

***ТЕОРИЯ МАШИН
И
МЕХАНИЗМОВ***

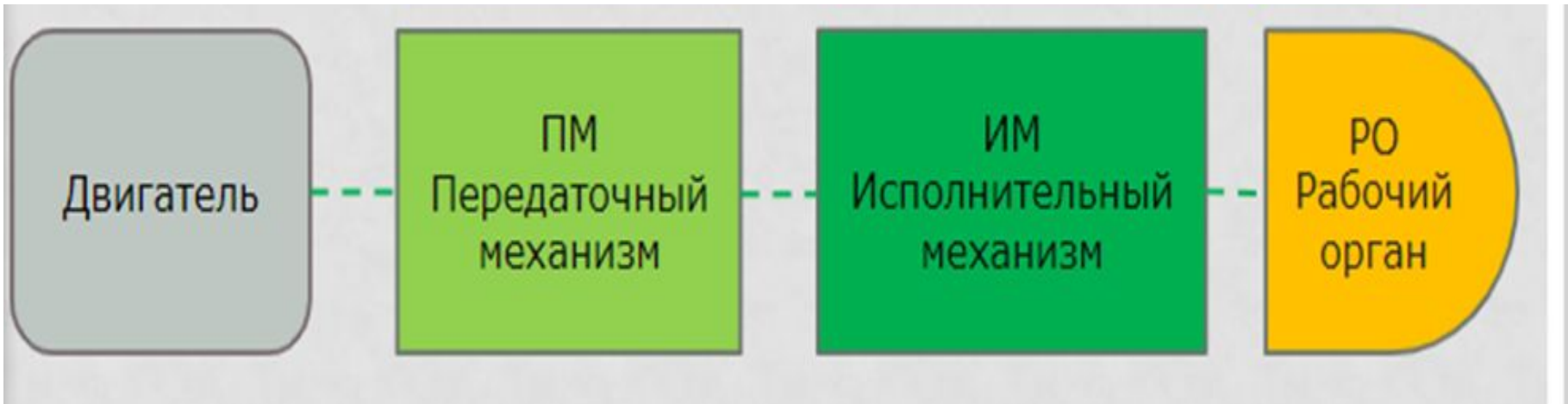
- Теория механизмов и машин (ТММ) излагает научные основы создания новых машин и механизмов, методы их построения и методы теоретического и экспериментального исследования.
- Проблемы, которыми занимается ТММ, – это проблемы анализа и синтеза механизмов и машин

- **Анализ** заключается в определении свойств существующих механизмов и машин. Это прямая задача механики машин.
- **Синтез** механизмов заключается в создании новых механизмов, которые должны обладать улучшенными свойствами по сравнению с существующими с точки зрения производительности, надежности, долговечности и др. Это обратная задача механики и машин

Основные задачи дисциплины:

1. Формирование знаний о видах, строении и свойствах основных типов механизмов, применяемых в машиностроении.
2. Овладение навыками структурного и кинематического анализа механизмов.
3. Исследование движения машин, получения картины силового нагружения звеньев и связей механизмов в движении.
4. Формирование знаний о синтезе основных видов механизмов по различным условиям.
5. Приобретение навыков решения практических задач, возникающих при исследовании и проектировании механизмов.

- **Машина** есть устройство, создаваемое человеком для использования законов природы с целью облегчения физического и умственного труда, увеличения его производительности путем частичной или полной замены человека в его трудовых и физиологических функциях.
- **Машина** есть устройство, действующее на основе законов механики и предназначенное для преобразования энергии, материалов и информации и перемещения изделий.



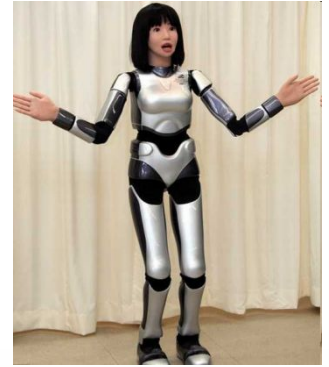
машины

энергетические



технологические

кибернетически
е



транспортные



информационны
е



I. **Энергетические.** В них происходит преобразование энергии из одного вида в другой (например, электрогенераторы, электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания любого типа, паровые и газовые турбины и т. д.).

