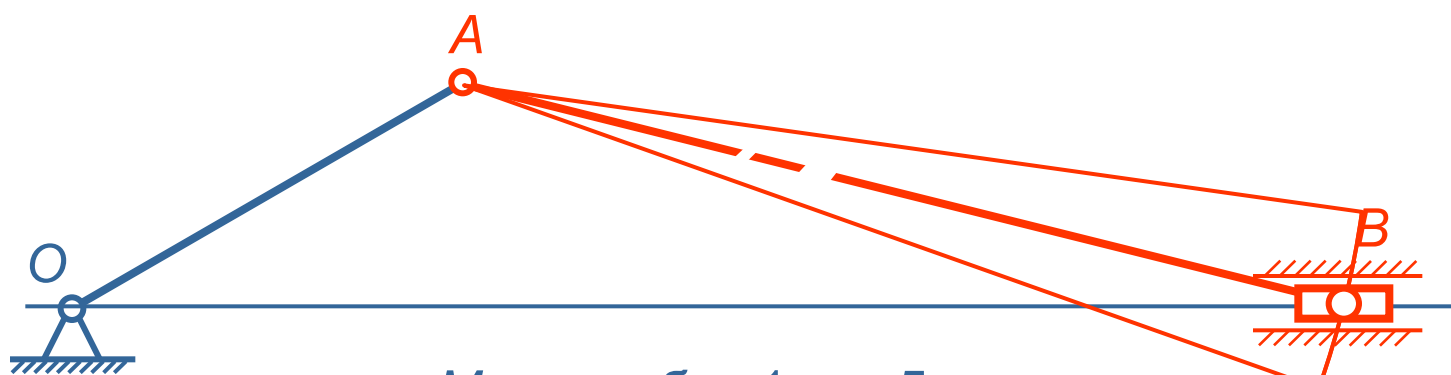
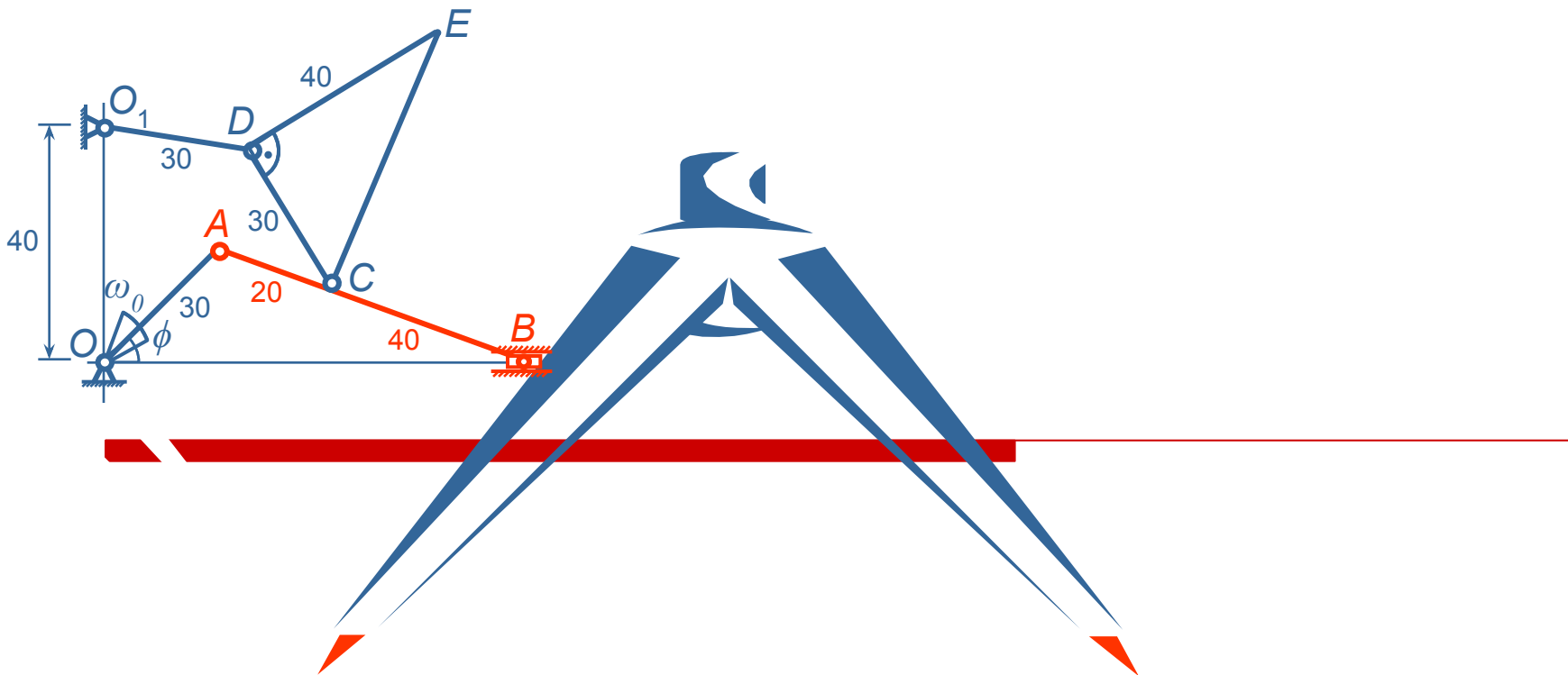
Масштаб: в 1 см - 5 см





