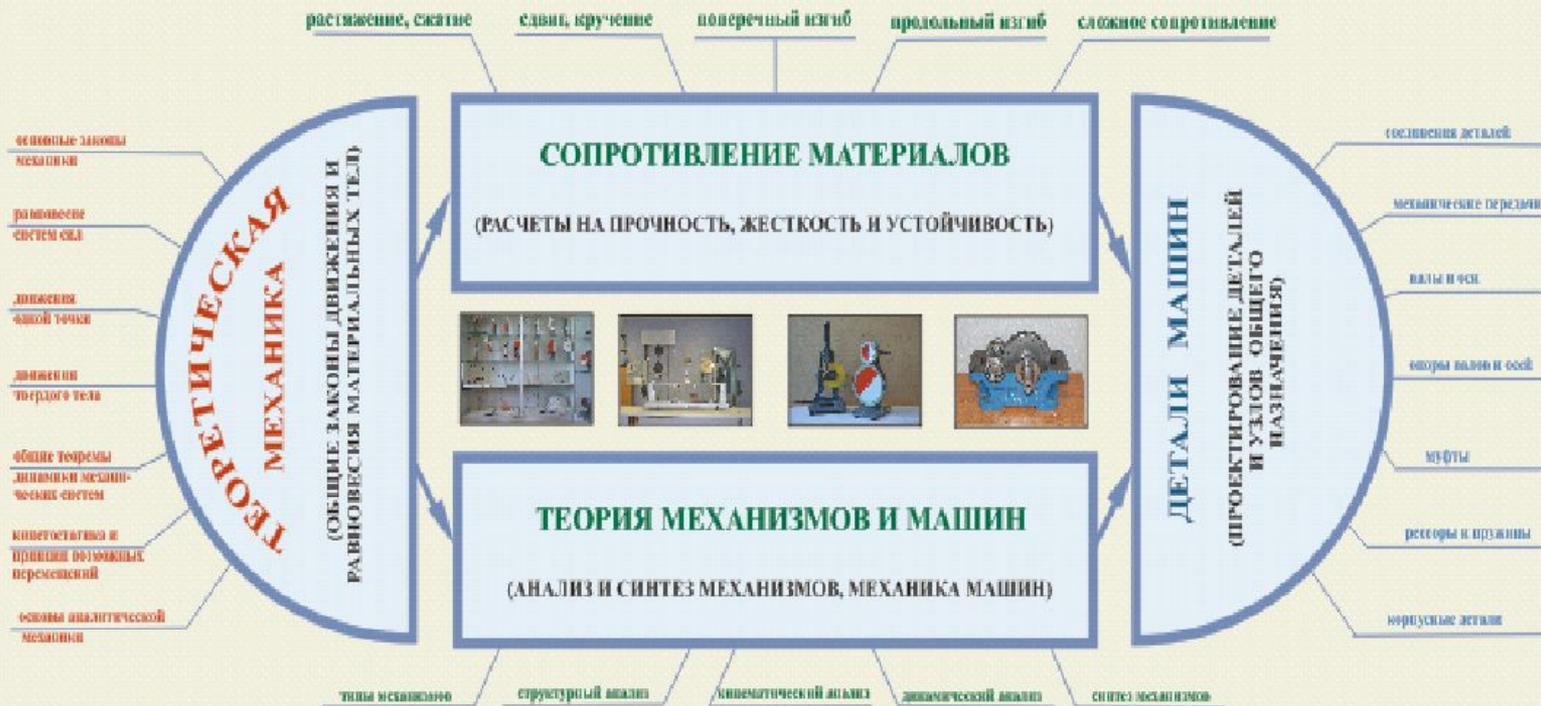


Теория МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

СТРУКТУРНО - ЛОГИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ДИСЦИПЛИН



ЛИТЕРАТУР

1. Артоболевский М.И. Теория механизмов и машин. - М.: Наука, 1988. - 632с.

2. Фролов К.В., Попов С.А., Мусатов А.К., Тимофеев Г.А. Теория механизмов и механика машин / Учебник для вузов. – М.: изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 688 с.

Дисциплина ТММ как и многие прикладные разделы механики возникла в начале 30-х г. Основоположниками являются Л.Эйлер, Леонардо де Винчи, Ш.Кулон, П.Чебышев. С19в.и по настоящее время приобрела глубокий научный подход в создании и изобретении большого количества машин и механизмов применяемых в различных отраслях промышленности, в том числе и в нефтегазовой отрасли.

ТММ - научная дисциплина об общих методах исследования, построения, кинематики и динамики механизмов.

При изучении дисциплины студенты должны знать термины, определения и обозначения различных параметров машин и механизмов, уметь выполнять структурный анализ конкретных механизмов и определять кинематические и динамические параметры.

Целью изучения дисциплины является научить будущего специалиста понимать и оценивать механические процессы и явления возникающие в типовых механизмах и применять их в практической деятельности.

**СТРУКТУРНЫЙ
И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ.**

1. Основные понятия и определения
2. Структурный анализ рычажных механизмов
3. Кинематический анализ рычажных механизмов. Метод планов скоростей.

Машина – это техническая система, выполняющая механическое движение для преобразования энергии, материалов и информации. Все машины предназначены для облегчения физического и умственного труда человека, т. е. для повышения его качеств и производительности.

МАШИНА

```
graph TD; A[МАШИНА] --> B[РАБОЧАЯ]; A --> C[ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ]; A --> D[КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ]; A --> E[ИНФОРМАЦИОННАЯ];
```

РАБОЧАЯ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ

КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ

ИНФОРМАЦИОННАЯ

Механизм – это техническая система, состоящая из подвижных звеньев, стойки и кинематических пар, образующих кинематические цепи.

МЕХАНИЗМ

ПОДВИЖНЫЕ

ЗВЕНЬЯ

НЕПОДВИЖНЫЕ

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ
ПАРЫ

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

ПРОСТЫЕ

СЛОЖНЫЕ

ЗАМКНУТЫЕ

РАЗОМКНУТЫЕ

1 класс

2 класс

3 класс

4 класс

5 класс

Назначение механизмов преобразования перемещений входных звеньев и приложенных к ним силовых факторов в требуемые перемещения и силовые факторы выходных звеньев.

Любые механизмы должны удовлетворять требованиям, заданным в техническом задании на их проектирование, соответствие которым определяет качество механизмов. В общем случае качество структуры механизма определяется простотой конструкции, технологичностью звеньев, экономичностью, надежностью, долговечностью, габаритами и массой.

Оценка работоспособности механизма осуществляются по эксплуатационным факторам, к которым относятся: прочность, жесткость, износостойкость, виброустойчивость, теплостойкость

Оценка работоспособности

МЕХАНИЗМ

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ

ПРОЧНОСТЬ

ЖЕСТКОСТЬ

ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ

ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Техническая система предназначена для выполнения определенных функций и имеет собственную структуру.

СТРУКТУРА ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

ДЕТАЛИ

УЗЛЫ

Деталь – это элемент структуры технической системы, не имеющий внутренних связей.

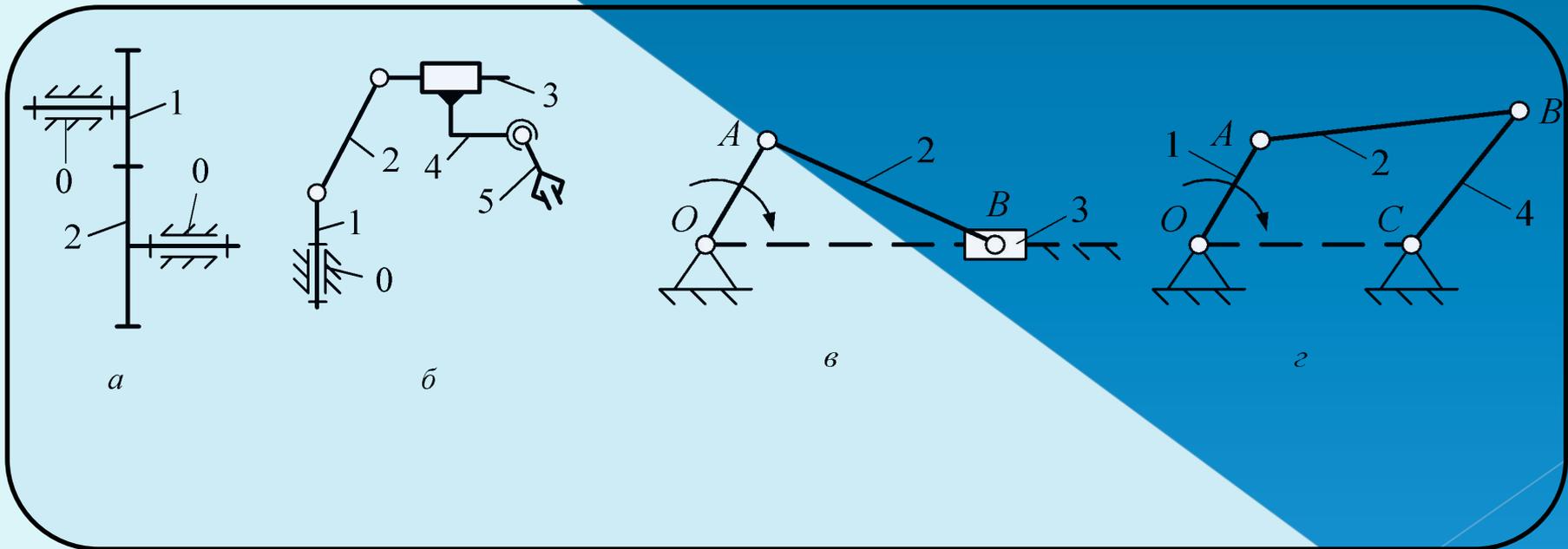
Узел – это совокупность нескольких деталей конструктивно или функционально связанных между собой.

Механизмы предназначены для передачи и преобразования перемещений входных звеньев и приложенных к ним силовых факторов в требуемые перемещения и силовые факторы выходных звеньев.

Механизмы классифицируются:

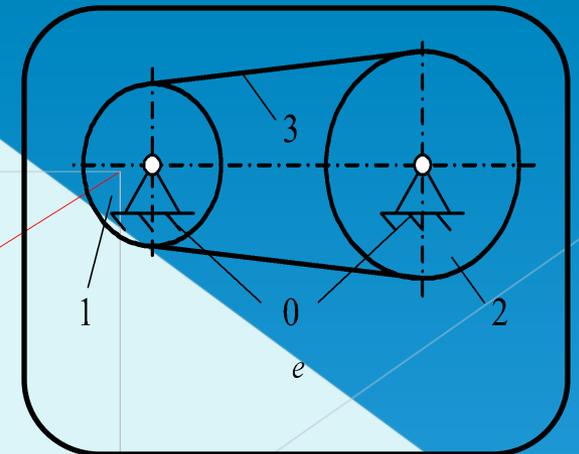
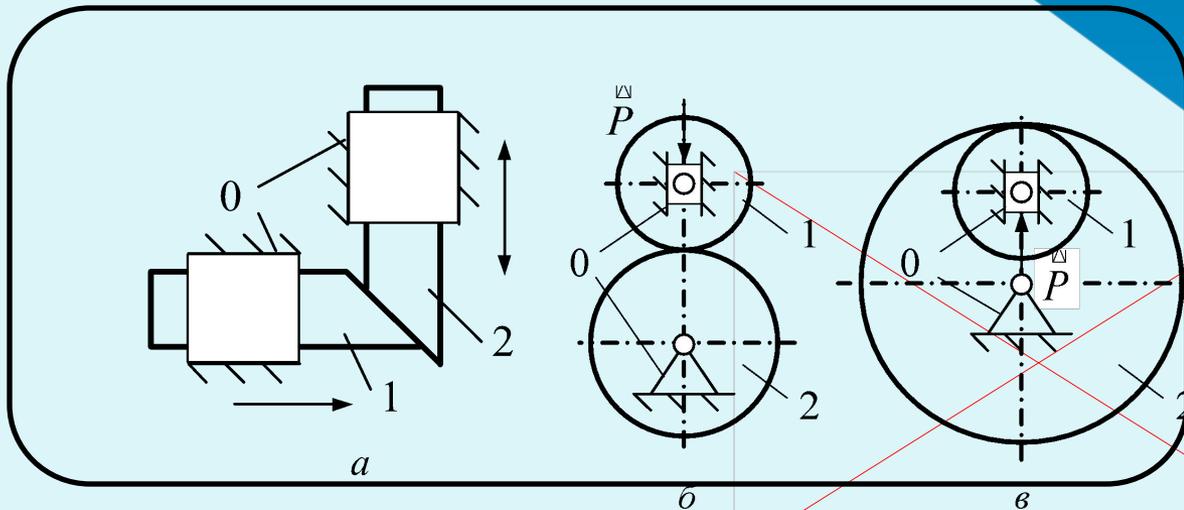
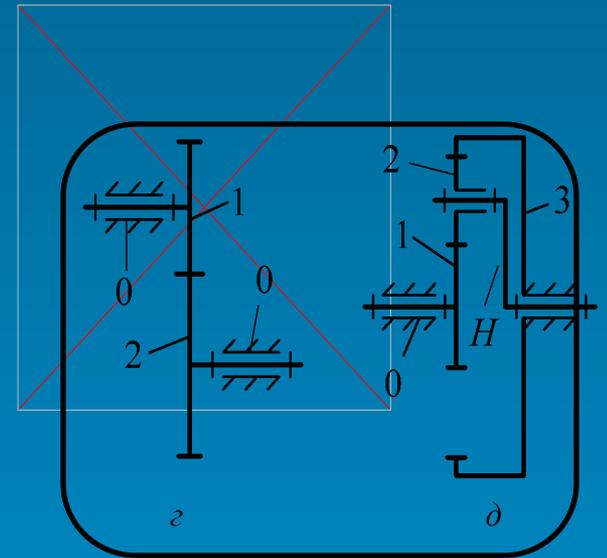
1) по числу подвижностей механизма

- механизмы с подвижностью равной единице (а, в, г);
- механизмы с подвижностью больше единицы (б).