II. **Технологические.** Они предназначены для изменения формы, размеров и физических свойств материалов (металлорежущие станки, деревообрабатывающие, дорожные, строительные, полиграфические машины, машины пищевых производств, машины текстильной и лёгкой промышленности и др.). Эти машины составляют самую многочисленную группу.

III. **Транспортные.** Эти машины служат для перемещения всевозможных изделий, материалов и людей (автомобили, самолёты, локомотивы, суда, подъемные краны, конвейеры, манипуляторы).

IV. **Информационные.** Машины, составляющие эту группу, служат для хранения, переработки и передачи информации (различные вычислительные устройства, ЭВМ, компьютеры в том числе ПК).

V. **Кибернетические.** Для замены человека в его трудовых, и физиологических функциях (аппараты искусственное сердце, искусственные почки, робот-домохозяйка и др.).

Машина, как правило, состоит из одного или нескольких механизмов.

***Механизмом** называется искусственно созданная система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемые движения других тел.*

Основные допущения, используемые при моделировании механических систем:

Идеализированные модели (общепринятые допущения): все составные части механической системы выполнены абсолютно жесткими (деформации малы, не изменяют протяженности звеньев), связи точно исполнены (зазоры малы); в соединениях отсутствует трение.

Модели первого приближения: в механической системе учитывают массы звеньев и их распределение, а также силы, действующие в системе.

Реальное моделирование (модели высокой степени достоверности): предусматривает учет первичных ошибок, силовых, деформационных и температурных искажений; характер действия сил; податливость материала; зазоры в связях; процессы трения.

Чтоб механизм мог производить требуемые движения и передавать необходимые силы, связи и звенья должны иметь достаточную жесткость.

МЕХАНИЗМЫ

электрические



механические





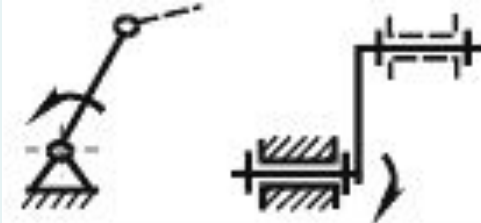

гидравлические

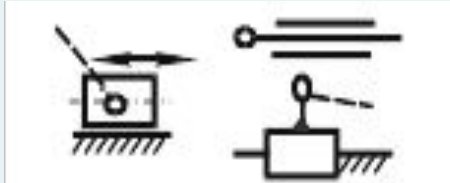
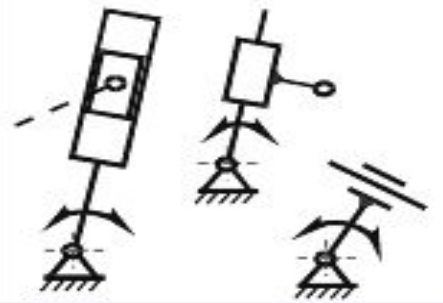
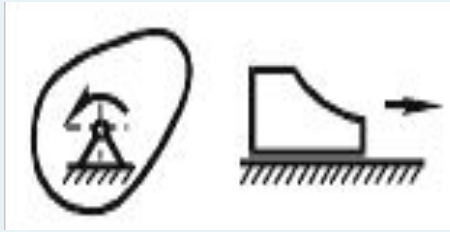