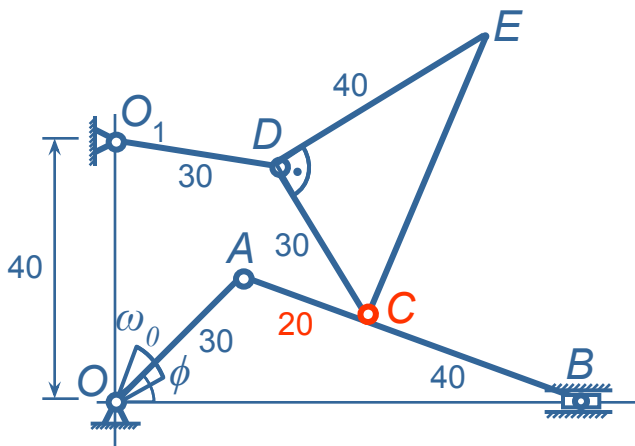
Масштаб: в 1см - 5см





Масштаб: в 1см - 5см

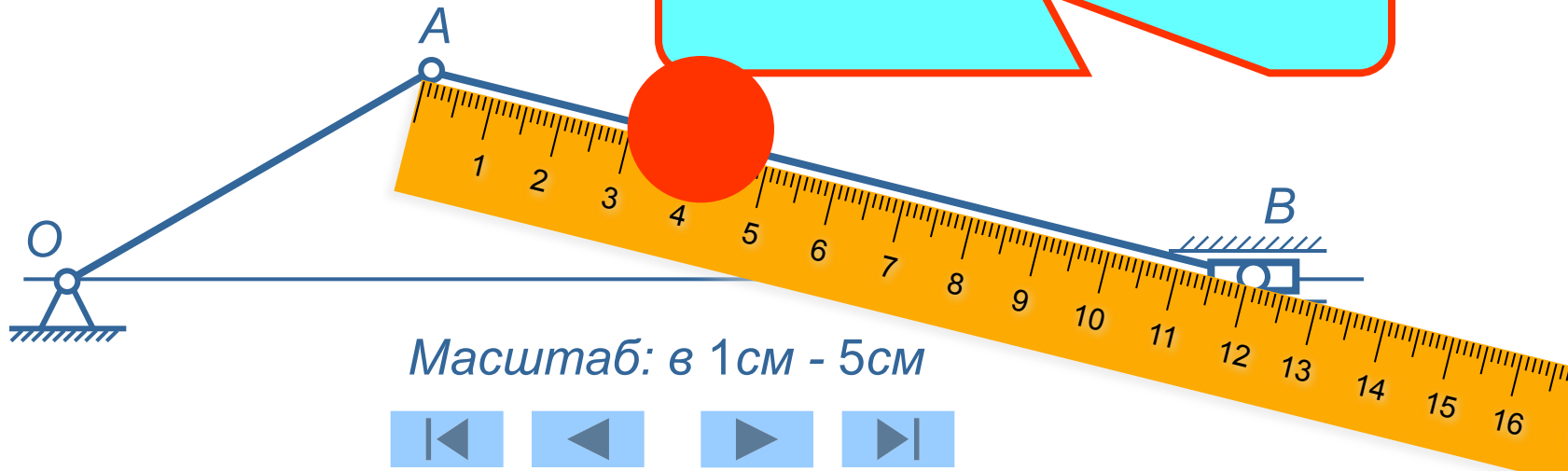




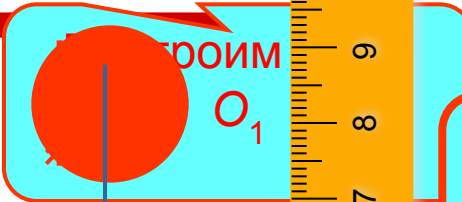
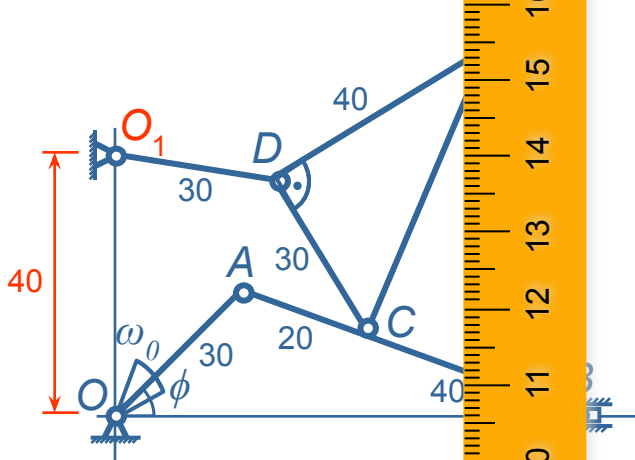
Построим точку C