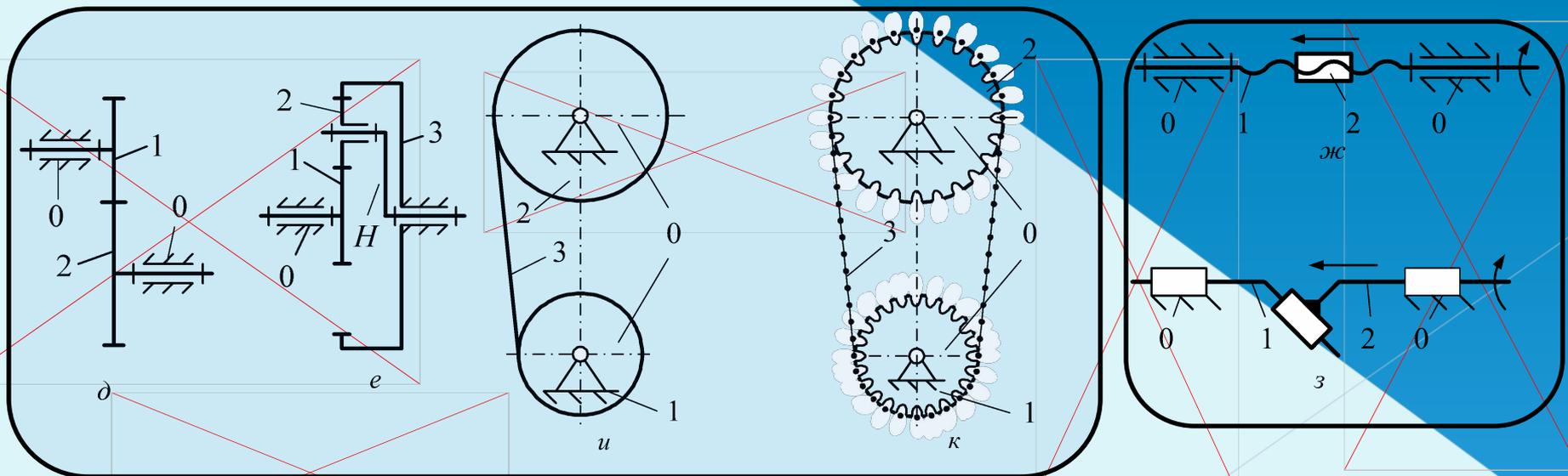
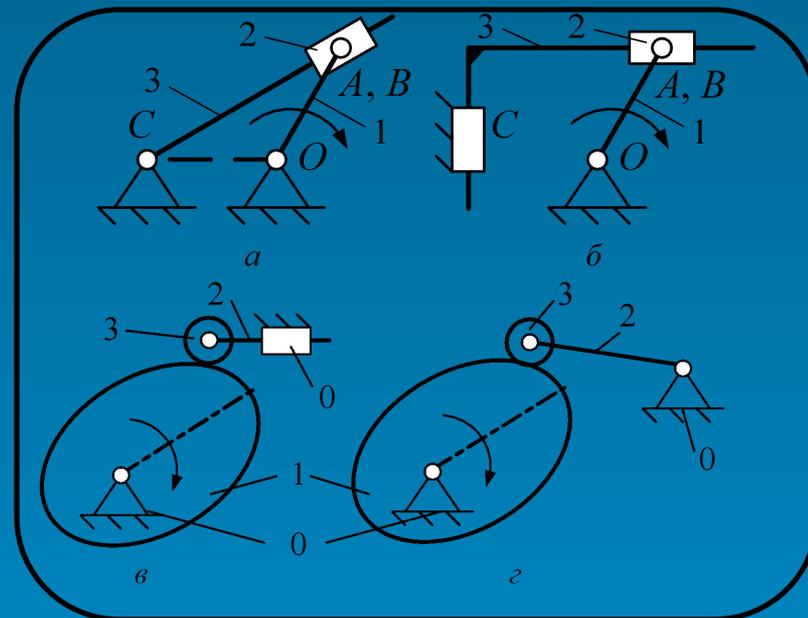
2) по способу передачи и преобразования потока механической энергии

- механизмы фрикционные (а, б, в);
- механизмы зацепления (г, д)
- механизмы с гибкой связью (е).



3) по конструктивному исполнению звеньев:

- механизмы рычажные (а, б);
- механизмы кулачковые (в, г);
- механизмы зубчатые (д, е);
- механизмы винтовые (ж);
- механизмы клиновые (з);
- механизмы ременные (и);
- механизмы цепные (к).



Типовой механизм – это простой механизм, имеющий при различном функциональном назначении широкое применение в машинах разных видов.

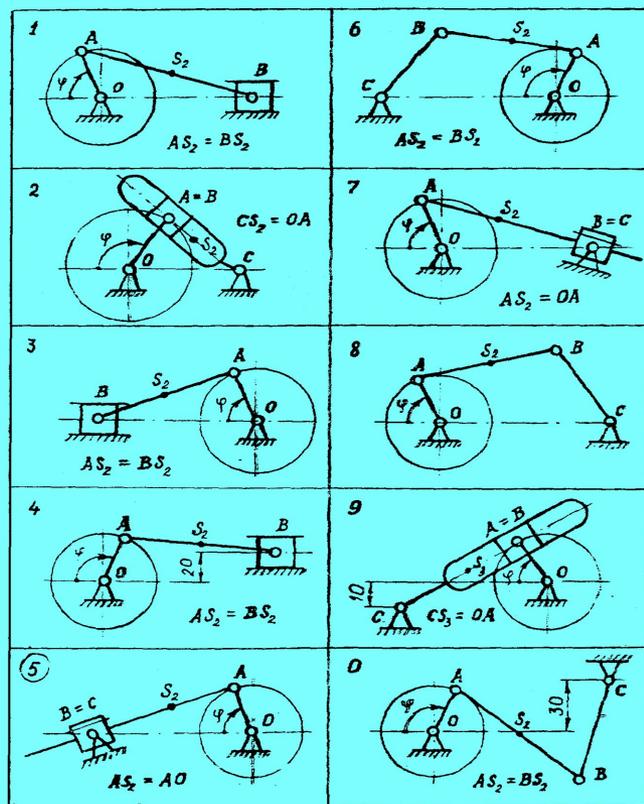


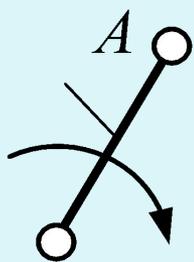
Рис. 5

14

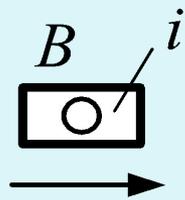
КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕНЬЕВ

-простое звено (одно или двух вершинное) – это звено, входящее в состав двух и более кинематических пар, через геометрические центры которых возможно провести одну прямую (а, б, в);

-сложное или составное звено (трех и более вершинное) – это звено, входящее в состав трех и более кинематических пар, через геометрические центры которых невозможно провести одну прямую (г, д).



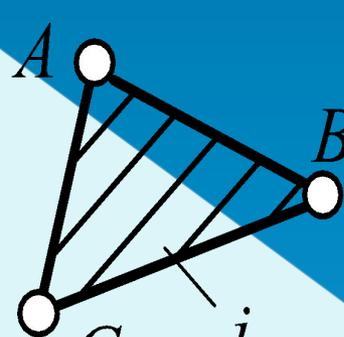
а



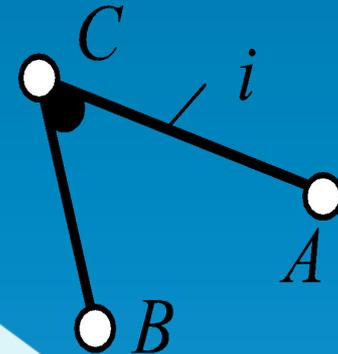
б



в



г



д

Простые звенья - а,б,в, сложные или составные звенья – г,д.

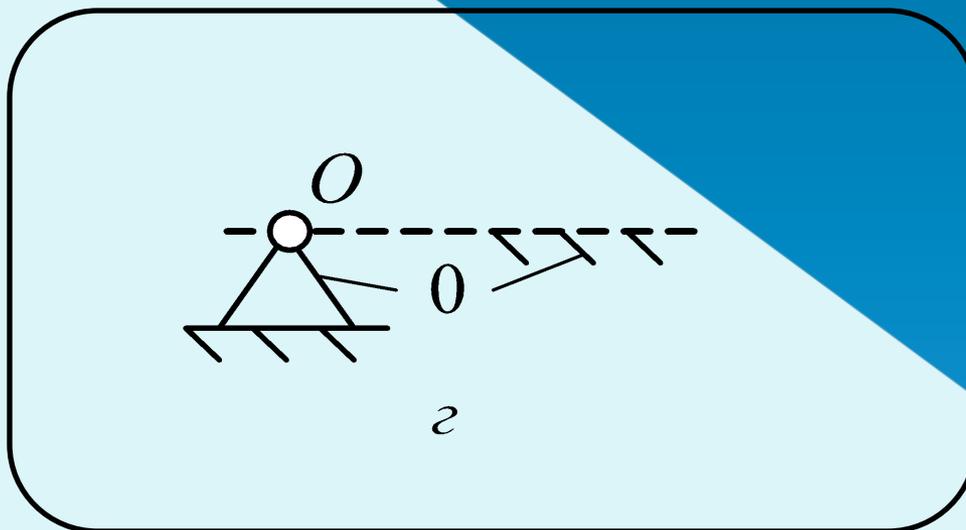
по служебному назначению звенья классифицируются:

-входное или ведущее звено – это звено механизма, которому сообщается заданное движение и соответствующие силовые факторы (силы и моменты пар сил);

-выходное звено – это звено механизма, на котором получают требуемое движение и требуемые силовые факторы;

-промежуточное звено – это звено механизма, расположенное между входным и выходным звеньями и предназначенное для передачи движения и преобразования силовых факторов.

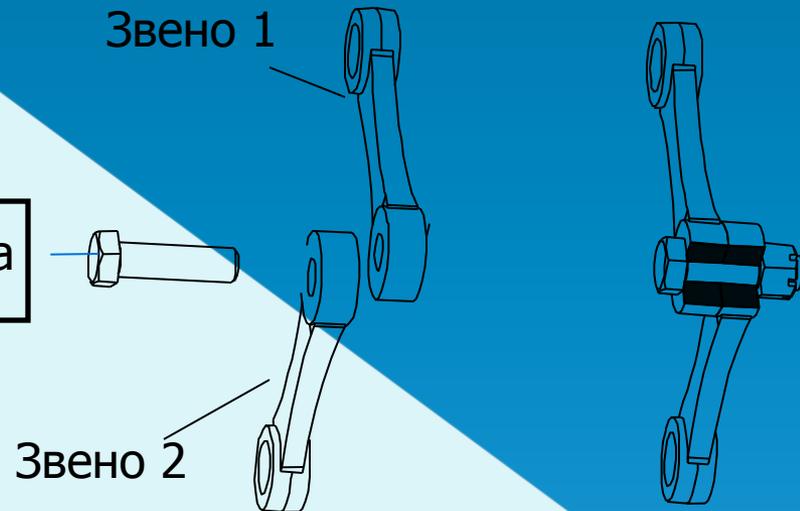
Неподвижное звено называют стойкой. За стойку принимают то звено, относительно которого изучают законы движения всех других звеньев. Например, в станках это станина, в редукторах – корпус, в автомобилях – шасси или кузов и т.п. Стойка в исследуемом механизме одна, а соединений к стойке может быть сколько угодно.



КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ПАРА

1. Соединение 2-х звеньев
2. Относительное движение звеньев.

Вращательная кинематическая пара



Две подвижно соединенные детали образуют *кинематическую пару*.