пневматические

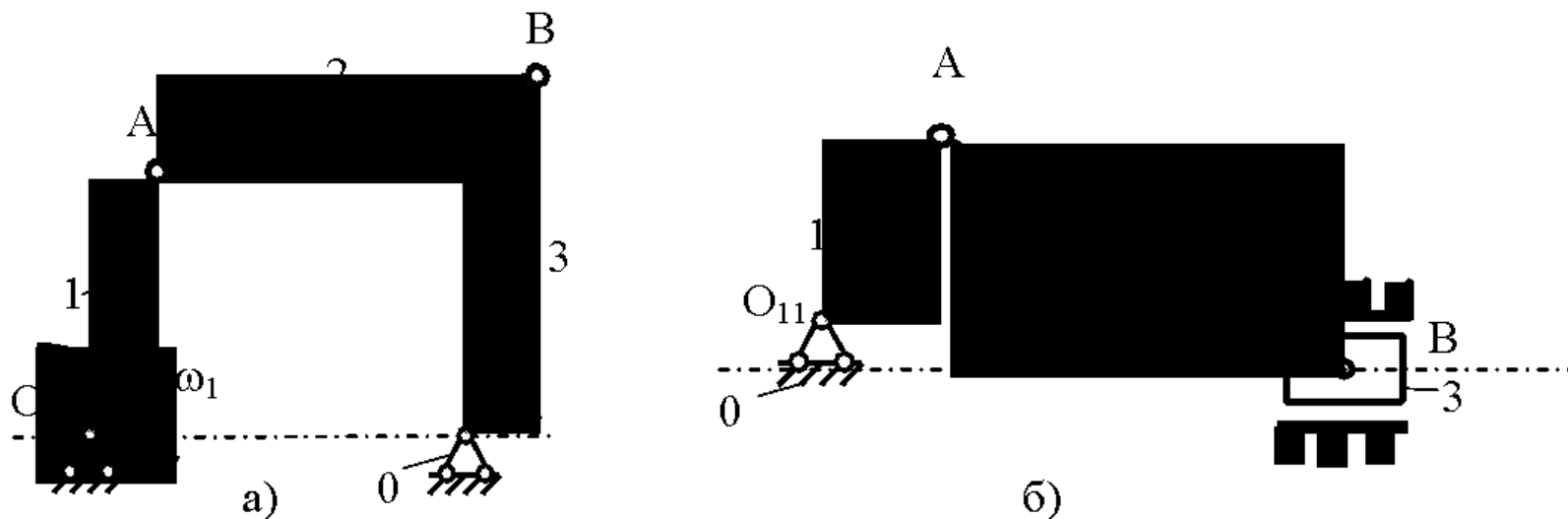


- Твердые тела в составе механизма – **звенья**.
- *Подвижное соединение двух звеньев, допускающее их относительное движение, называется **кинематической парой**.*
- *Механизм называется **плоским**, если все его звенья движутся параллельно одной плоскости, и траектории всех его точек – плоские кривые.*
- *В противном случае механизм **пространственный**.*

Название	Условное обозначение на схемах	Движение	Особенности
1. Стойка		Отсутствует	-
2. Кривошип		Вращательное	Полный оборот
3. Коромысло		Качательное	Неполный оборот, возвратное движение
4. Шатун		Плоскопараллельное	Нет пар, связанных со стойкой

