

Теория механизмов и машин

Старший преподаватель
каф. ОКМиМ

Ахметшин Рустам Ильясович

<https://cloud.mail.ru/public/2hyQ/3Wa2oG8EX>

Теория механизмов и машин - наука, изучающая строение, кинематику и динамику механизмов в связи с их анализом и синтезом.

Анализ - исследование структурных, кинематических и динамических свойств механизма.

Синтез - проектирование механизмов с заданными структурными, кинематическими и динамическими свойствами для осуществления требуемых движений.

Механизм

система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких твердых тел в требуемые движения других твердых тел (в теории механизмов и машин под твердыми телами понимают как абсолютно твердые, так и деформируемые, и гибкие тела).

Механизм

**система подвижных тел, одно из
которых закреплено, а все
остальные могут совершать
вполне определенные
движения относительно
неподвижного материального
тела**

Классы механизмов

1. Механизмы двигателей и преобразователей;
2. Передаточные механизмы;
3. Исполнительные механизмы:
4. Механизмы управления, контроля и регулирования;
5. Механизмы подачи и транспортировки;
6. Механизмы автоматического счета, взвешивания и упаковки продукции.

Виды механизмов

1. Рычажные механизмы;
2. Зубчатые механизмы;
3. Кулачковые механизмы;
4. Комбинированные механизмы;
(кулачково-рычажные, рычажно-зубчатые
и т.д.)

Механизмы также могут быть плоскими
или пространственными

Механизм

```
graph TD; A[Механизм] --> B[Звено]; A --> C[Кинематическая пара]; A --> D[Кинематическая цепь];
```

Звено

твердое тело, входящее в состав механизма; звено может состоять из нескольких деталей, не имеющих между собой относительного движения.

Кинематическая пара

соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение.

Элемент кинематической пары – совокупность поверхностей, линий и отдельных точек звена, по которым оно может соприкаться с другим

Кинематическая цепь

система звеньев, связанных между собой кинематическими парами

Виды звеньев

стойка - звено, принимаемое за неподвижное;

кривошип – вращающееся звено рычажного механизма, которое может совершать полный оборот вокруг неподвижной оси;

коромысло – вращающееся звено рычажного механизма, которое может совершать только неполный оборот вокруг неподвижной оси;

шатун – звено рычажного механизма, образующее кинематические пары только с подвижными звеньями;

кулиса – звено рычажного механизма, вращающееся вокруг неподвижной оси и образующее с другим подвижным звеном поступательную пару;

ползун - звено рычажного механизма, образующее поступательную пару со стойкой;

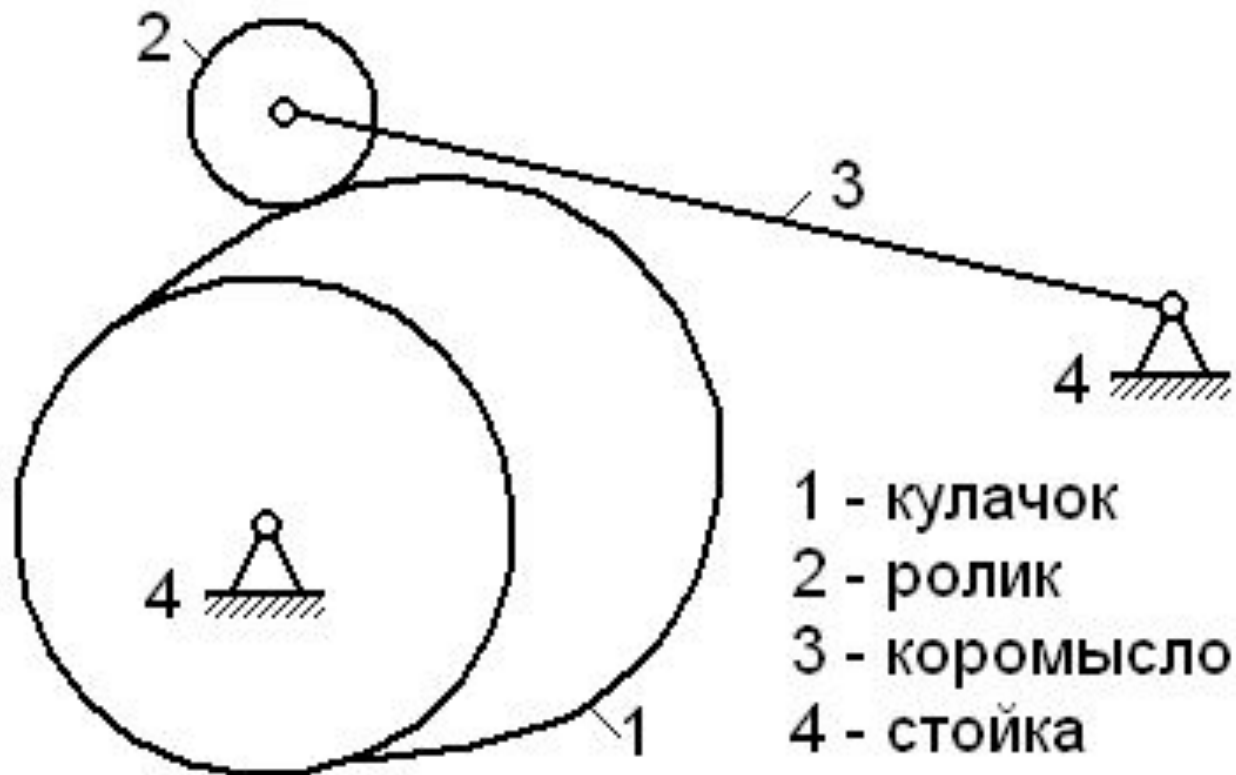
кулачок - звено, имеющее элемент высшей пары, выполненный в виде поверхности переменной кривизны;