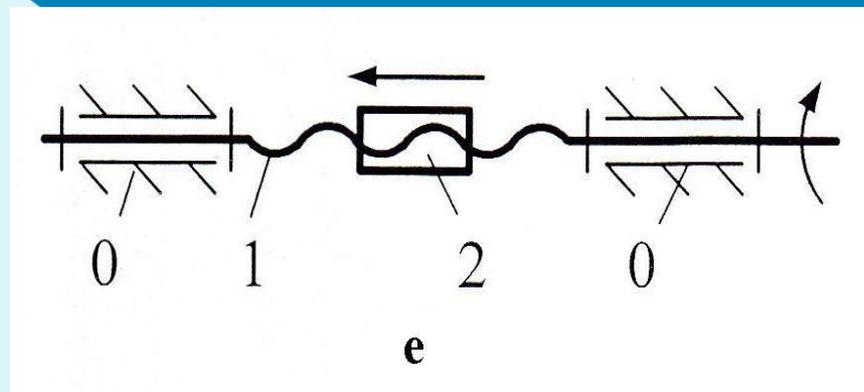
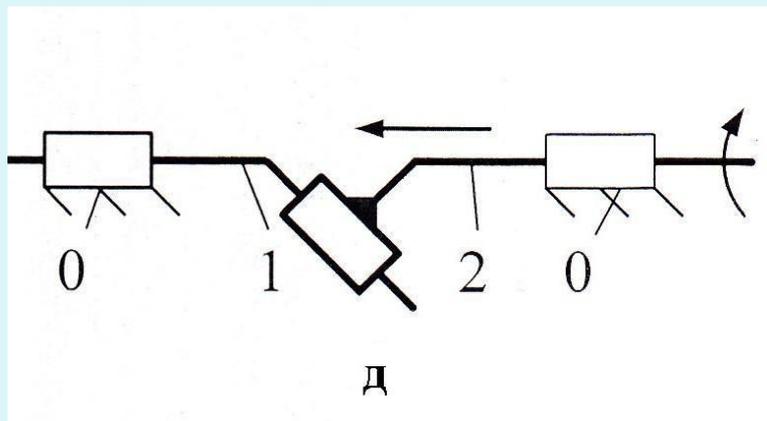
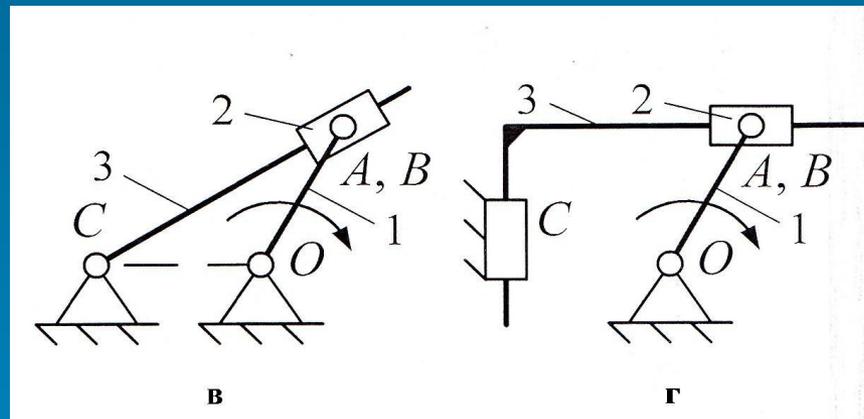
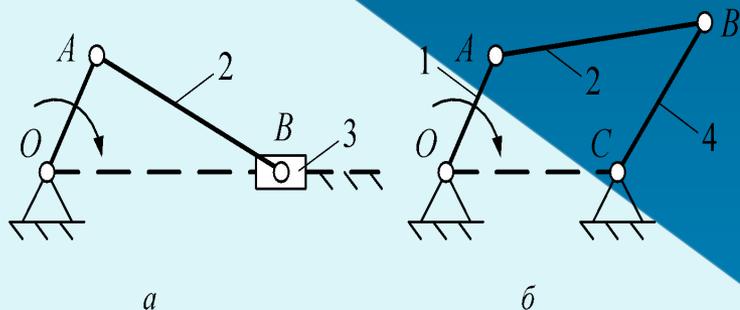
Кинематические пары классифицируются

1) по относительному движению звеньев:
вращательные; поступательные, винтовые,
плоскостные, сферические

2) по виду контакта звеньев:

- низшие кинематические пары – это кинематические пары, в которых контакт звеньев их образующих осуществляется по плоскости или по поверхности

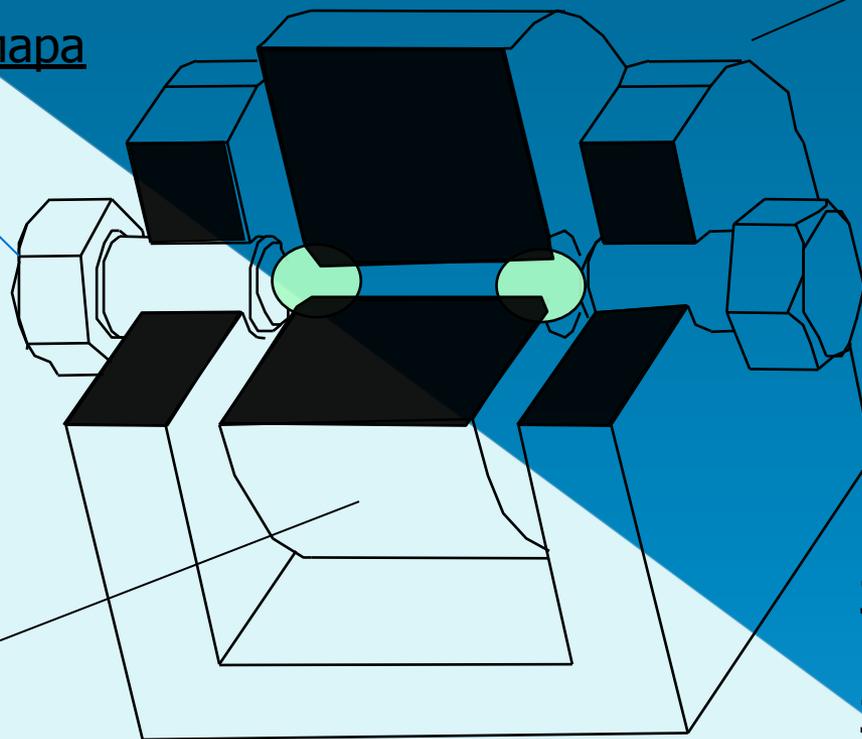
НИЗШИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРЫ



а, б, в, г- рычажные
 д - клиновые
 е - винтовые механизмы

Звено 1

Вращательная
кинематическая пара



Звено 2

Звено 1-корпус

Звено 2- колесо

В.К.П.- винт

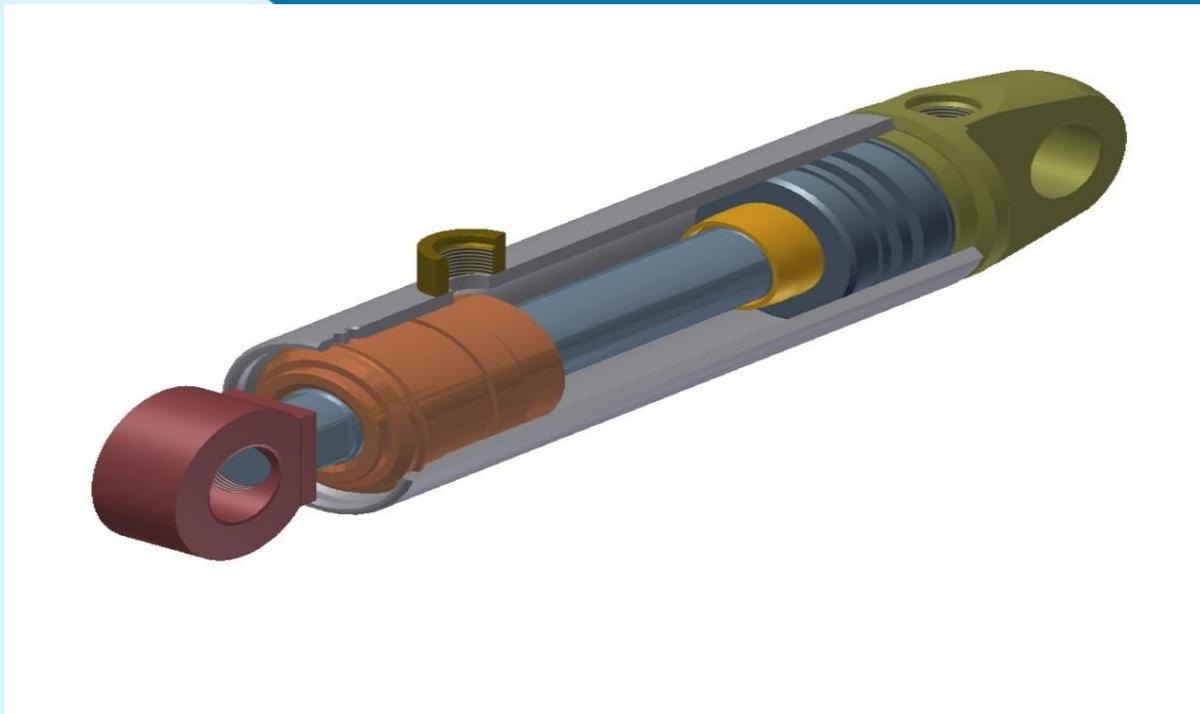
Поступательная
кинематическая пара

Звено 1

Звено 2

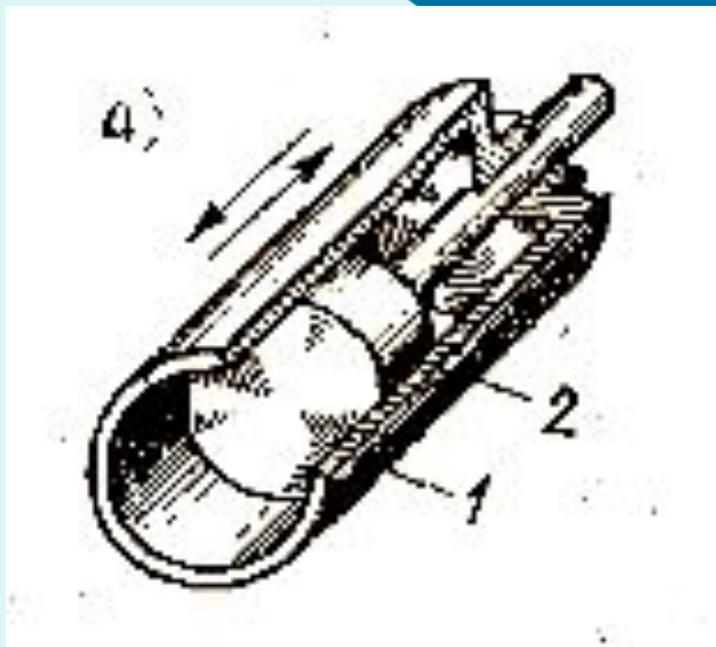
Звено 1- направляющие
Звено 2- ползун (П.К.П.)

Поступательная кинематическая пара

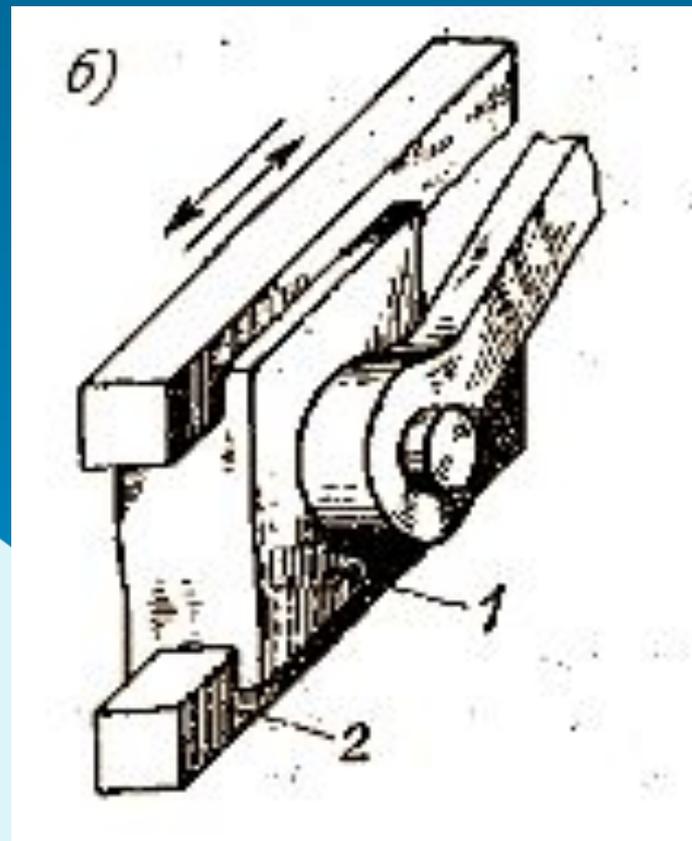


Цилиндр и поршень со
штоком .

Поступательные
кинематические пары

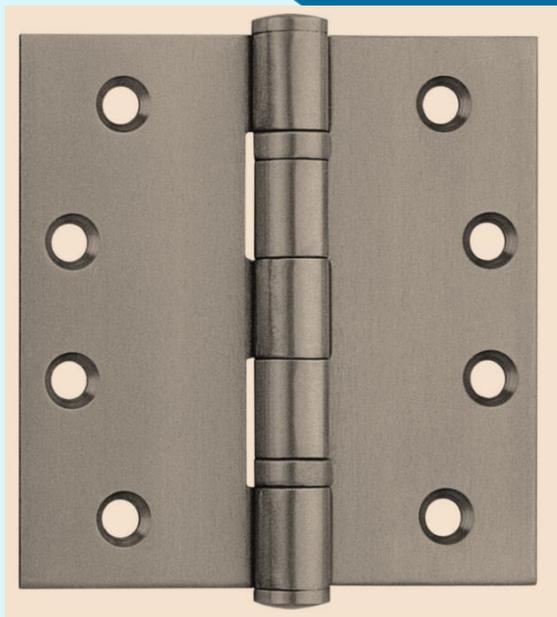


а — цилиндр 1 и поршень со штоком 2.