Расстояние  
 $AC = 20 \text{ см}$

В принятом масштабе:  
 $20 / 5 = 4 \text{ см}$







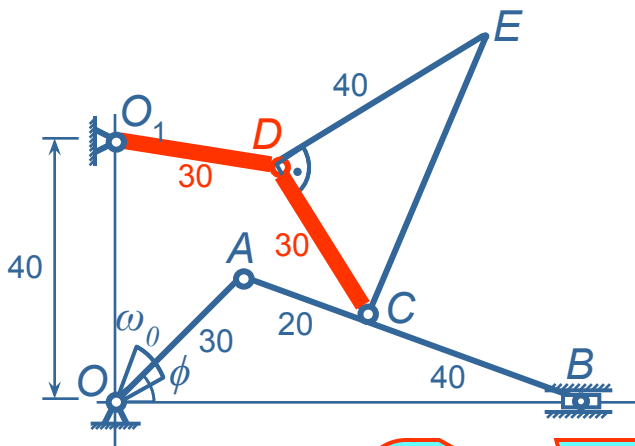
Расстояние  $OO_1 = 40 \text{ см}$

В принятом масштабе:  
 $40 / 5 = 8 \text{ см}$



Масштаб: в 1 см - 5 см

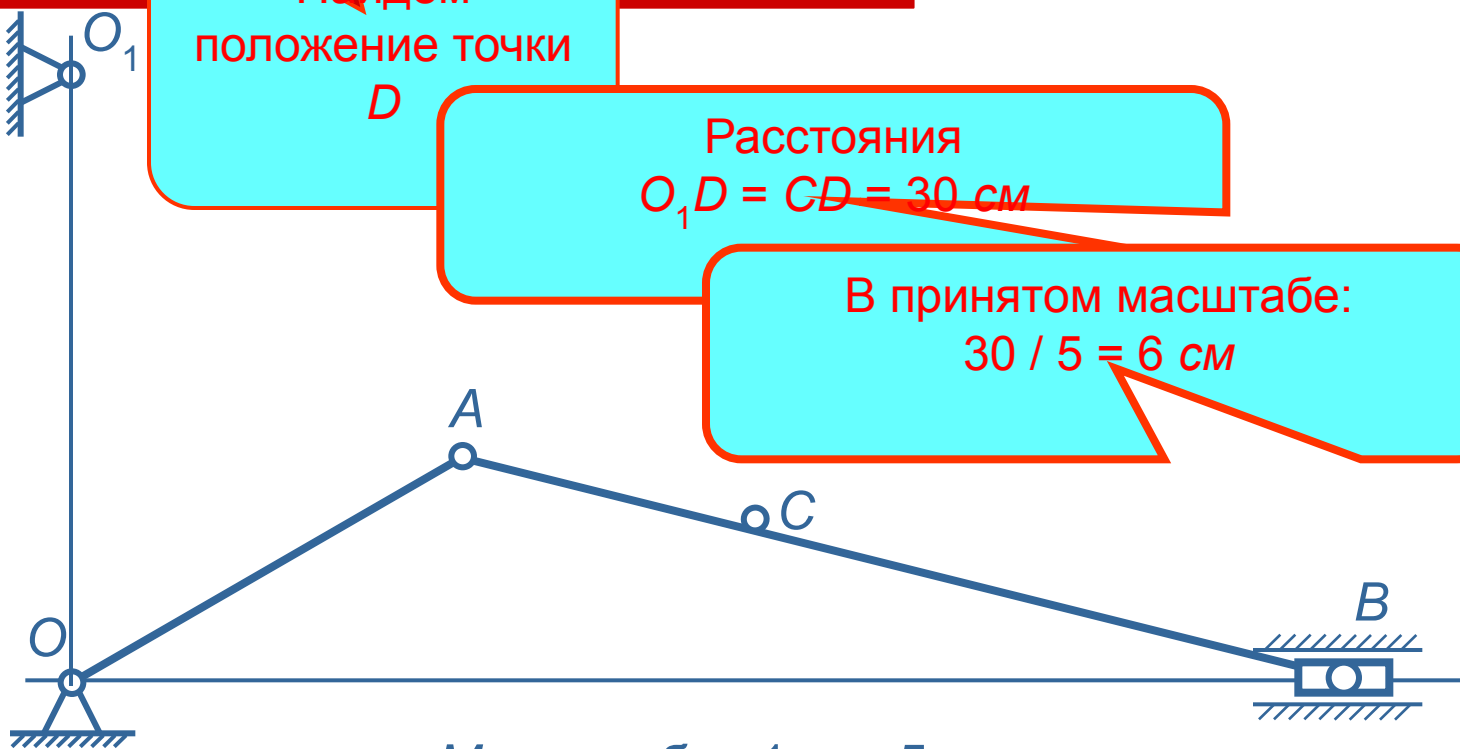




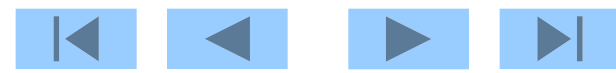
Найдем  
положение точки  