зубчатое колесо - звено с замкнутой системой зубьев, обеспечивающее непрерывное движение другого зубчатого колеса или рейки.

Виды звеньев



Виды звеньев

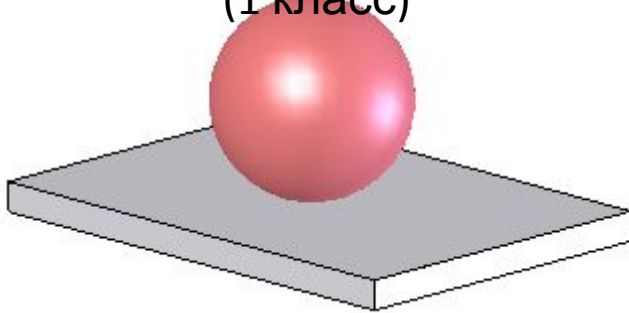


Классификация кинематических пар

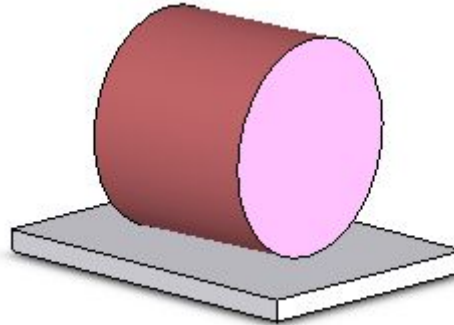
- 1) **По числу связей**, налагаемых на относительное движение звеньев. Всякое свободно движущееся в пространстве абсолютно твердое тело обладает шестью степенями свободы или шестью видами независимых возможных движений. Вхождение двух звеньев в кинематическую пару налагает на их относительное движение некоторые ограничения или условия связи; класс кинематической пары (номер класса совпадает с числом условий связи S) всегда находится в пределах от 1 до 5, число оставшихся подвижностей H дополняет число связей до шести, т.е. , поэтому пару пятого класса называют неподвижной, четвертого – двухподвижной и т.д.
- 2) **По характеру контакта звеньев** различают пары низшие (требуемое относительное движение звеньев можно получить постоянным соприкасанием их элементов по поверхности) и высшие (требуемое относительное движение можно получить только соприкасанием их элементов по линиям и в точках).
- 3) **По области относительного движения звеньев** пары могут быть плоскими (траектории всех точек в относительном движении звеньев – плоские кривые, расположенные в параллельных плоскостях) и пространственными.