б — ползун 1 и прямолинейные направляющие 2.

Вращательные
Кинематические пары

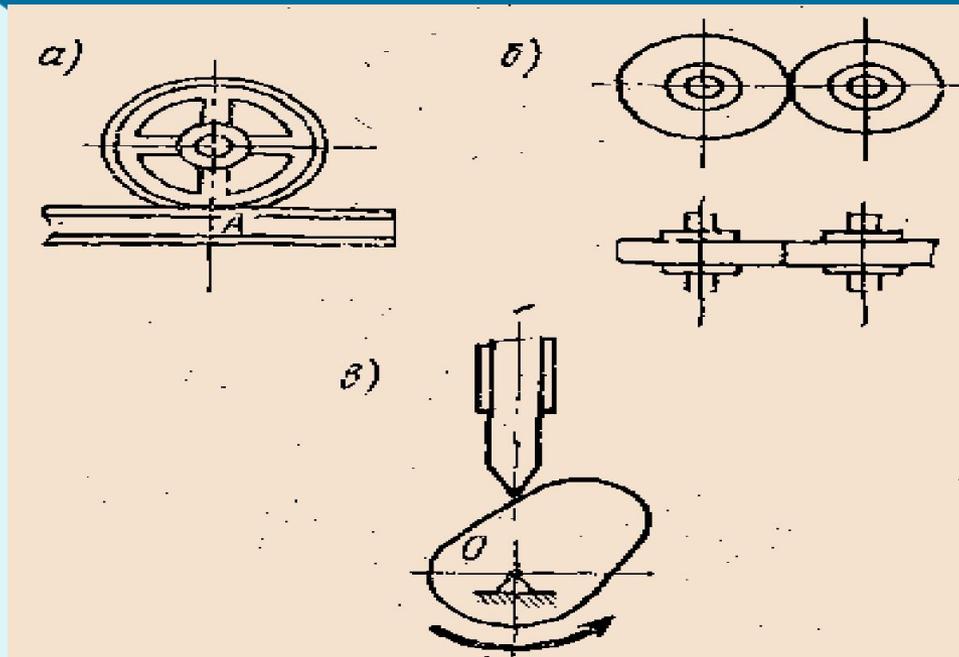


Плоский шарнир

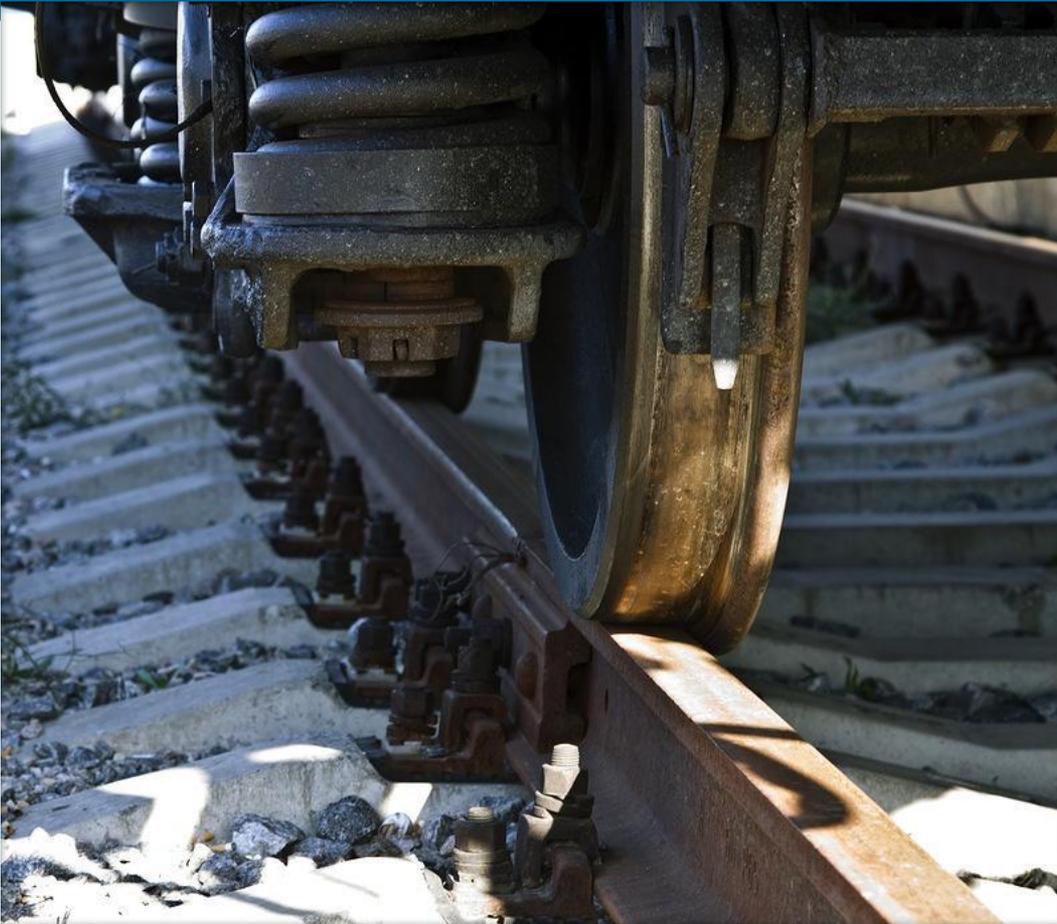


Вал и подшипник

ВЫСШИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРЫ



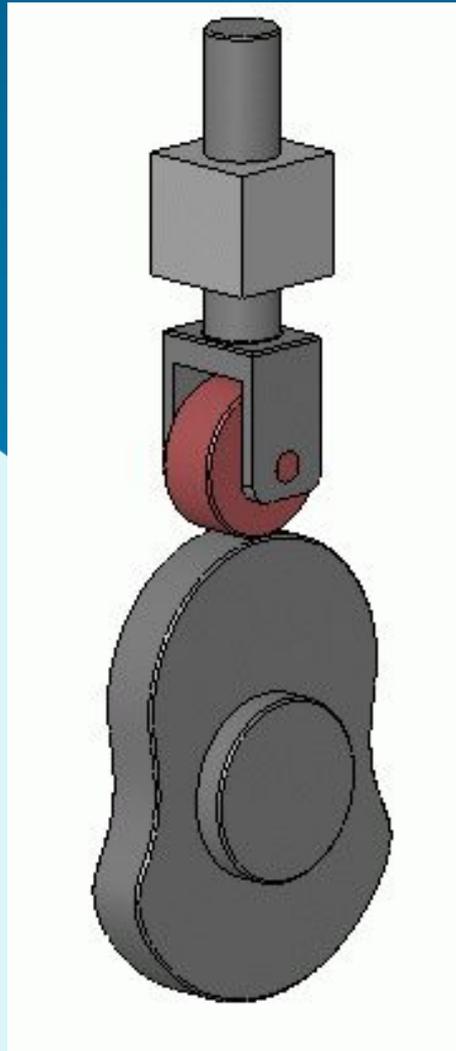
- а) Колесо и рельсы
- б) Фрикционные катки
- в) Кулачковая пара с острым толкателем



Колесо и рельсы



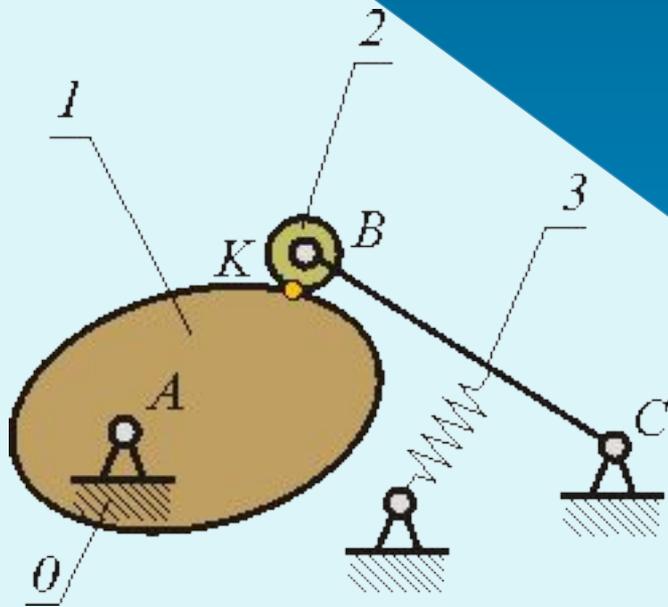
Фрикционные катки



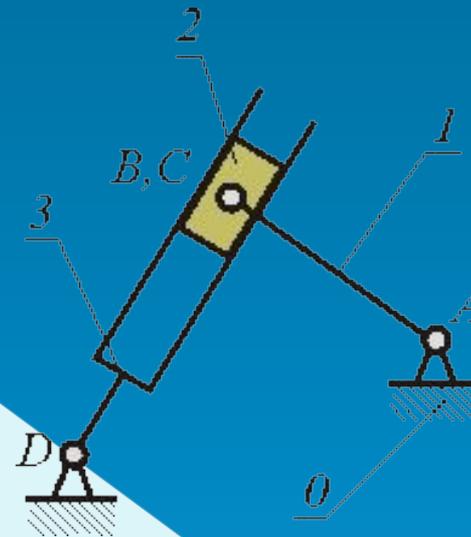
кулачковая пара с толкателем

3) по способу замыкания звеньев:

- силовое
- геометрическое.



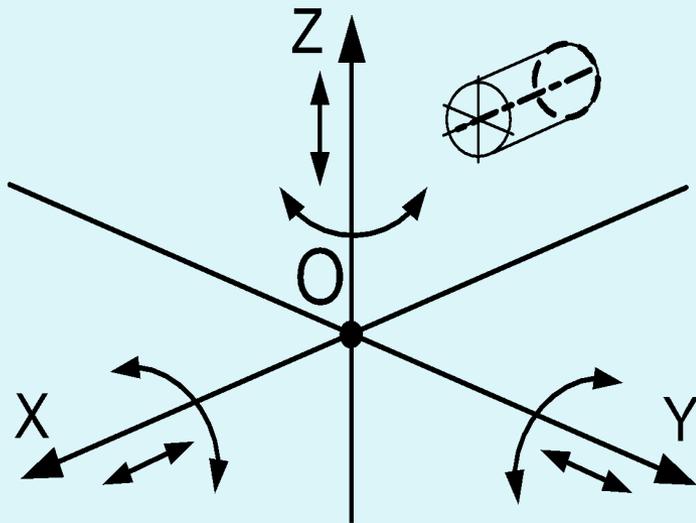
а) Силовое замыкание



б) Геометрическое замыкание

Известно, что человечество в силу специфики своего организма воспринимает окружающий мир только в трехмерном пространстве. Следовательно, в общем случае абсолютно свободное твердое тело (звено), находясь в трехмерном пространстве, может максимально совершать шесть независимых движений:

три вращательных движения – X, Y, Z ;
три поступательных движения – X, Y, Z .



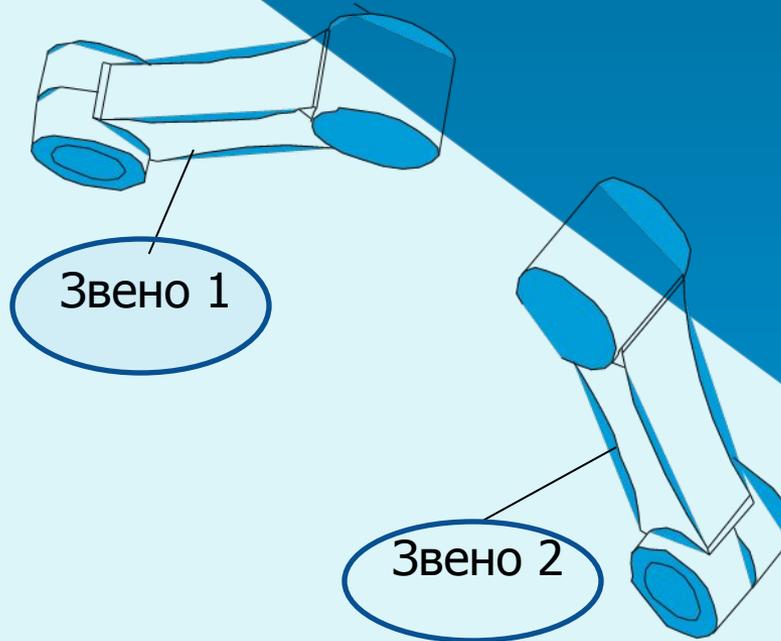
Движения звеньев в пространстве или на плоскости ограничиваются конструктивными особенностями кинематической пары, образованной этими звеньями. Конструктивные ограничения, наложенные на перемещения звеньев кинематической пары, называются условиями связей или связями.