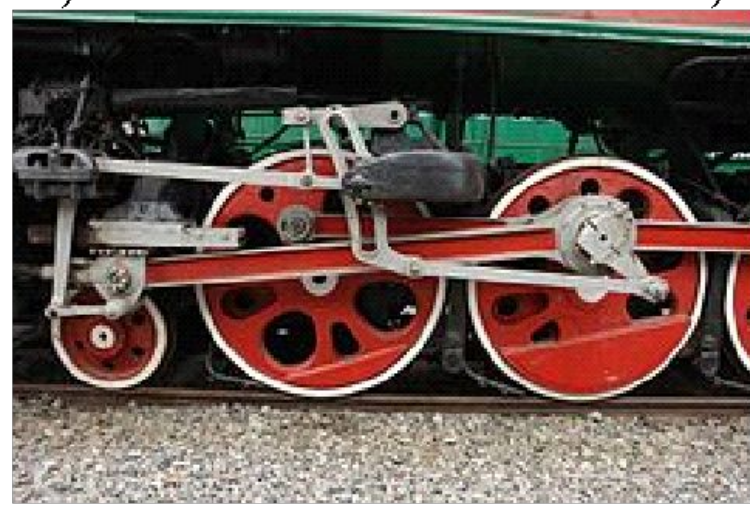
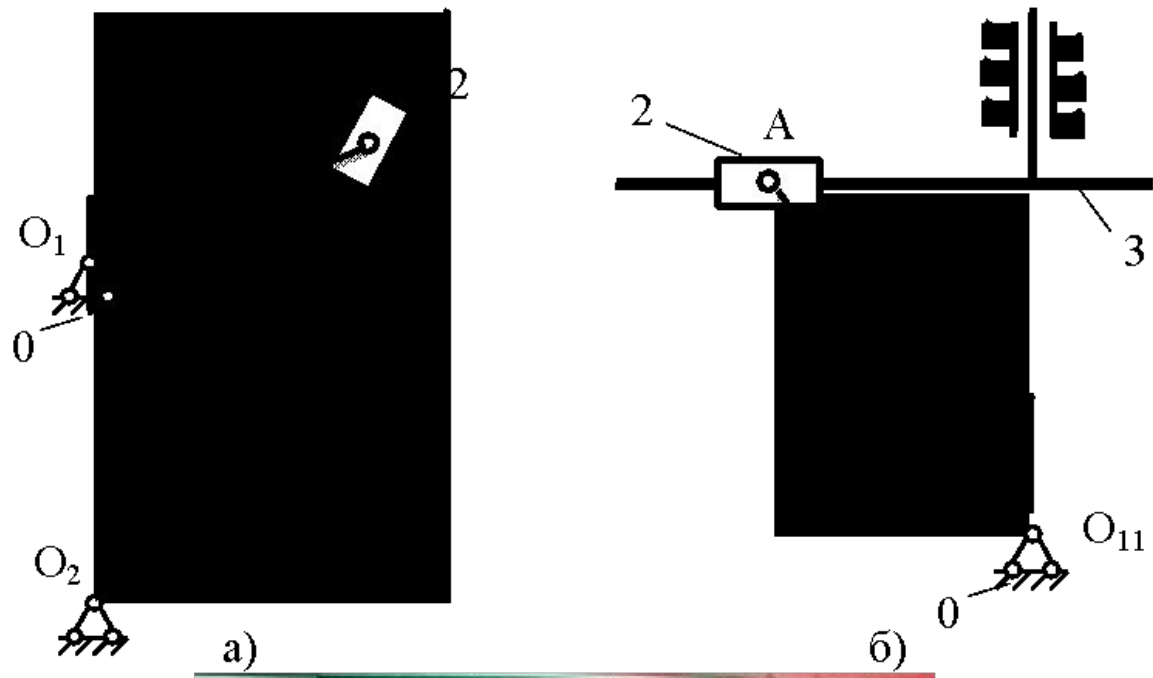
Название	Условное обозначение на схемах	Движение	Особенности
5. Ползун		<p>Поступальное Возвратное</p>	<p>Связано со стойкой</p>
6. Кулиса		<p>Качательное</p>	<p>Направляющая для ползуна (кулисного камня)</p>
7. Кулачок		<p>Вращательное Поступальное</p>	<p>Профиль определяет движение ведомого звена</p>
8. Зубчатое колесо		<p>Вращательное</p>	<p>Зубчатый контур</p>

1.1.



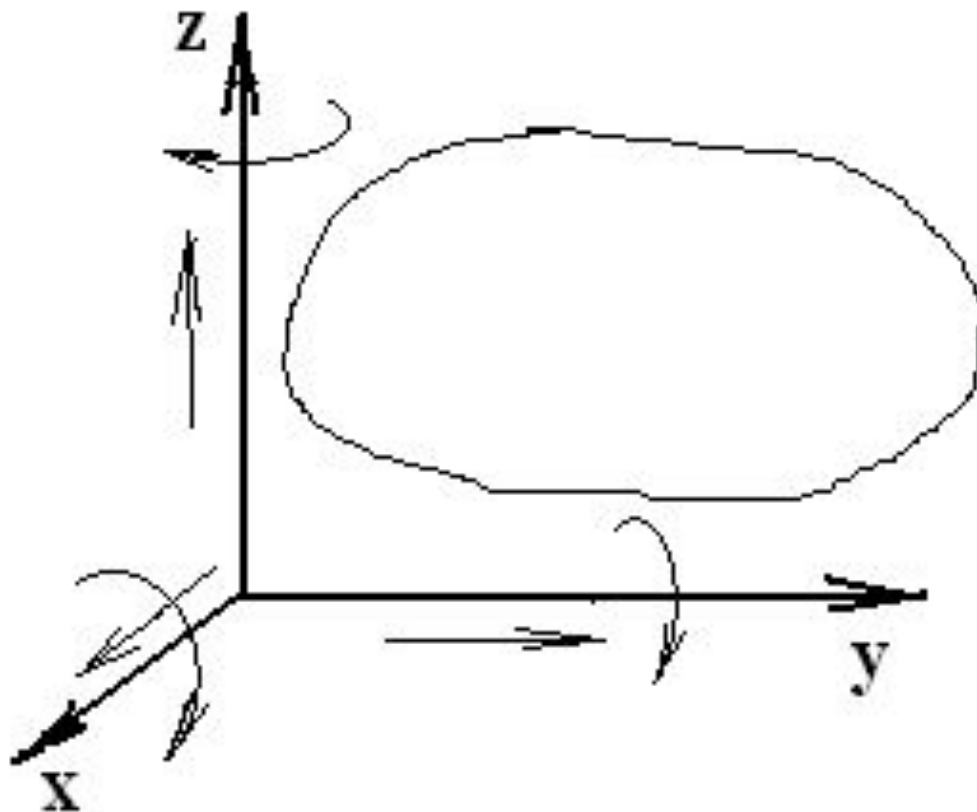
в)