 $D$

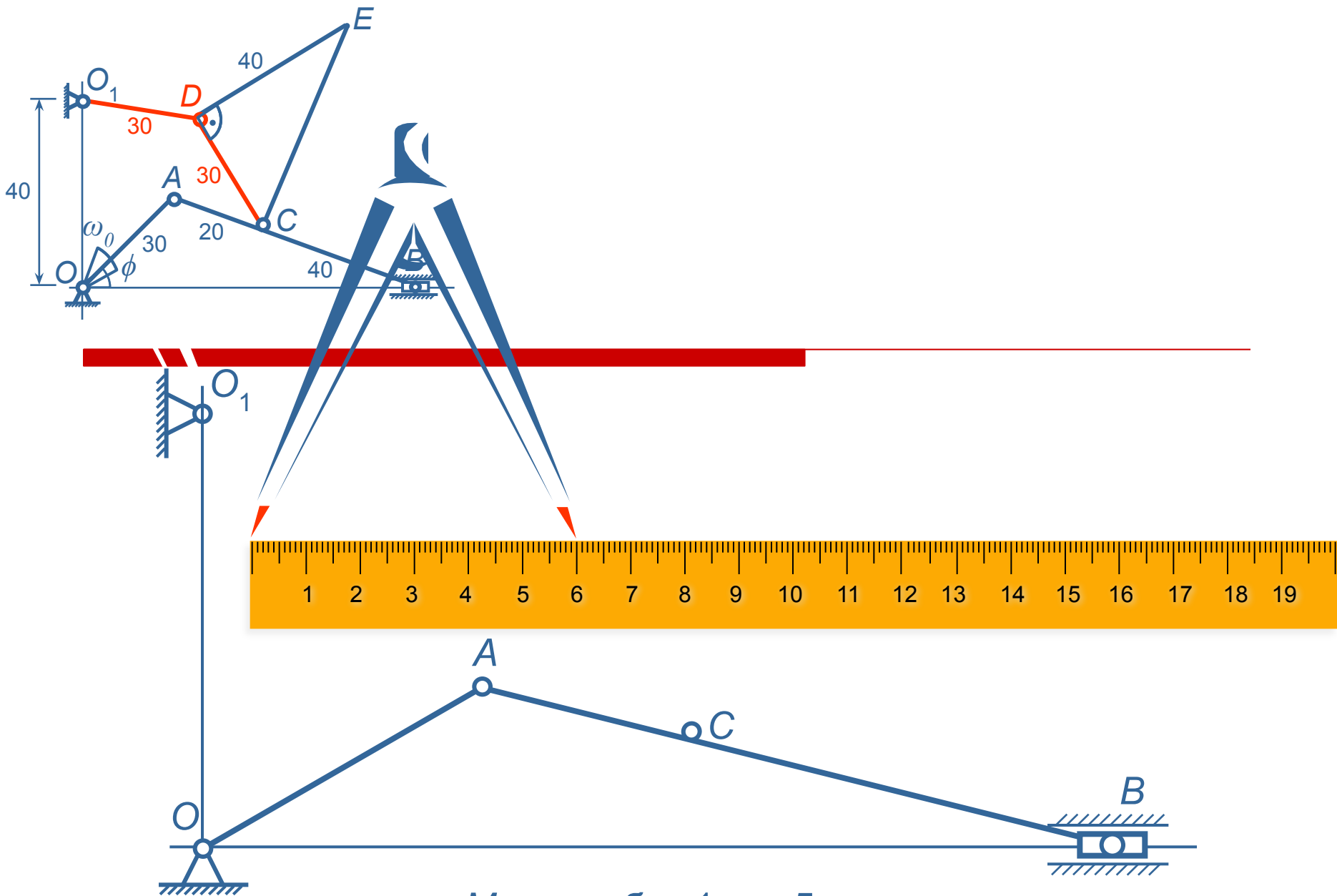
Расстояния  
 $O_1D = CD = 30$  см

В принятом масштабе:  
 $30 / 5 = 6$  см



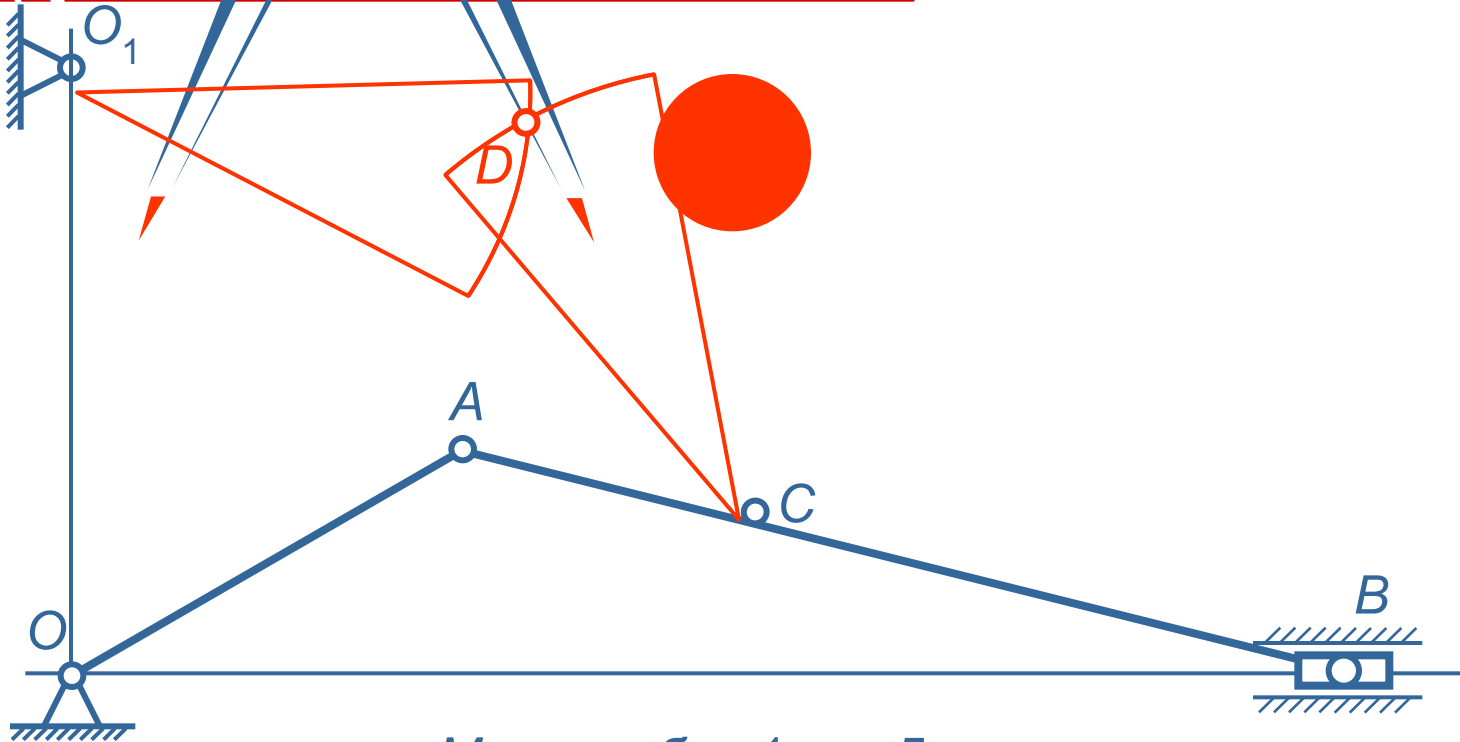
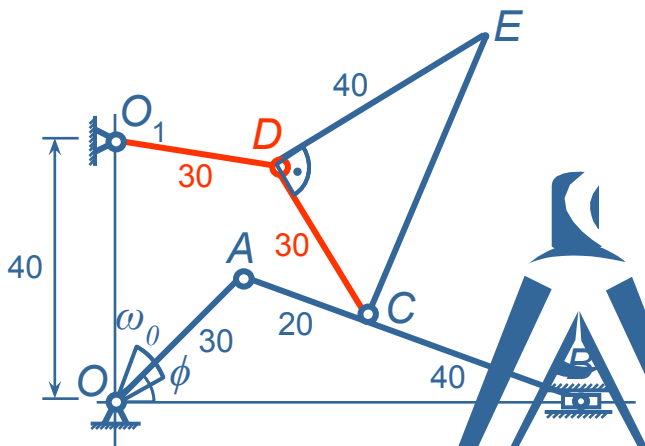
Масштаб: в 1 см - 5 см





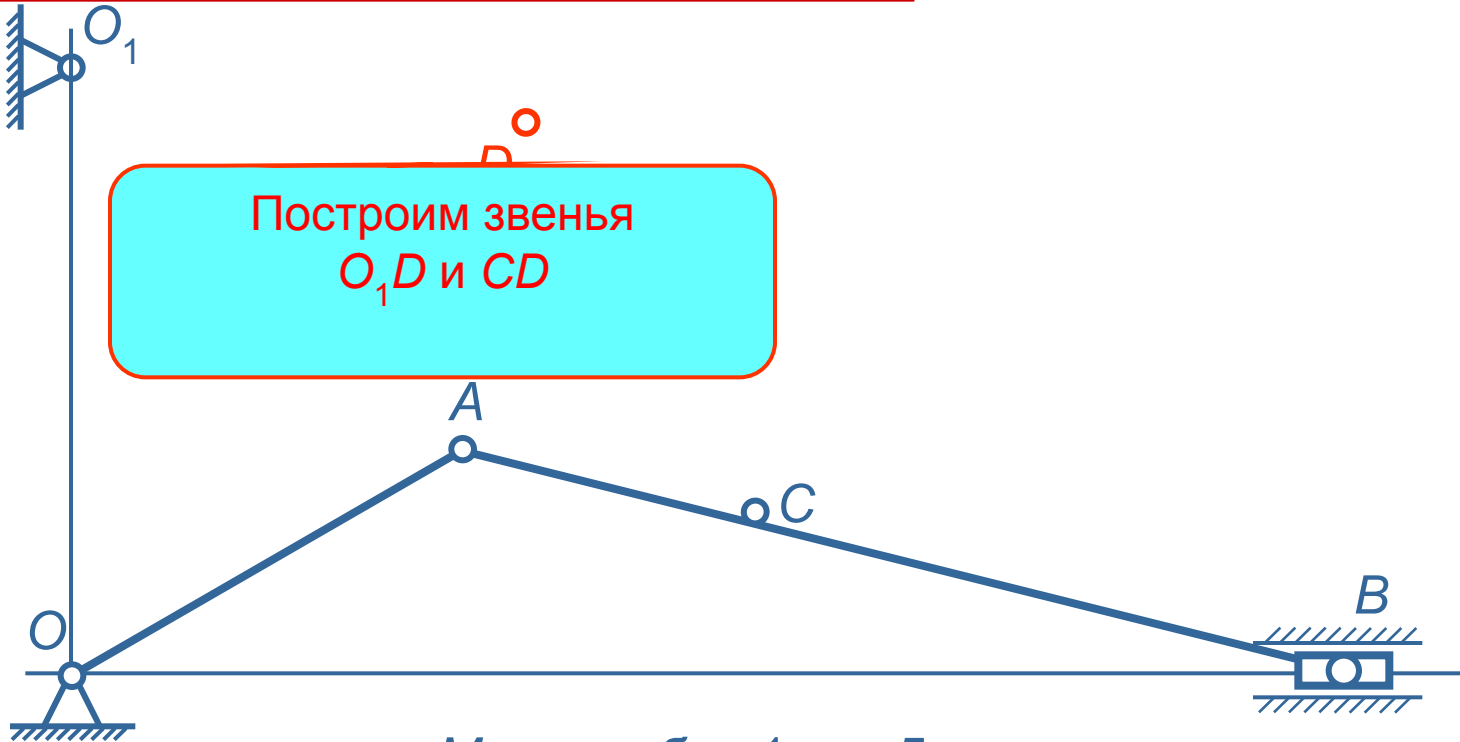
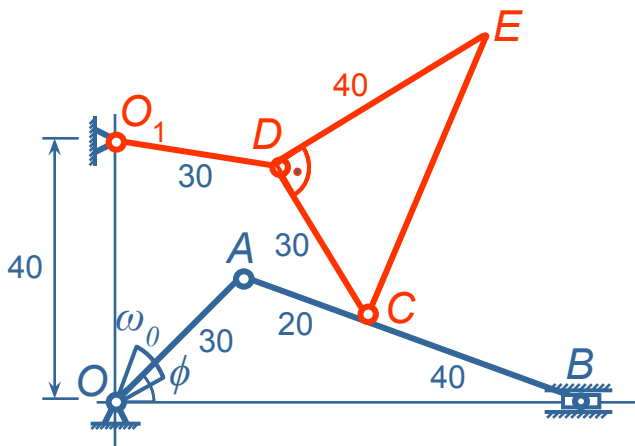
Масштаб: в 1 см - 5 см