Классификация кинематических пар

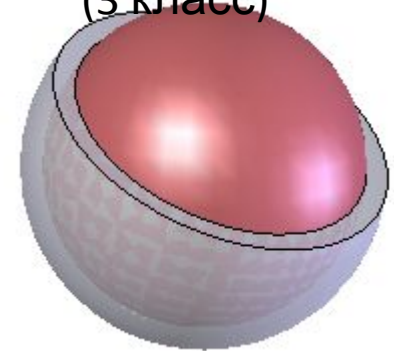
пятиподвижная
пара
(1 класс)



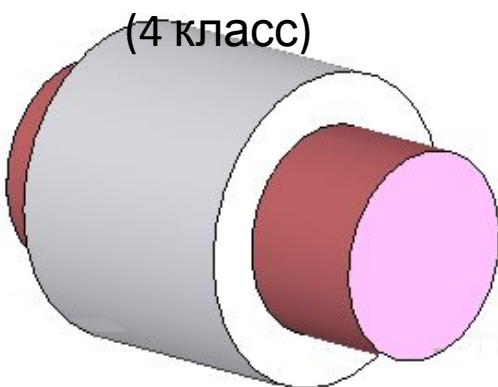
четыреподвижная пара
(2 класс)



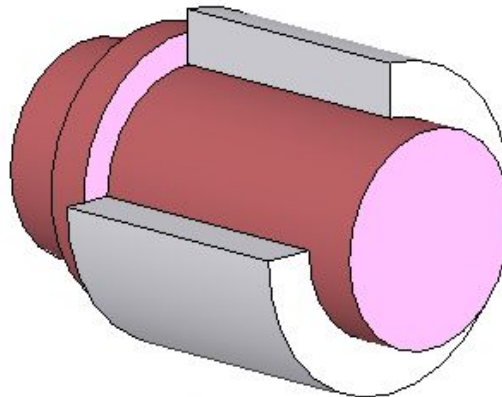
трехподвижная
пара
(3 класс)



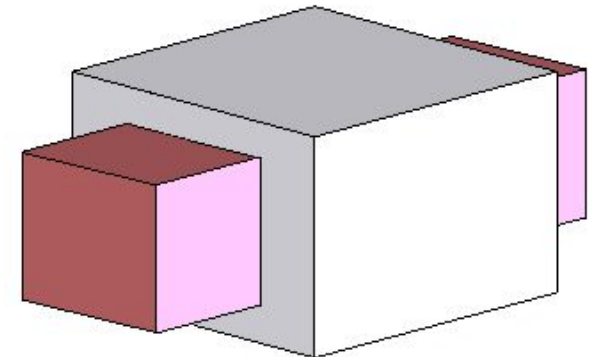
двухподвижная
пара
(4 класс)



одноподвижная
вращательная пара (5 класс)

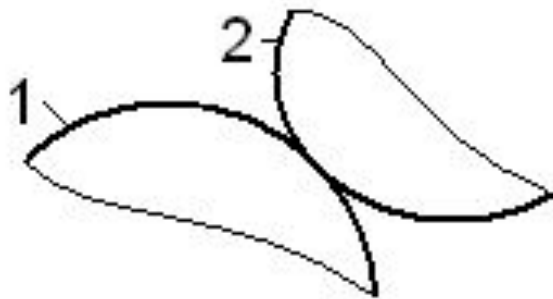


одноподвижная
поступательная пара (5 класс)

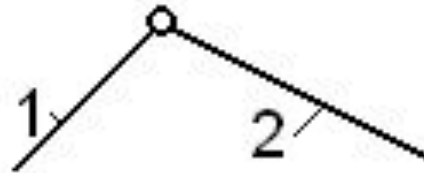


Классификация кинематических пар

В плоском механизме для соединения звеньев можно использовать только плоские кинематические пары четвертого и пятого классов

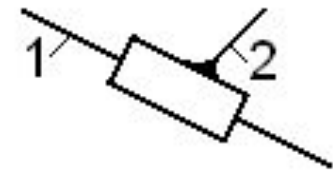


Пара IV
класса



вращательн
ая

Пары V
класса



поступательн
ая

Классификация кинематических цепей

- 1) По области движения звеньев цепи бывают **плоские** (траектории движения точек всех звеньев — плоские кривые, лежащие в параллельных плоскостях) и **пространственные**.
- 2) По признаку наличия разветвлений различают цепи **простые** (каждое звено цепи входит не более, чем в две кинематических пары) и **сложные** или **разветвленные** (некоторые звенья входят в три, или более пары); в разветвленных цепях могут присутствовать так называемые кратные (двойные, тройные и т.д.) шарниры.
- 3) По признаку наличия в кинематических цепях замкнутых контуров цепи могут быть **замкнутыми** и **незамкнутыми**; в замкнутой цепи каждое звено входит не менее, чем в две кинематические пары.