Схема механизмов: а) шарнирный четырёхзвенник; б) кривошипно-ползунный механизм; в) реальный объект



Кулисный механизм: а), б) схема; в) реальный объект

**Классификация плоских
кинематических пар
Классификация по числу
условий связей**

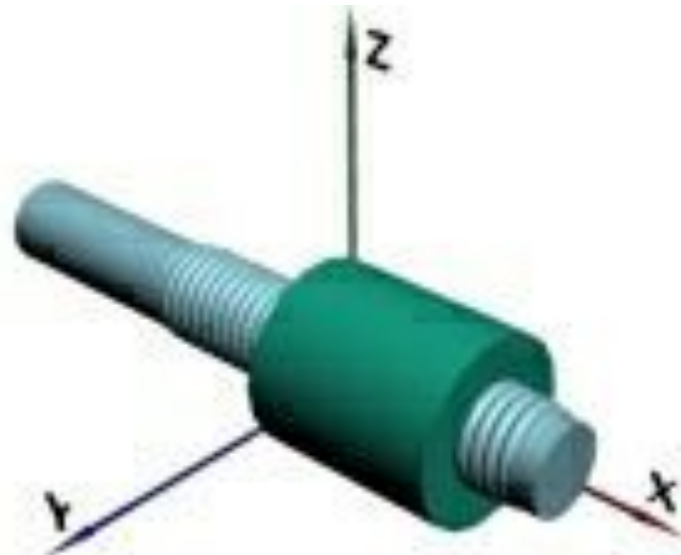
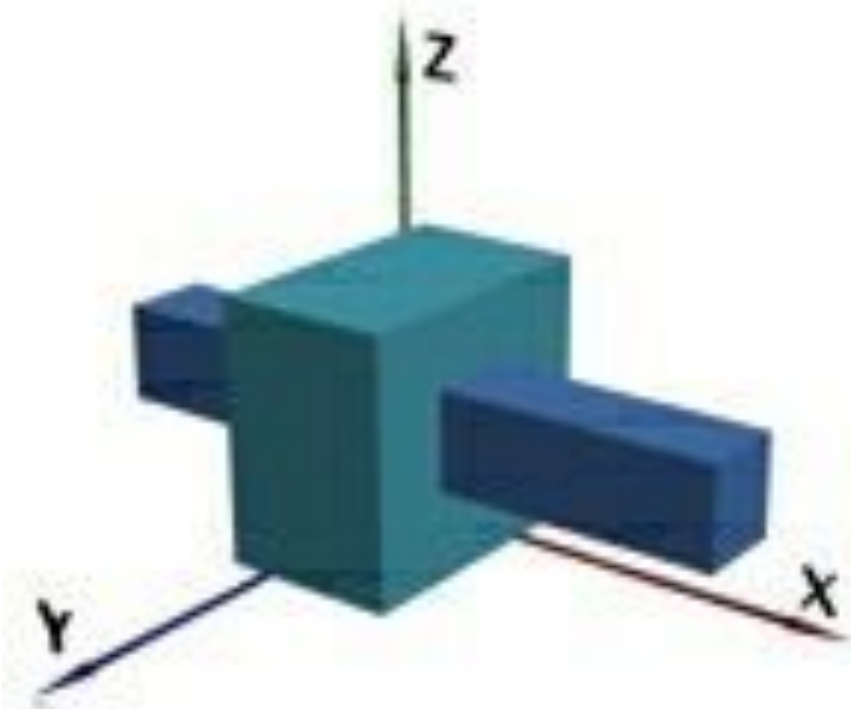


на свободное твёрдое тело не наложено ни одной связи. Если обозначить число степеней свободы буквой H , а число связей буквой S , то можно записать:

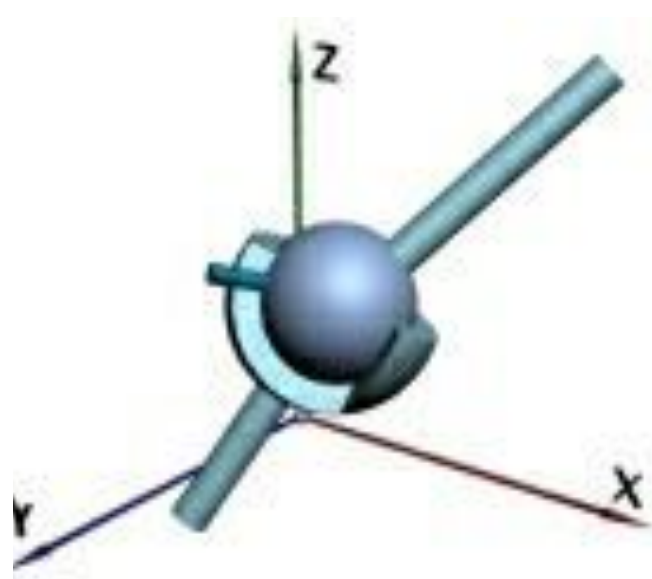
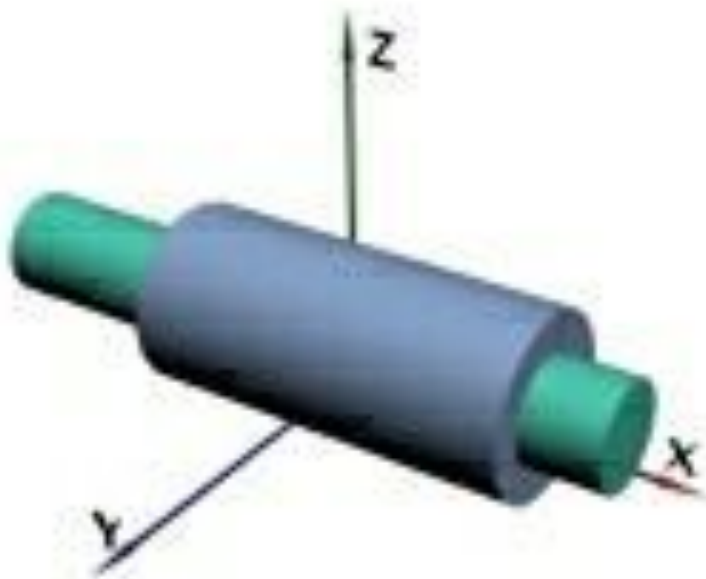
$$H = 6, \quad S = 0$$

Класс кинематической пары определяется количеством наложенных связей:

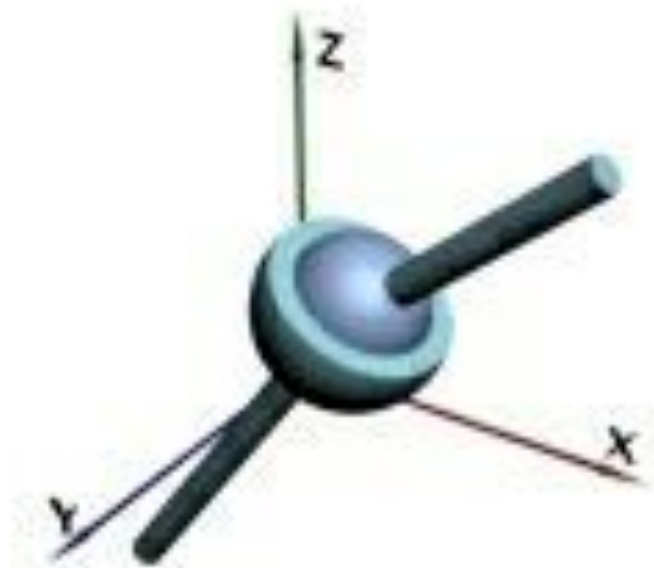
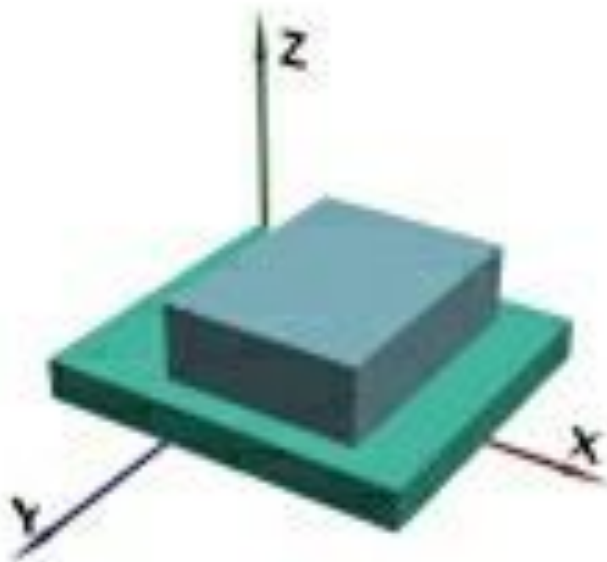
S = 5 такая кинематическая пара в соответствии с числом **S** является *парой 5-го класса*