СВЯЗИ — это ограничения наложенные на движения звеньев кинематических пар.

Для существования к.п. необходимо наличие хотя бы одной связи.

При $S = 0$ - к.п. не существует - два тела имеют определенные движения в пространстве.

При $S = 6$ - к.п. не существует - соединение неподвижное.



$$H = 6 - S$$

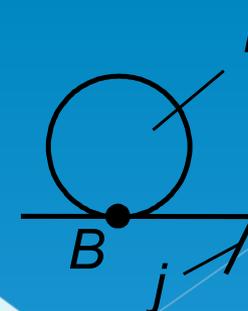
H- подвижность к.п.

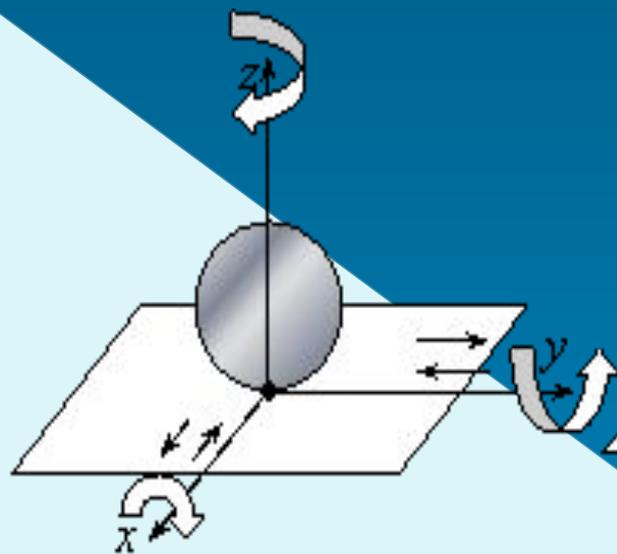
$$S = 1-5$$

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ПАРА I КЛАССА

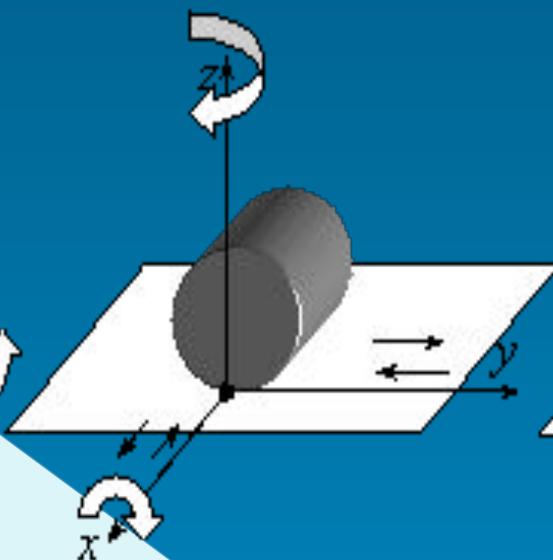
Класс	Число связей	Подвижность	Пространственная схема	Вид контакта
1	1	5		<p><u>Точка</u> пара высшая</p>

Условное обозначение

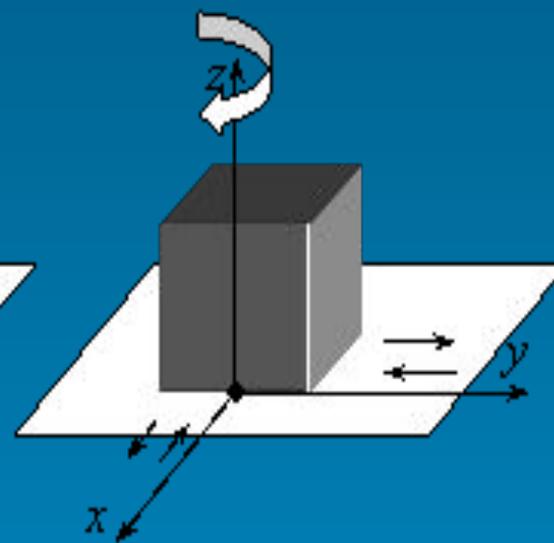




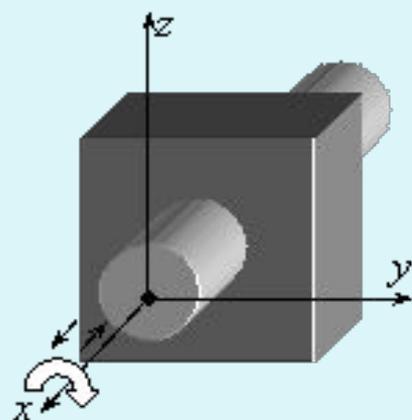
Пара первого класса



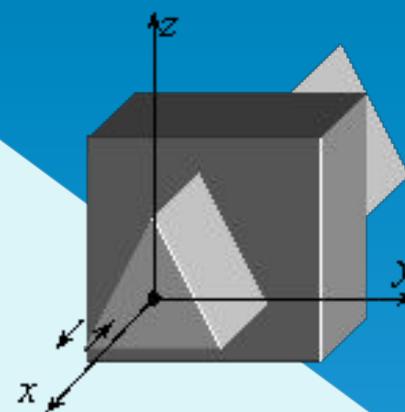
Пара второго класса



Пара третьего класса

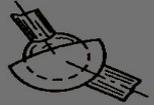
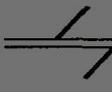
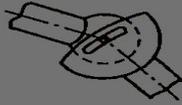
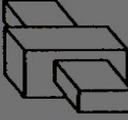
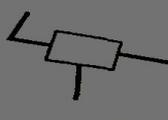


Пара четвёртого класса



Пара пятого класса

Классификация кинематических пар

Класс пары	Число условий связи	Число степеней свободы	Название кинематической пары	Рисунок	Условное обозначение
1	1	5	Шар – плоскость		
2	2	4	Шар – цилиндр		
3	3	3	Сферическая		
3	3	3	Плоскостная		
4	4	2	Цилиндрическая		
4	4	2	Сферическая с пальцем		
5	5	1	Поступательная		
5	2	1	Вращательная		

Звенья шарнирно-рычажных механизмов

Кривошип – вращающееся звено механизма, которое совершает полный оборот вокруг оси, связанной со стойкой.

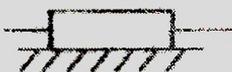
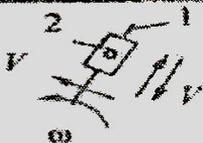
Шатун – звено механизма, образующее кинематические пары только с подвижными звеньями.

Коромысло – звено механизма, которое совершает только колебательные движения при неполном вращении вокруг неподвижной оси, связанной со стойкой.

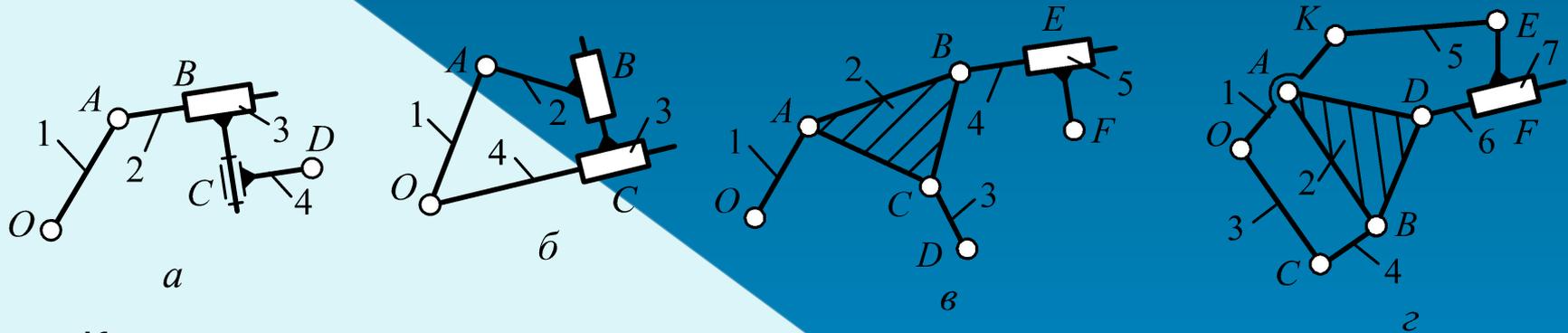
Кулиса – подвижное звено механизма, являющееся направляющей для камня.

Ползун – звено, образующее поступательную пару со стойкой.

Камень – звено, образующее поступательную пару с кулисой

Название	Условное обозначение	Движение	Особенности
Стойка		Отсутствует	
Стойка		Отсутствует	
Кривошип		Вращательное	Полный оборот
Шатун		Сложное	Нет пар, связанных со стойкой
Коромысло		Качательное	Неполный оборот
Ползун		Возвратно-поступательное	Направляющая неподвижна
1 Кулиса 2 Камень		Вращательное, колебательное	Направляющая неподвижна
1 Кулиса 2 Камень		Сложное	Направляющая подвижна

Кинематическая цепь – это система звеньев, образующих между собой кинематические пары (а,б,в,г).



Кинематические цепи подразделяются:

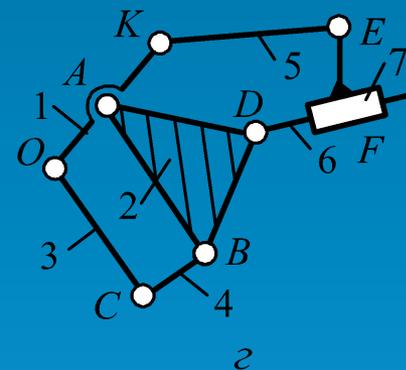
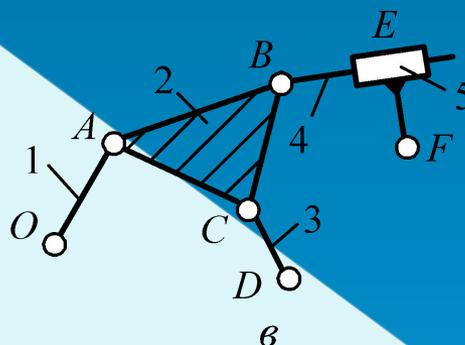
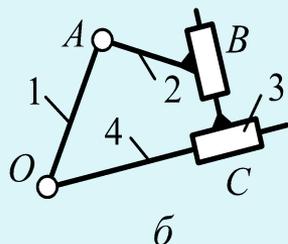
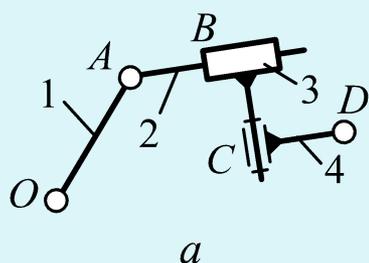
1) по конструктивному исполнению:

-простая кинематическая цепь – это кинематическая цепь, каждое звено которой входит в состав не более двух кинематических пар, т. е. содержит только одно звено с двумя вершинами (а, б);

-сложная кинематическая цепь – это кинематическая цепь, имеющая хотя бы одно звено, входящее в состав трех и более кинематических пар, т. е. содержит хотя бы одно звено с тремя или более вершинами (в, г);

2) по взаимодействию звеньев:

- *незамкнутая или разомкнутая кинематическая цепь* – это кинематическая цепь, в которой хотя бы одно звено имеет свободный элемент, не взаимодействующий с другими звеньями и не образующий с ними кинематических пар (а, в);
- *замкнутая кинематическая цепь* – это кинематическая цепь, каждое звено которой входит в состав как минимум двух кинематических пар (б, г).



ВЫВОД

Соединения кинематических цепей со стойкой образуют механизмы.

Изучение механизмов начинается с анализа их структуры.

Структура механизма – это совокупность звеньев, образующих подвижные и неподвижные соединения.

Структурная схема – это графическое изображение механизма, выполненное без соблюдения масштабов с использованием условных обозначений, рекомендованных ГОСТом.

Структурная схема механизма содержит информацию о числе звеньев и виде движений ими совершаемых, о числе, подвижности и классе кинематических пар, о числе и виде кинематических цепей.

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Назначение структурного анализа –
выявления и устранения дефектов
их структуры.

Задача структурного анализа

- 1) Анализ структуры механизма
- 2) Разложение на группы Ассура
- 3) Определение степени подвижности механизма.

Для решения задач анализа и синтеза рычажных механизмов профессором Л. В. Ассуром была предложена структурная классификация, согласно которой механизмы, состоят из первичных (элементарных) механизмов и структурных групп.

Степень подвижности механизма – это число независимых обобщенных координат определяющих положения звеньев механизма на плоскости в рассматриваемый момент времени.

Степень подвижность механизма - W

Структурная формула П.Л.Чебышева для плоских механизмов

$$W = 3n - 2p_5 - p_4$$

n - число подвижных звеньев,

p_5 - число кинематических пар 5-го класса,

p_4 - число кинематических пар 4-ого класса.