Некоторые дополнительные определения

обобщенная координата механизма – каждая из независимых координат, определяющих положение всех звеньев механизма относительно стойки;

число степеней свободы (степень подвижности) механизма – число независимых вариаций обобщенных координат механизма;

начальное звено – звено, которому приписывается одна или несколько обобщенных координат механизма;

входное звено – звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом в требуемые движения других звеньев;

выходное звено – звено, совершающее движение, для выполнения которого предназначен механизм.

Степень подвижности механизма

формула П. Л. Чебышева
(для плоских механизмов)

Впервые выведена им в 1869 г.

$$W = 3n - P_4 - 2P_5$$

n - число подвижных звеньев;

P_4 – число кинематических пар 4 класса;

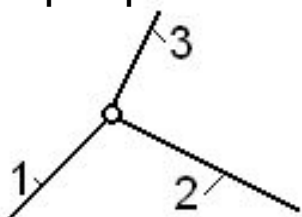
P_5 – число кинематических пар 5 класса;

Степень подвижности механизма

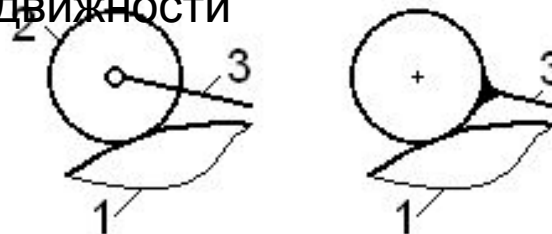
При расчете степени подвижности механизма необходимо учитывать следующие, нередко встречающиеся ситуации:

- 1) **наличие кратных шарниров**; так, соединение звеньев необходимо считать как два шарнира, иначе расчет даст завышенное значение W ;
- 2) **наличие местных подвижностей**, т.е. таких, устранение которых не повлияет на кинематику механизма;
- 3) **наличие пассивных (или избыточных) связей**.

Двойной шарнир



Устранение местной подвижности



Виды звеньев



$$n = 5$$

$$p_4 = 0$$

$$p_5 = 7$$

$$W = 3 \cdot 5 - 0 - 2 \cdot 7 = 1$$

Классификация плоских механизмов по Л.В.Ассуру

Группа Ассура – это кинематическая цепь с нулевой степенью подвижности относительно тех звеньев, с которыми входят в кинематические пары свободные элементы ее звеньев, и не распадающаяся на более простые цепи, обладающие также нулевой степенью подвижности.

Классификация Ассура применима для плоских механизмов с парами V класса.

Структурные группы Ассура делятся на классы.

Механизмы классифицируются по степени сложности групп входящих в их состав. Класс и порядок механизма определяется классом и порядком наиболее сложной из входящих в него групп.

Классификация плоских механизмов по Л.В.Ассуру

Пусть группа состоит из n звеньев; для соединения этих звеньев между собой и для присоединения группы к стойке или к подвижным звеньям механизма использовано P_5 пар пятого класса;

тогда для группы, можно записать

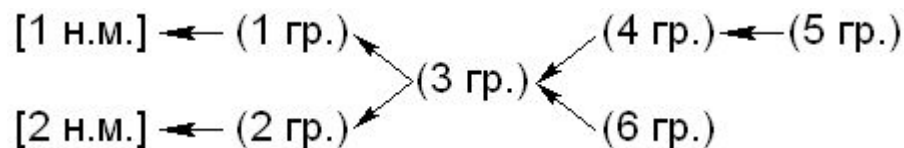
$$W = 3n - 2P_5 = 0 \quad \text{или} \quad P_5 = \frac{3}{2}n$$

группа может состоять только из четного числа звеньев, число пар пятого класса в группе всегда в полтора раза больше числа звеньев.

Те пары, с помощью которых группа присоединяется к механизму, называют внешними, их количество определяет порядок группы; остальные пары, посредством которых звенья группы соединяются между собой, называют внутренними.

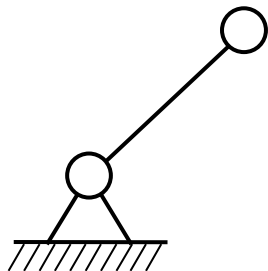
Классификация плоских механизмов по Л.В.Ассуру

После отсоединения от механизма всех структурных групп останется стойка и начальные звенья в количестве W (речь идет о фактической степени подвижности механизма, рассчитанной после исключения пассивных связей и местных подвижностей). Каждое начальное звено со стойкой называют начальным механизмом; таким образом, механизм состоит из W начальных механизмов и некоторого количества структурных групп, присоединенных в строго определенном порядке, который отражают в специальной записи, называемой формулой строения. Например, механизм с двумя степенями свободы, содержащий шесть структурных групп, может иметь такое строение