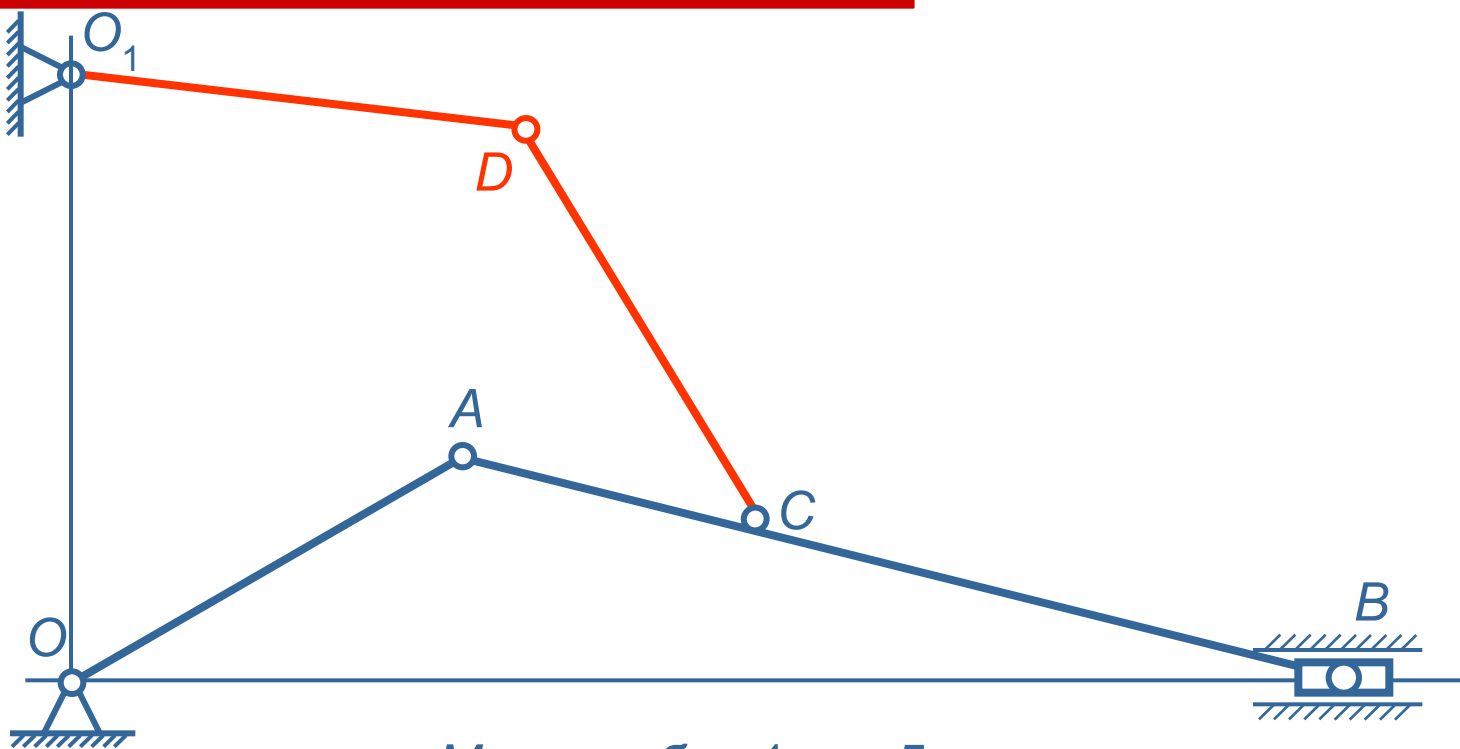
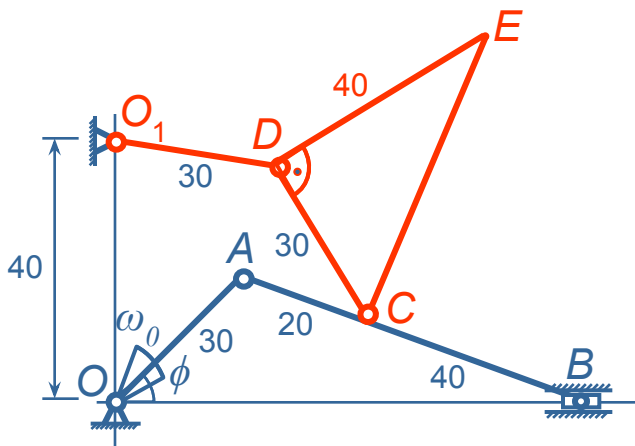
Масштаб: в 1см - 5см