$S = 4$ такая кинематическая пара в соответствии с числом S является парой 4-го класса



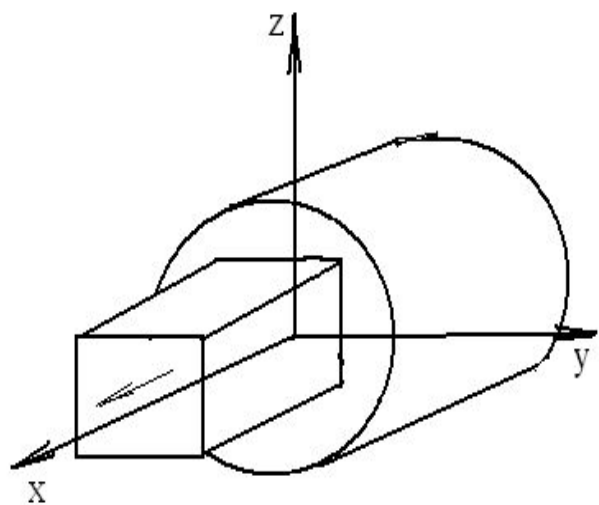
S = 3 такая кинематическая пара в соответствии с числом **S** является парой 3-го класса



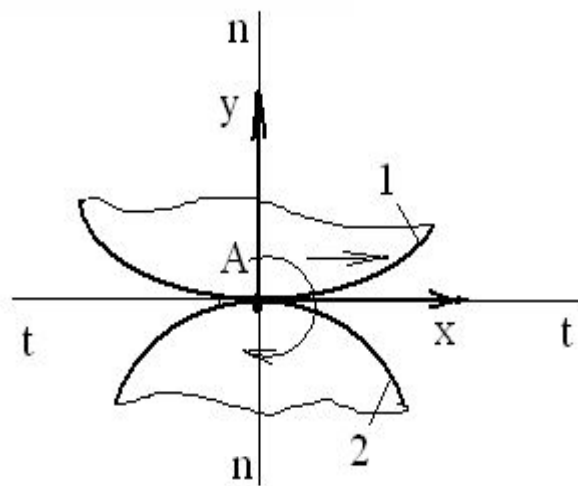
Классификация по характеру касания элементов

- *Элемент кинематической пары* – это совокупность точек, линий или поверхностей, которыми данное звено входит в касание с другим звеном при образовании кинематической пары. Если касание элементов кинематической пары происходит по линии или в точке, то кинематическая пара **высшая** (пара 4-го класса), если касание происходит по поверхности, то кинематическая пара **низшая** (пара 5-го класса).