Структурный синтез



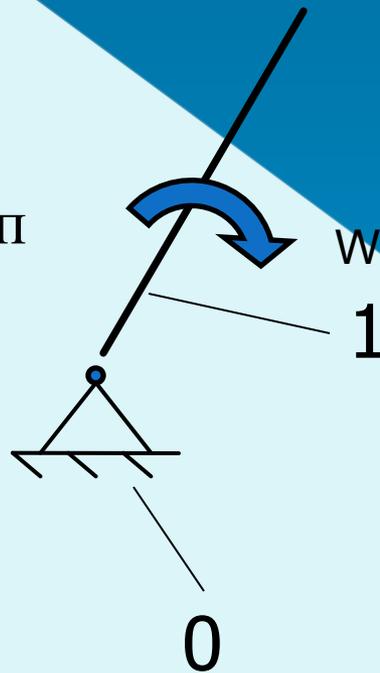
Механизм = ПМ + СГ+СГ.



Структурный анализ

Первичный механизм (ПМ) – это элементарный механизм, состоящий из двух звеньев, одно из которых неподвижное, которые образуют кинематическую пару с одной или несколькими подвижностями.

1 - кривошип
0 - стойка



W –угловая скорость

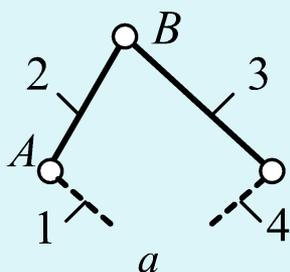
-Первичный механизм

Структурная группа звеньев (СГ) – это кинематическая цепь, образованная подвижными звеньями, подвижность которой равна нулю в любой момент времени.

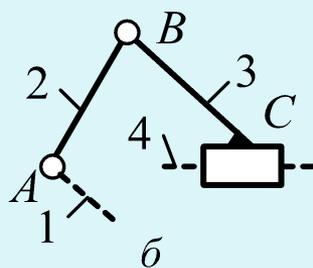
Структурная классификация по Ассуру представляет собой плоские рычажные механизмы с вращательными кинематическими парами.

В настоящее время наибольшее распространение получили структурные группы II класса второго порядка, характерной особенностью которых является наличие пяти видов.

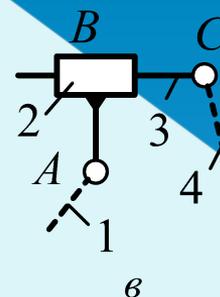
Структурные группы 2-го класса образованы двумя звеньями, двумя поводками и содержит три вращательных кинематические пары пятого класса.



BVB

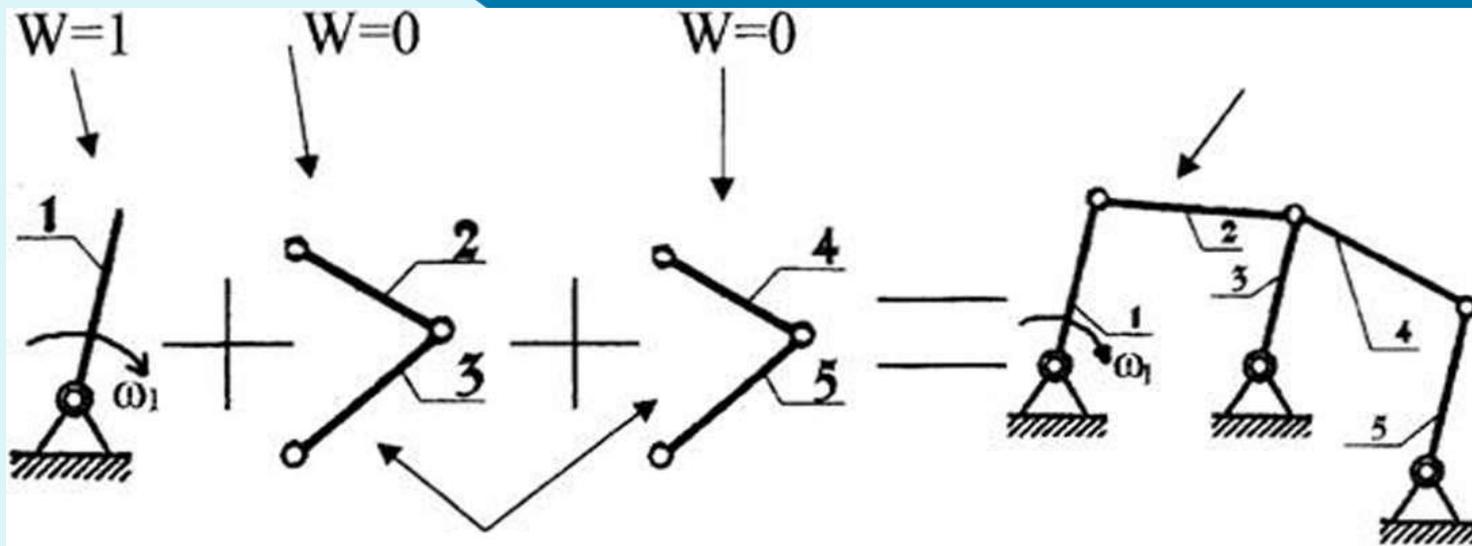


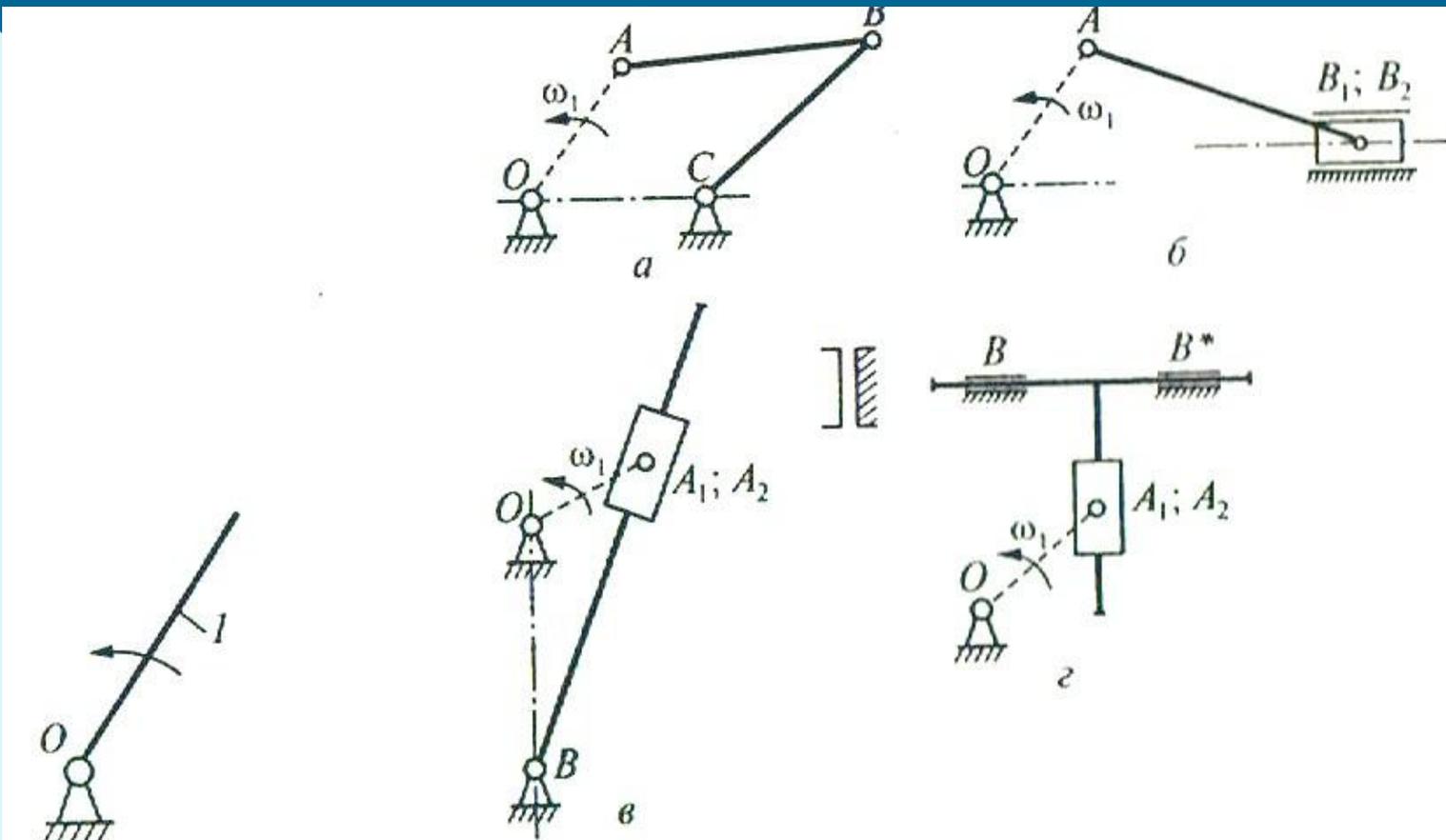
BVP



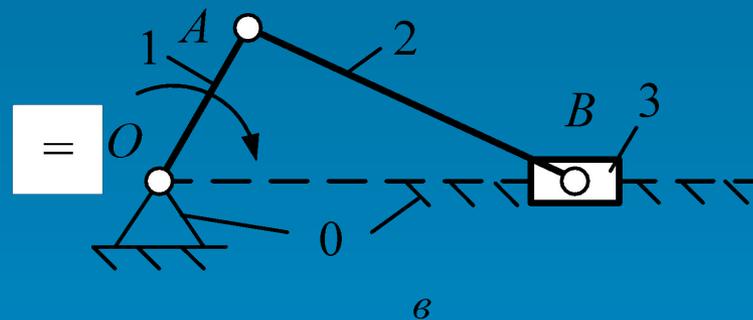
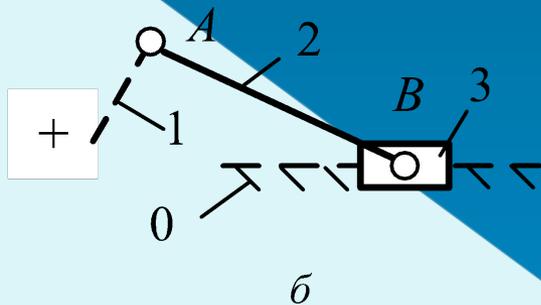
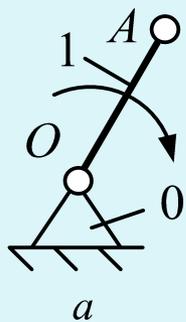
BVP

Принцип образования плоских механизмов по Л. В. Ассуре

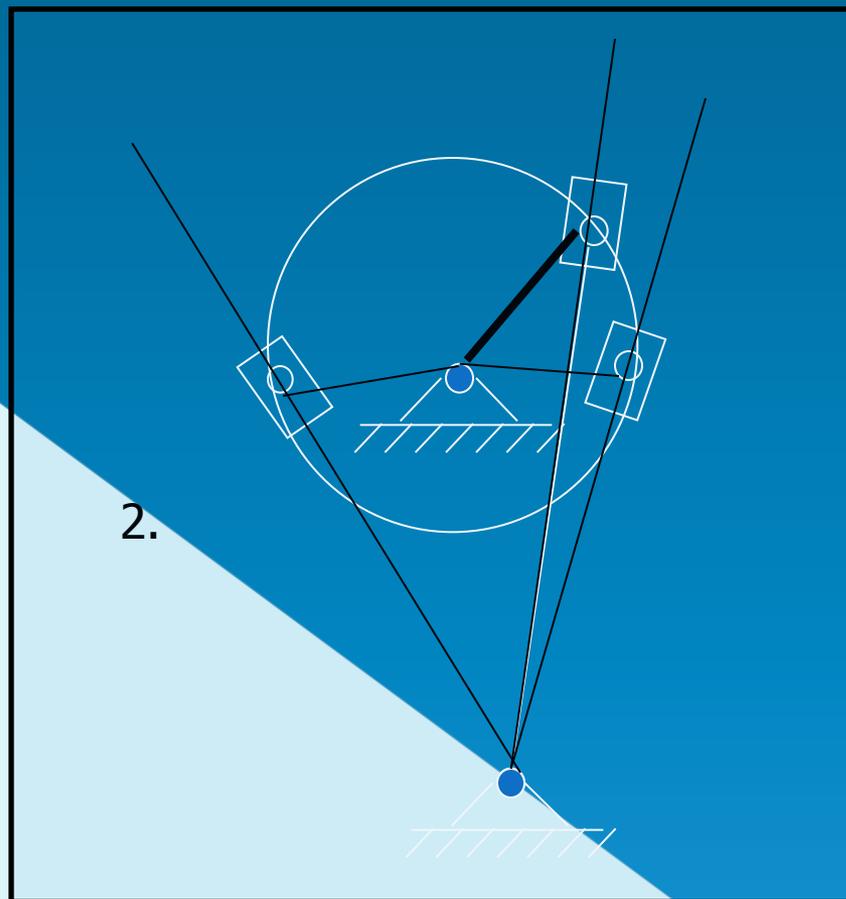
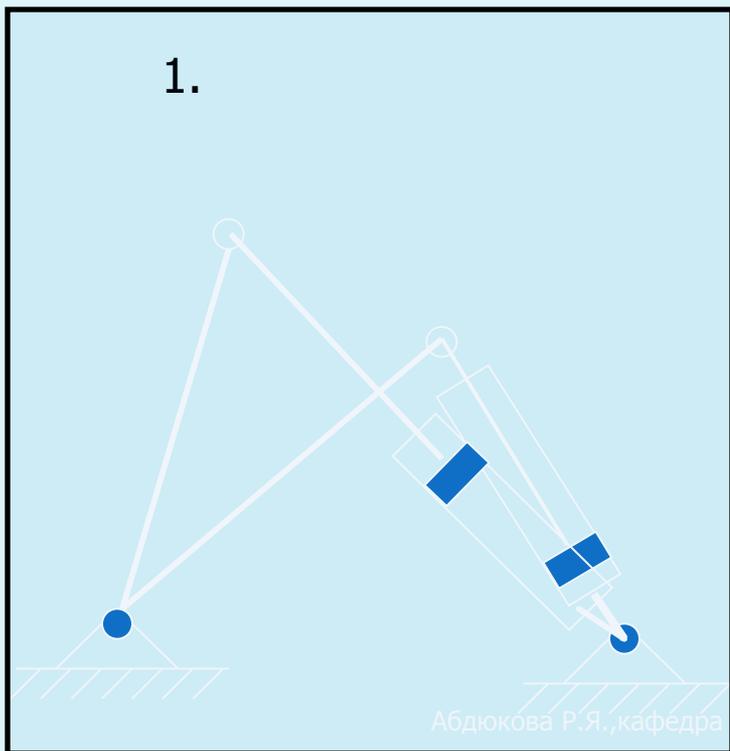