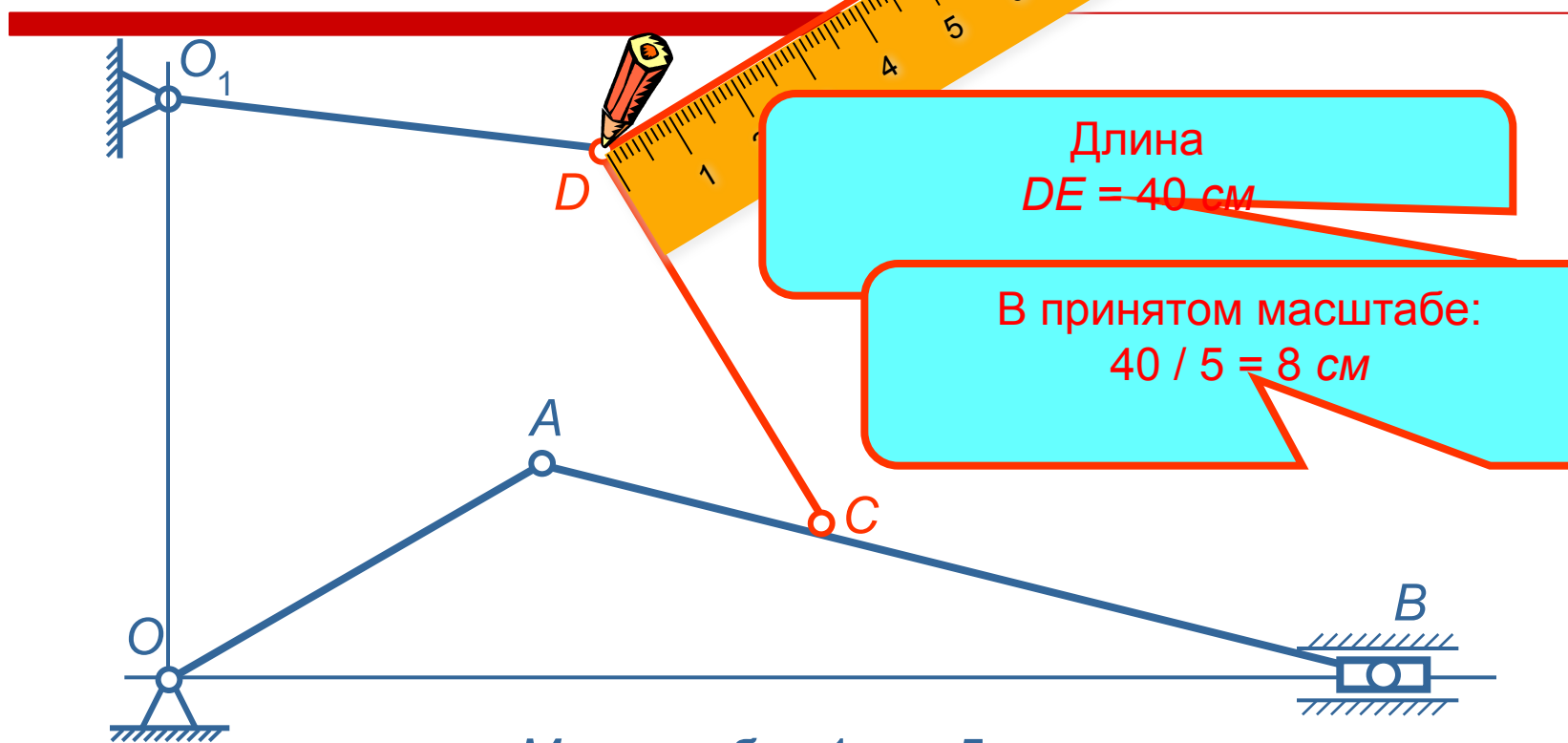
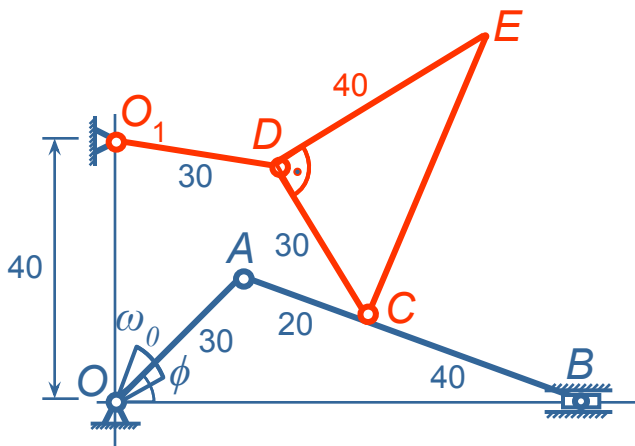
Масштаб: в 1см - 5см