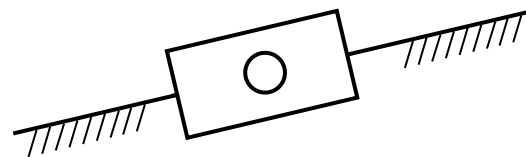


Классификация плоских механизмов по Л.В.Ассуру

Начальный
механизм
(1 класс)



Начальный механизм с
вращающимся звеном

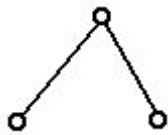


Начальный механизм с
поступательно
движущимся звеном

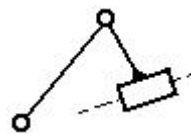
Группа, имеющая два звена и три пары V класса, называется группой II класса. Группы Ассура II класса делятся на пять видов:

Классификация плоских механизмов по Л.В. Ассуру

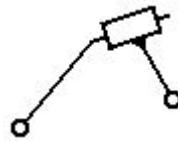
Группа, имеющая два звена и три пары V класса, называется группой II класса. Группы Ассура II класса в зависимости от количества поступательных пар, использованных при их формировании, делятся на пять видов:



1
ВИД



2
ВИД



3
ВИД



4
ВИД



5
ВИД

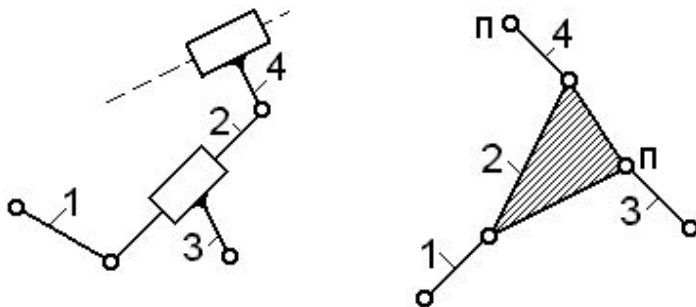
Все двузвенные группы являются группами II класса второго порядка;

Классификация плоских механизмов по Л.В.Ассуру

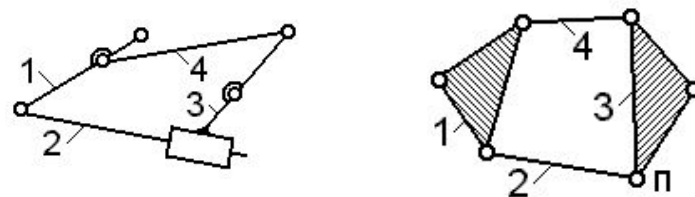
Класс групп, состоящих более, чем из двух звеньев, определяется числом вершин (или сторон) многоугольника, образуемого внутренними кинематическими парами на структурной схеме группы, которая строится по следующим правилам:

- все вращательные и поступательные пары пятого класса изображают на этой схеме как вращательные;
- звенья, участвующие в нескольких кинематических парах, изображаются в виде соответствующих многоугольников.

Группа III класса 3 порядка



Группа IV класса 2 порядка



Порядок структурного исследования плоского механизма

- 1) Пронумеровать все звенья механизма (если номера звеньев не указаны); неподвижному звену (стойке) обычно присваивают последний номер.
- 2) Рассчитать степень подвижности механизма W и проанализировать полученный результат; при наличии местных подвижностей и (или) пассивных связей, избавиться от них и повторить расчет W – в результате должна получиться фактическая степень подвижности механизма.
- 3) Произвести замену всех высших кинематических пар фиктивными звеньями и низшими парами (замену следует производить непосредственно на кинематической схеме механизма, используя контактные нормали и центры кривизны профилей); подтвердить расчетом величину W – она должна остаться прежней.
Если кинематическая схема сложна для анализа, можно для облегчения изобразить структурную схему по описанным ранее правилам (при этом нумерация звеньев обязательно должны быть сохранена).
- 4) Выбрать начальные звенья механизма (если они не были заданы условием задачи): если после структурного исследования механизма будет выполняться его кинематический расчет, то начальные звенья совпадают с входными, т.е. с теми, которым заданы законы движения; при последующем силовом анализе механизма за начальные звенья принимают те, к которым приложены неизвестные внешние силы или вращающие моменты.
Написать формулу строения механизма; каждому варианту выбора начальных звеньев соответствует единственный вариант этой формулы.