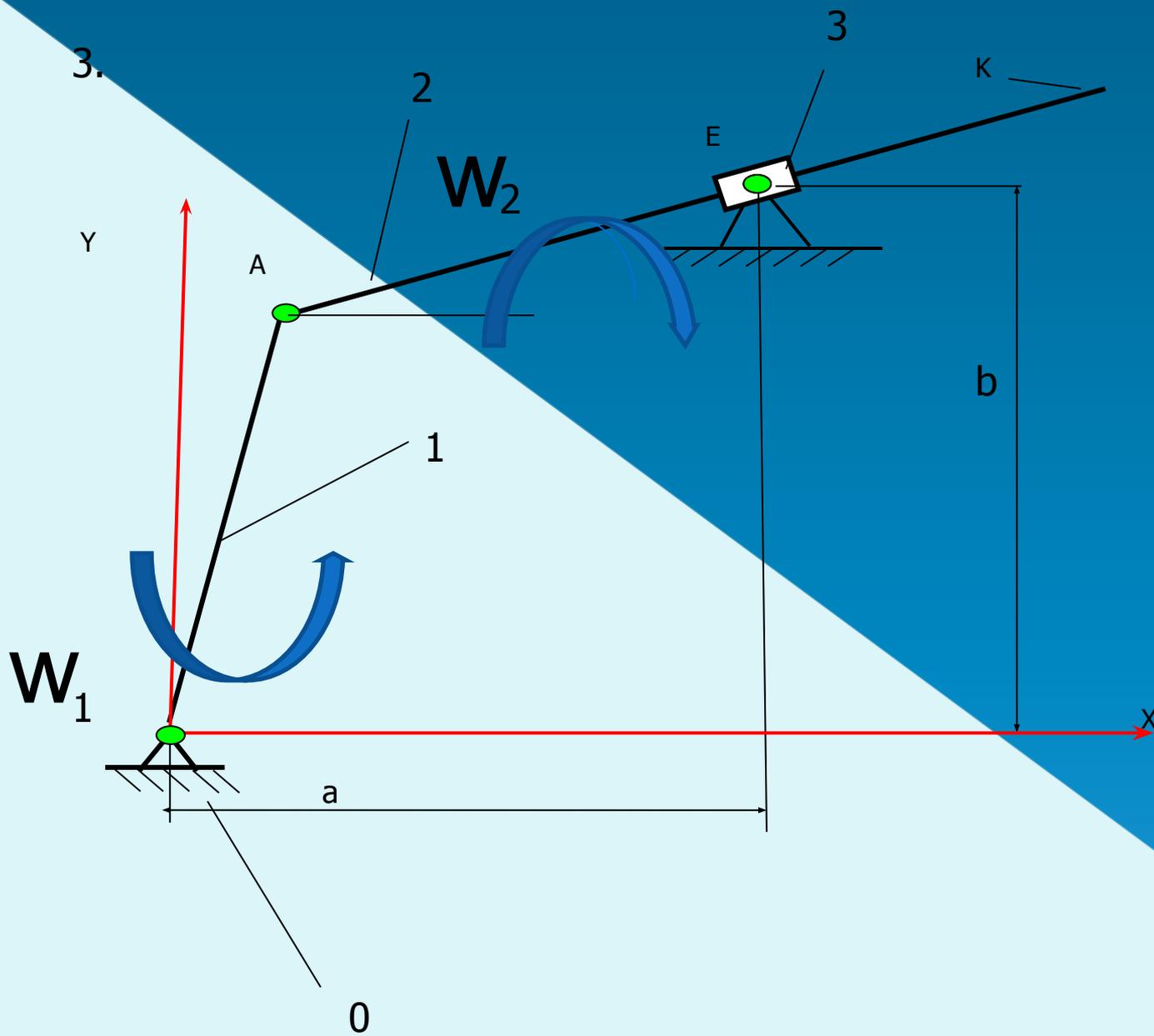


Присоединения к первичным
 механизмам структурных групп II класса:
 а) 1 вида, б) 2 вида, в) 3 вида, г) 4 вида.

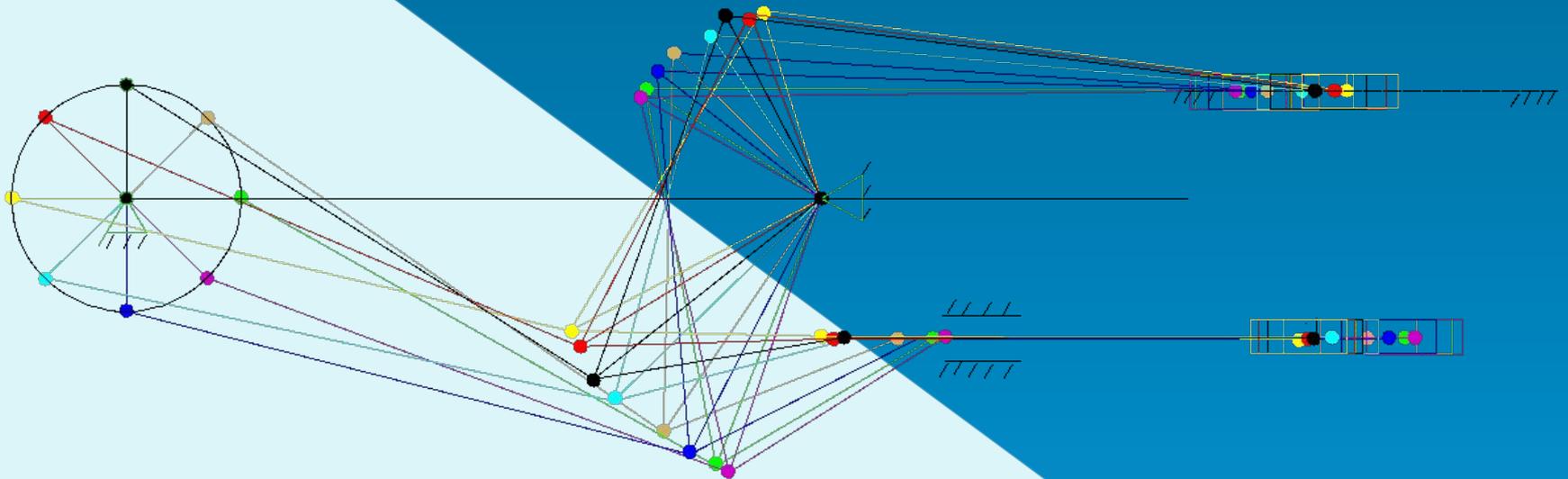


Крайние положения механизмов



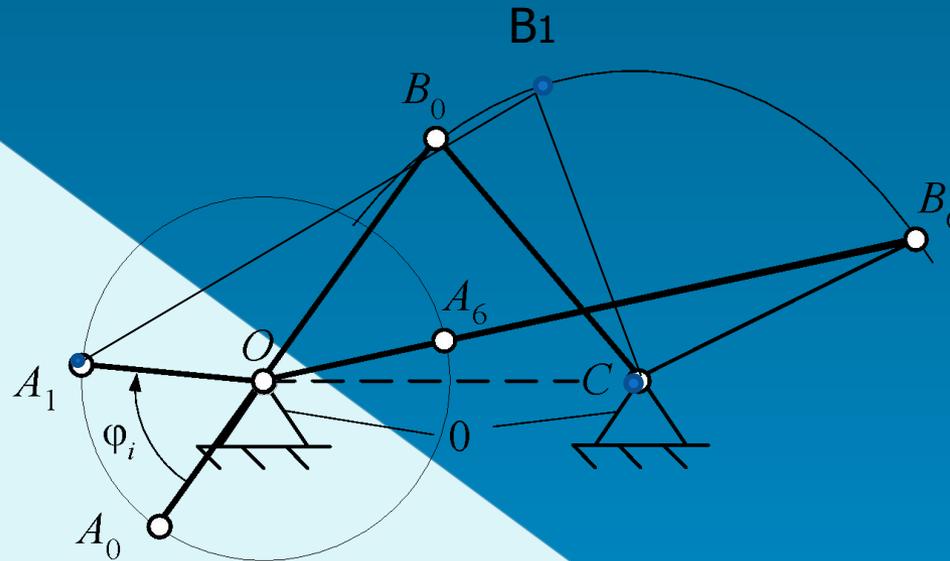


План положений глубинного насоса.



Для выбора допустимых соотношений расстояний между осями шарниров, обеспечивающих работоспособность механизма при полном обороте кривошипа, начертить механизм при 8 его положениях.

План положений шарнирного четырехзвенника

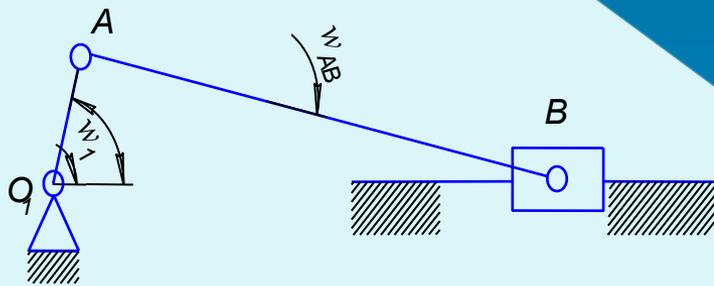


$$\mu_l = \frac{l_{OA}}{|OA|},$$

l_{OA} – действительная длина кривошипа, м;
 $|OA|$ – отрезок изображающий действительную длину кривошипа в принятом масштабном коэффициенте длин, мм.

Построение кинематической схемы кривошипно-ползунного механизма

Изображение кинематической схемы механизма соответствующее определенному положению механизма называется планом механизма



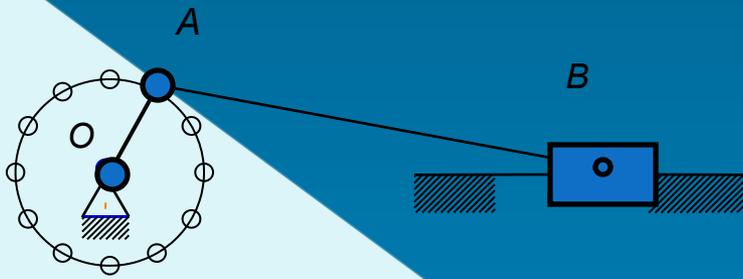
Планы строятся в заданном масштабе. Различают понятие масштаба и масштабного коэффициента

$$\mu_l = \frac{l_{OA}}{OA}$$

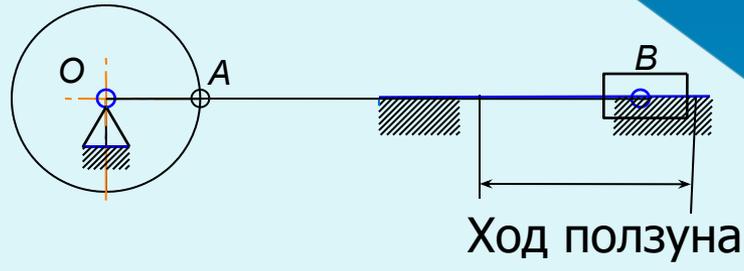
Для определения длины отрезков других звеньев механизма, предположим шатуна АВ используют выражение

$$AB = \frac{l_{AB}}{\mu_l}$$

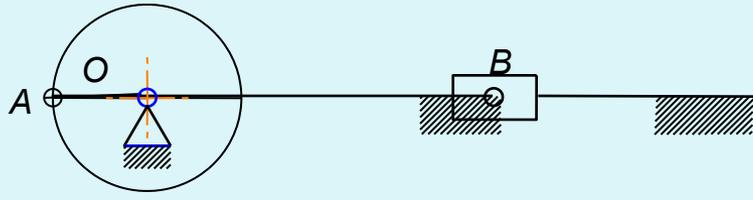
Масштабным коэффициентом длины называется отношение натуральной длины звена в метрах к длине отрезка изображающего это звено на чертеже в миллиметрах



а.