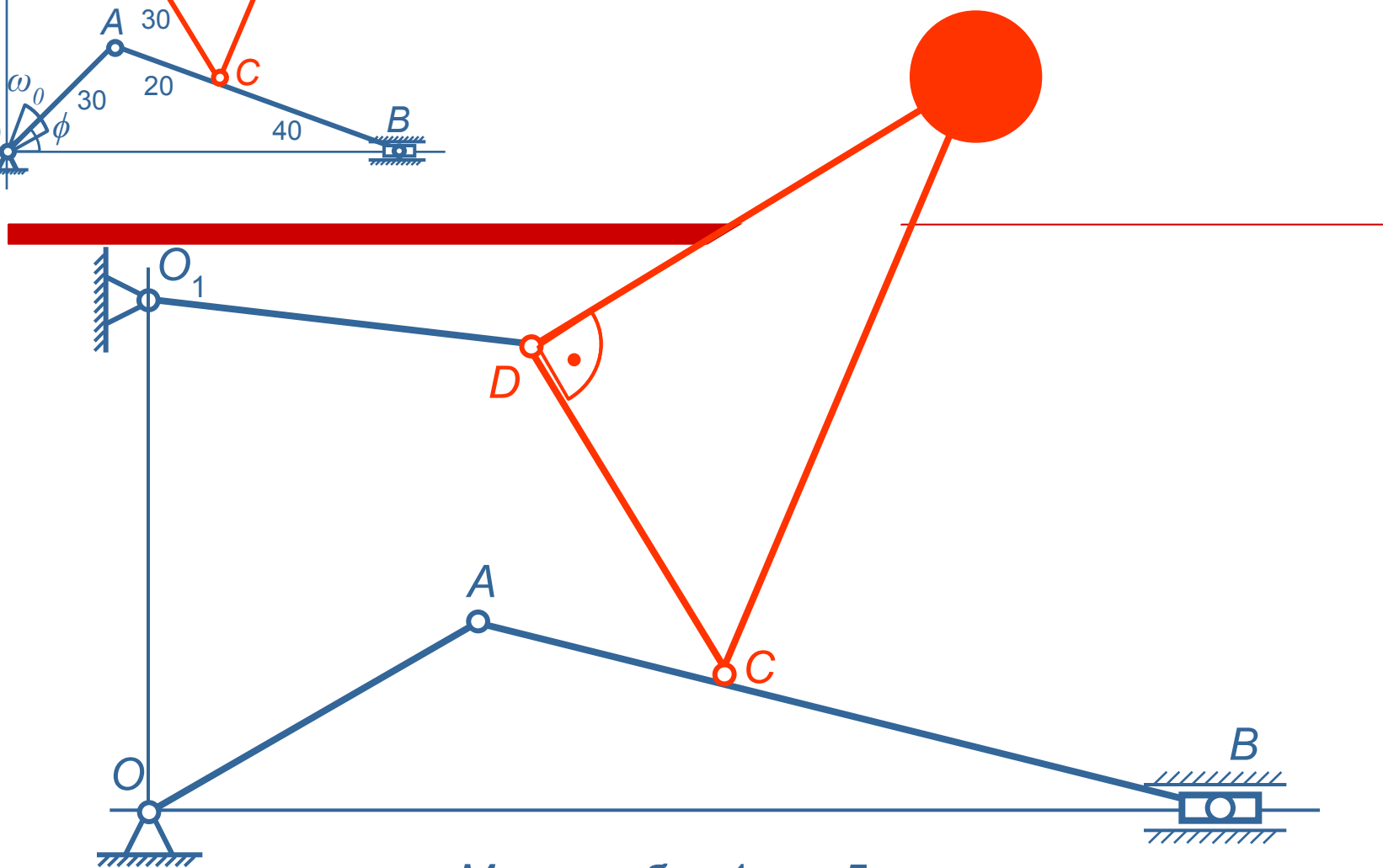
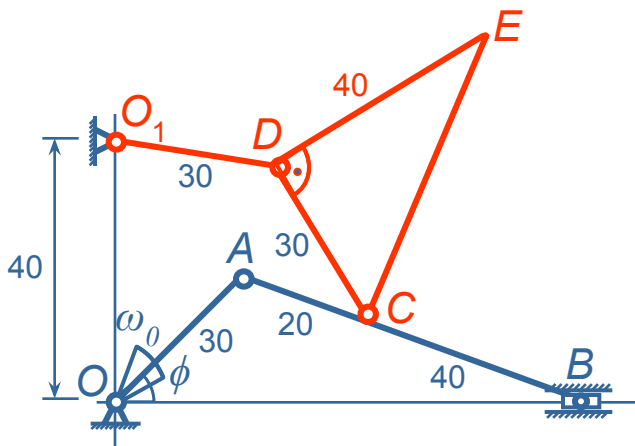
Масштаб: в 1 см - 5 см





Масштаб: в 1 см - 5 см

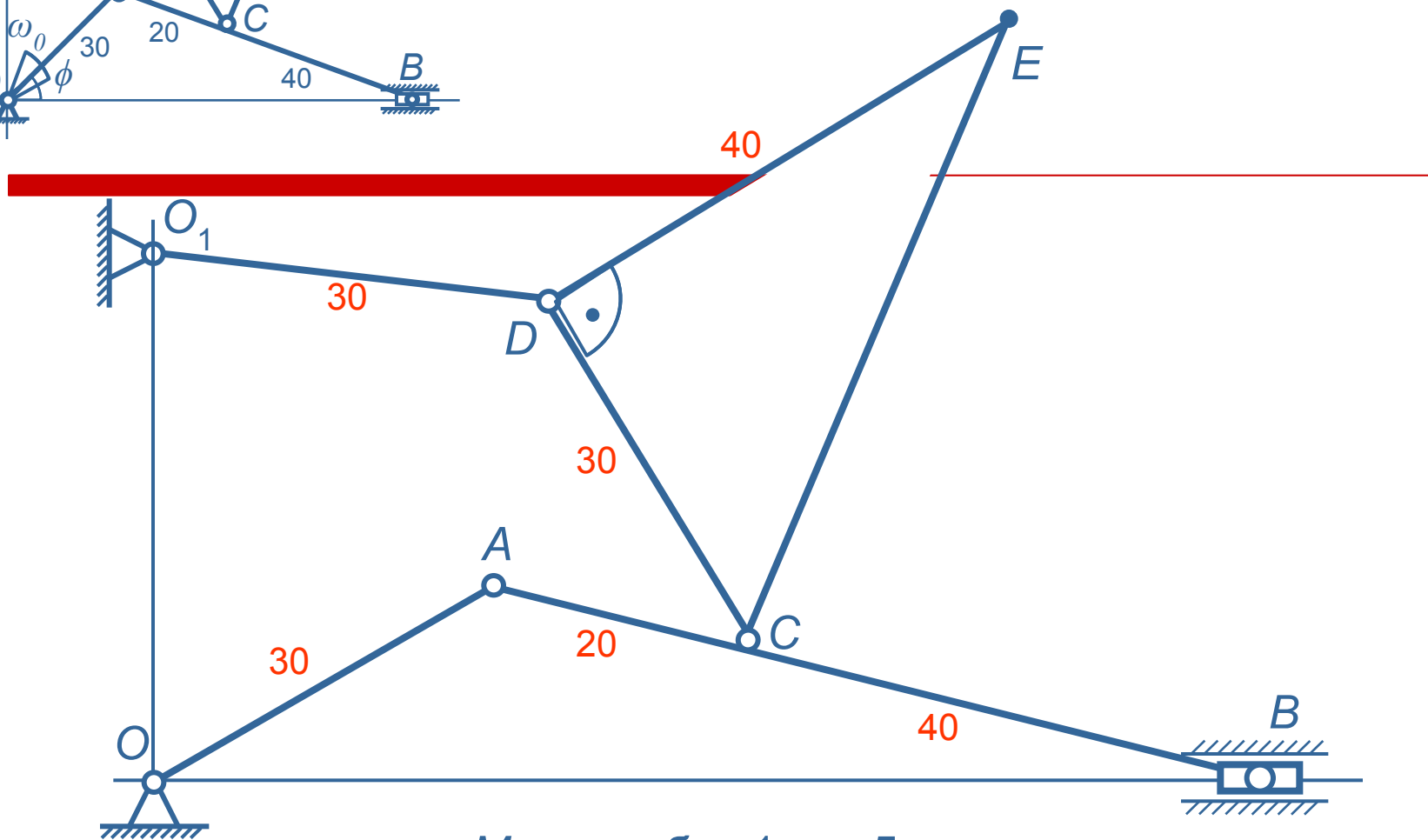
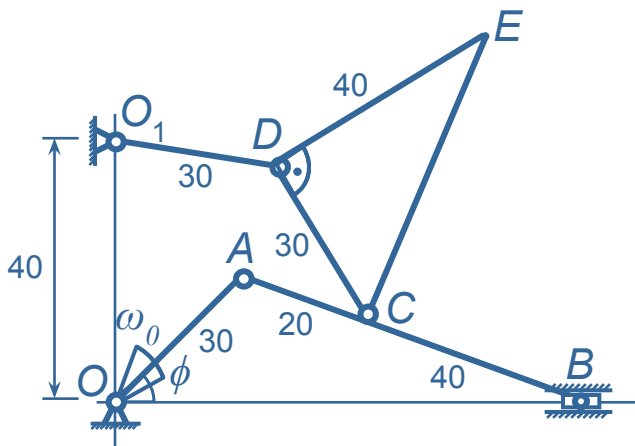




Масштаб: в 1см - 5см







Масштаб: в 1см - 5см



# Тема 4.

---

## **4.3. Графический метод кинематического анализа**

### **4.3.1. Построение кинематических диаграмм**

Графический метод кинематического анализа основывается на построении кинематических диаграмм перемещений и графическом дифференцировании этих диаграмм.