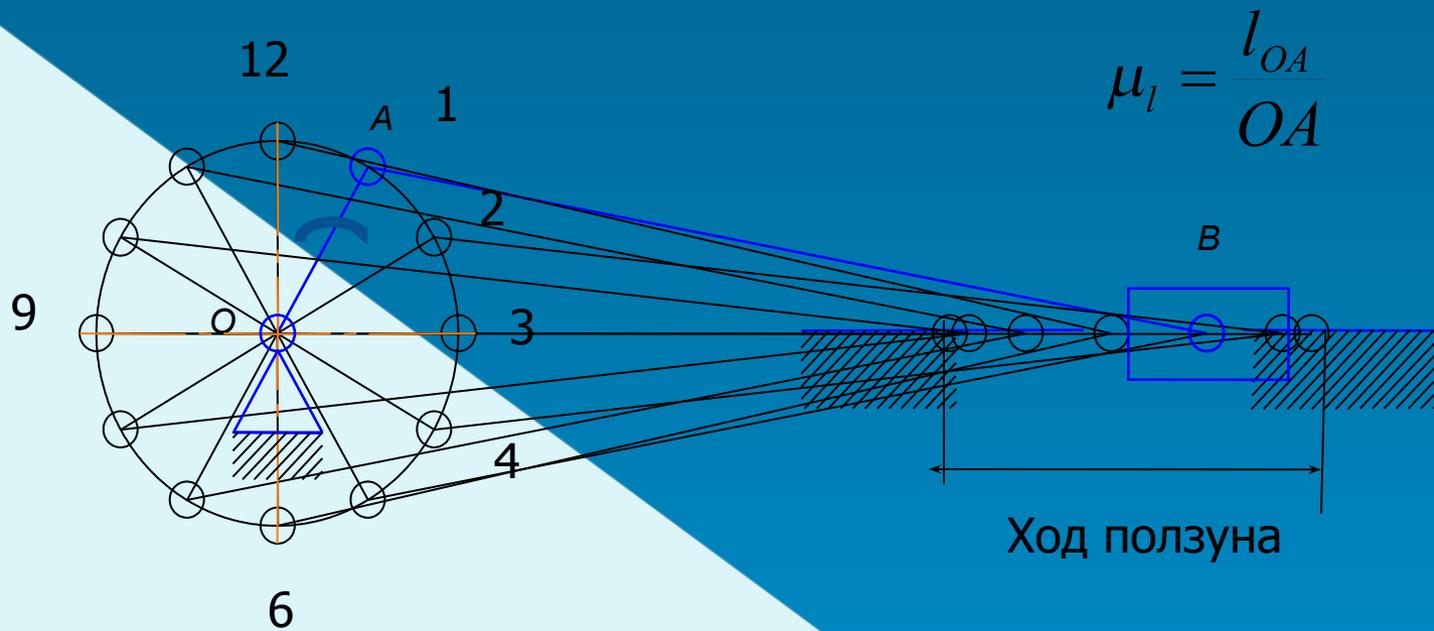


б



в

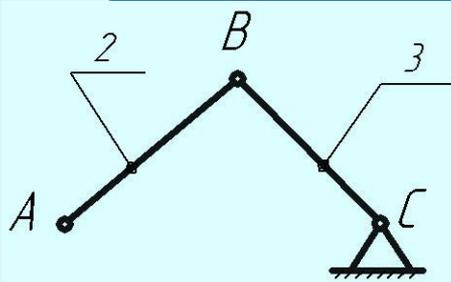
План положений кривошипно-ползунного механизма



Метод планов скоростей и ускорений

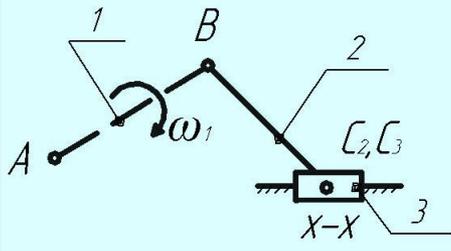
Основан на графическом решении векторных уравнений распределения величин скоростей и ускорений между характерными точками механизма.

Векторные уравнения составляются по структурным группам.



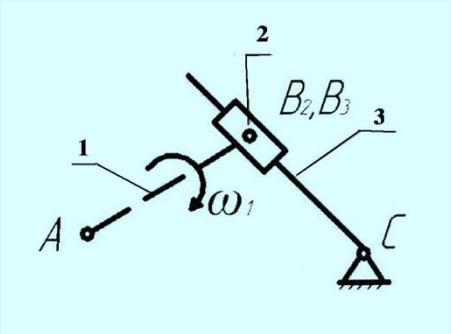
$$\begin{cases} \bar{V}_B = \bar{V}_A + \bar{V}_{BA}, \\ \bar{V}_{\hat{A}} = \bar{V}_{\hat{N}} + \bar{V}_{\hat{A}\hat{N}}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} - & - & -n & -\tau \\ \bar{a}_B = \bar{a}_A + \bar{a}_{BA} + \bar{a}_{BA} \\ - & - & -n & -\tau \\ \bar{a}_B = \bar{a}_c + \bar{a}_{BC} + \bar{a}_{BC} \end{cases}$$



$$\begin{cases} \bar{V}_{C_3} = \bar{V}_B + \bar{V}_{C_3B}, \\ \bar{V}_{C_3} = \bar{V}_{C_2} + \bar{V}_{C_3C_2}, \end{cases}$$

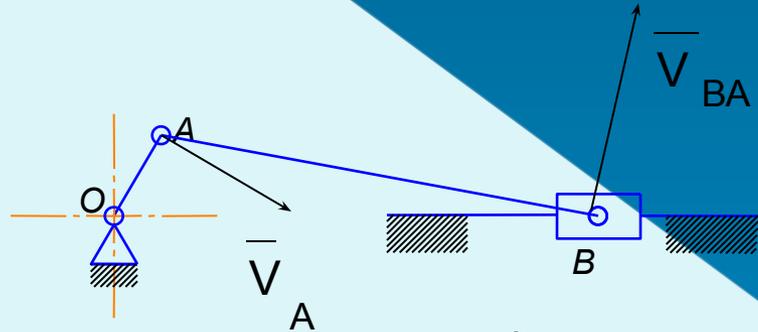
$$\begin{cases} - & - & -n & -\tau \\ \bar{a}_{c_3} = \bar{a}_B + \bar{a}_{C_3B} + \bar{a}_{C_3B} \\ - & - & - & - \\ \bar{a}_{c_3} = \bar{a}_{c_2} + \bar{a}_{C_3C_2} \end{cases}$$



$$\begin{cases} \bar{V}_{B_3} = \bar{V}_{B_2} + \bar{V}_{B_2B_3}, \\ \bar{V}_{B_3} = \bar{V}_C + \bar{V}_{B_3C}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} - & - & -n & -\tau \\ \bar{a}_{B_3} = \bar{a}_{B_2} + \bar{a}_{B_3B_2}^{kop} + \bar{a}_{B_3B_2} \\ - & - & n & \tau \\ \bar{a}_{B_3} = \bar{a}_c + \bar{a}_{B_3C} + \bar{a}_{B_3C} \end{cases}$$

Построение плана скоростей кривошипно-ползунного механизма



$$V_A = \omega_1 \cdot OA$$

$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA}$$



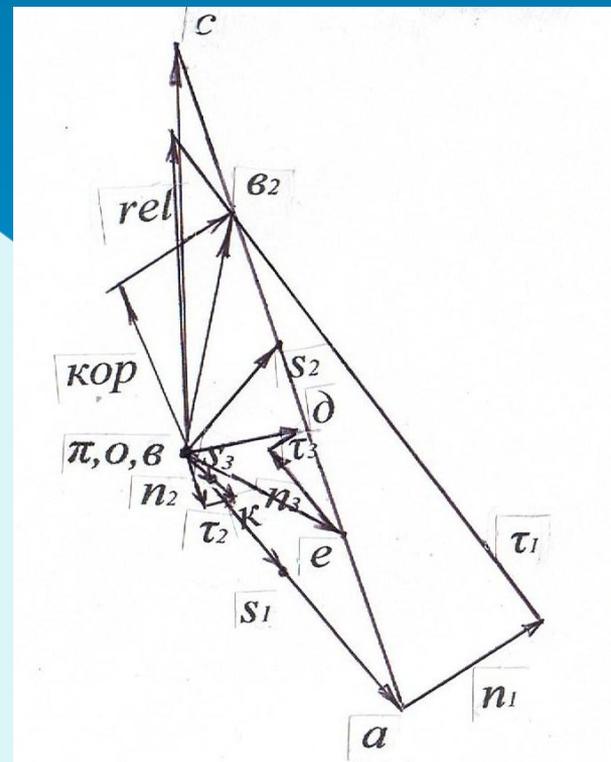
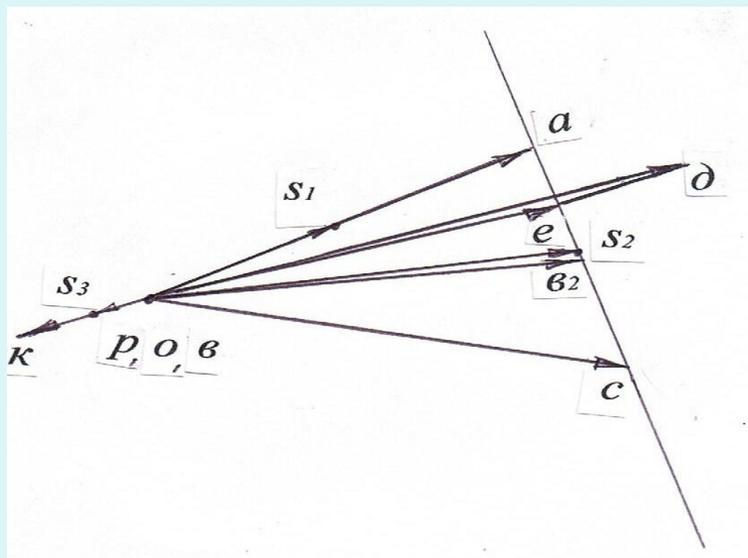
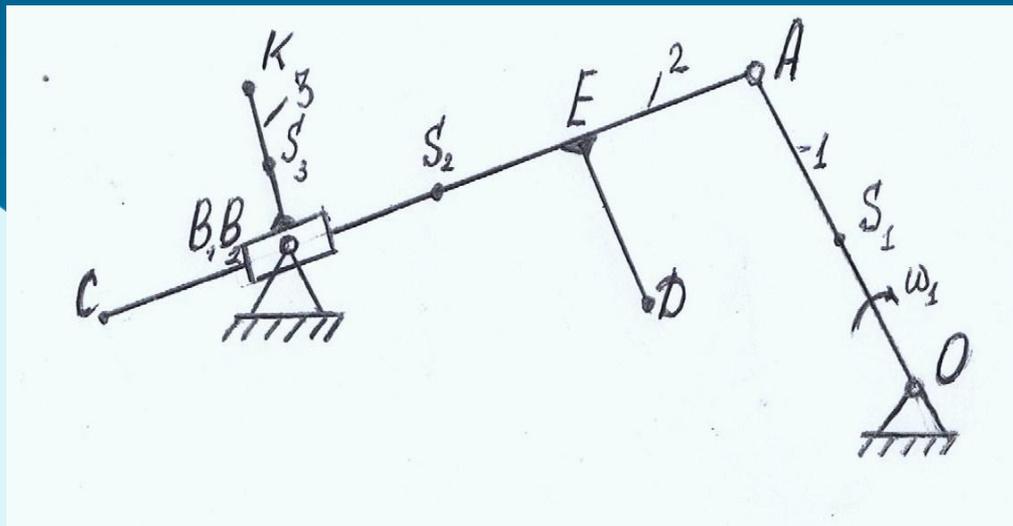
$$k_V = \frac{V_A}{p_V a}$$

Масштабом скорости называется отношение окружной скорости ведущего звена V_A в м/с к длине отрезка $p_V a$ изображающего данную скорость на плане скоростей в мм

Имея план скоростей легко определить скорости звеньев

P- полюс плана скоростей

Планом скоростей (ускорений) механизма называют чертеж, построенный в масштабе μa (μv), на котором скорости (ускорения) различных точек изображены в виде векторов показывающих направления и величины этих скоростей (ускорений) в данный момент времени.



Свойства плана скоростей

1. Отрезки плана скоростей, проходящие через полюс, изображают абсолютные скорости. Направление абсолютных скоростей всегда получается от полюса. В конце векторов абсолютных скоростей принято ставить малую букву той буквы, которой обозначается соответствующая точка на плане механизма;
2. Отрезки плана скоростей, не проходящие через полюс, обозначают относительные скорости;
3. Концы векторов абсолютных скоростей точек механизма жестко связанных между собой, на плане скоростей образуют фигуры, подобные сходственно расположенные и повернутые на 90 градусов относительно фигур, образуемых этими точками на плане механизма
4. Неподвижные точки механизма имеют соответствующие им точки на плане скоростей расположенные в полюсе
5. План скоростей дает возможность находить нормали и касательные к траектории точки без построения самих траекторий