*Кинематической диаграммой* называется графическое изображение основных кинематических характеристик движения за полный цикл движения.

Кинематическая диаграмма *перемещений* ведомого звена или отдельной его точки строится на основе *совмещенных планов механизма* при различных последовательных положениях ведущего звена.

# Тема 4.

---

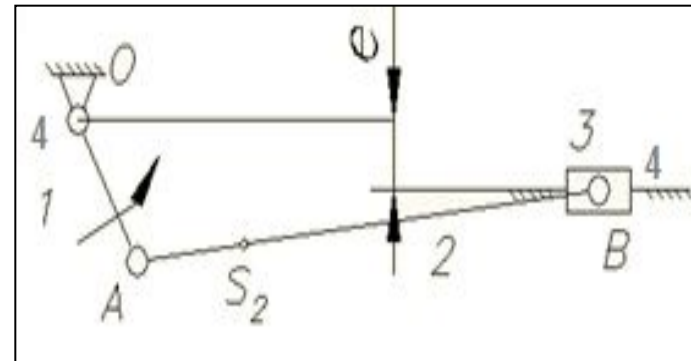
## *Порядок построения совмещенных планов механизма.*

1. Задаться *масштабным коэффициентом* длин и вычислить *длины отрезков*, изображающих все звенья механизма, *межцентровые расстояния, координаты КП* и т.д..
2. Отметить *положения КП* и показать *траектории движения* всех звеньев.
3. Задать *начальное положение* механизма, соответствующее одному из *крайних* положений ведущего или начального звена (например, когда кривошип и шатун располагаются на одной линии).
4. *Траекторию движения* ведущего звена *разделить на несколько* (8, 12, 24 и т.д.) равноотстоящих *положений*.
5. *Методом засечек*, т.е. пересечением длин звеньев с соответствующими траекториями движения, *определить положения остальных точек* механизма.
6. *Одноименные точки* механизма *соединить* между собой.

# Тема 4.

Рассмотрим *пример* построения совмещенных планов положений механизма.

Схема механизма



Исходные данные

$N$ Вар	$V_{ср.}$ м/сек.	$S$ мм	$\theta_{р, max}$ град.	$P_{рез.}$ кг	$\delta$
1	0,80	200	11	300	1/45

# Тема 4.

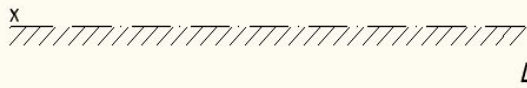
Рассмотрим процесс образования следующего механизма. Число его степеней подвижности

$$w = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1.$$

Покажем, что данный механизм может быть получен путем присоединения к ведущему звену  $1$  и стойке  $0$ , т.е. начальному механизму, сначала звеньев  $2$  и  $3$ , а затем – звеньев  $4$  и  $5$ . В результате первого присоединения будем иметь меха



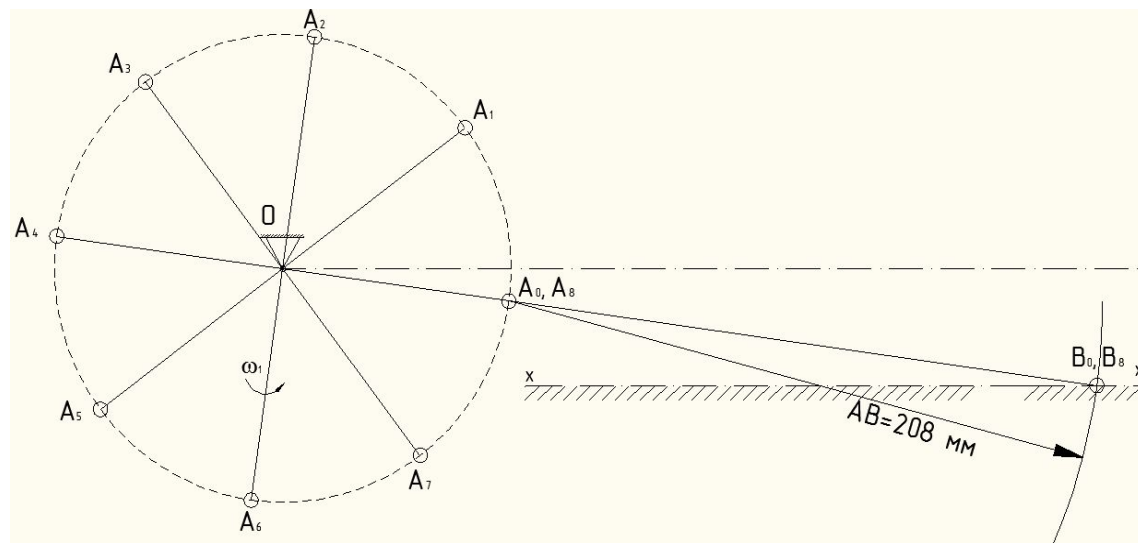
одну степень подвижности  $w$   
а в результате присоединения звеньев  $4$  и  $5$  к механизму  $ABCDEF$  с одной степенью подвижности



механизм  $ABCDEF$  с

# Тема 4.

3. Задаем **начальное положение** механизма, соответствующее одному из крайних положений ведущего звена, когда кривошип  $OA$  и шатун  $AB$  располагаются на **одной линии**: засечкой из т.  $O$  радиусом, равным  $AB = OA + AB$ , находим т.  $B_0$ .
4. **Траекторию** движения т.  $A$  делим на **8 равноотстоящих положений**.



# Тема 4.

5. *Методом засечек*, т.е. пересечением длин звеньев с соответствующими траекториями движения, определяем *положения остальных точек* механизма.

6. Одноименные точки механизма *соединяем* между собой.