НИЗШАЯ



ВЫСШАЯ



Расчет подвижности плоского механизма

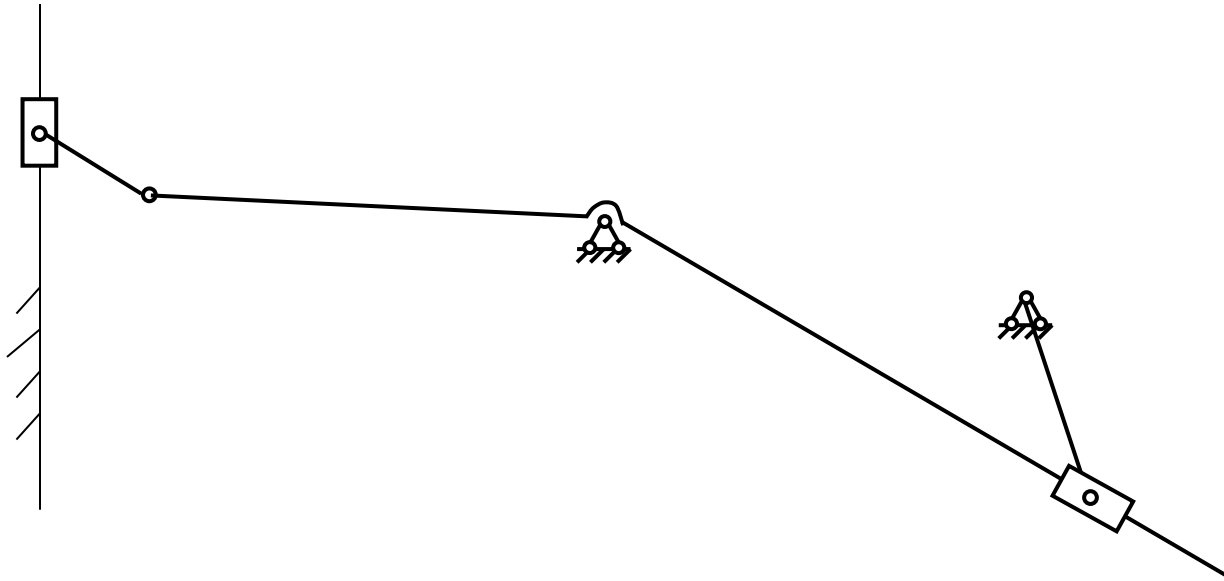
- **Подвижностью** механизма (или его числом степеней свободы) называется количество обобщённых (независимых) координат, которое должен иметь механизм для того, чтобы все его звенья имели вполне определённые движения.
- Представим себе, что нам необходимо спроектировать механизм из k звеньев. Так как каждое звено, будучи свободным в плоскости, обладает тремя степенями свободы, то получим:
- $3k$ – общее количество степеней свободы всех k звеньев.
- При образовании *кинематической цепи* звенья теряют свои степени свободы.
- **Кинематическая цепь** – это ряд звеньев, соединённых между собой кинематическими парами. Если в кинематической цепи
- p_5 – количество кинематических пар 5-го класса, а каждая такая пара накладывает два условия связи на относительное движение звеньев, поэтому
- $2p_5$ – общее количество условий связи, наложенных всеми парами 5-го класса.
- Пусть также в кинематической цепи
- p_4 – количество кинематических пар 4-го класса. Так как каждая пара 4-го класса накладывает одно условие связи, то
- $1p_4$ – общее количество условий связи, наложенных на относительное движение звеньев всеми парами 4-го класса.
- Если обозначить буквой S общее количество условий связей в кинематической цепи, наложенное парами обоих классов, то

$$S = 2 p_5 + p_4 .$$

- Количество степеней свободы H кинематической цепи определится разностью между числами $3k$ и S :

$$H = 3k - (2 p_5 + p_4).$$

- **Механизм** – это кинематическая цепь с одним неподвижным звеном, допускающая целесообразные однозначно определенные движения.



Степень подвижности механизма определяется по формуле Чебышева:

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

где n - число подвижных звеньев

P_5 - число кинематических пар V класса,

P_4 - число кинематических пар IV класса.

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

Структурная классификация механизмов

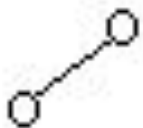
**Принцип структурного
образования механизмов по Л.
В. Ассуру**

- *Кинематическая цепь, которая после присоединения её всеми свободными элементами кинематических пар к стойке получает подвижность, равную нулю, называется группой Асура.*

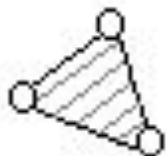
$$W_{гр.Асс.} = 0.$$

Группы Ассура делятся на классы и порядки.

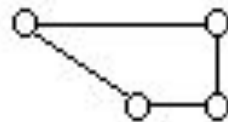
Класс группы определяется классом наиболее сложного замкнутого контура в составе группы:



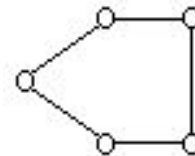
II класс



III класс



IV класс



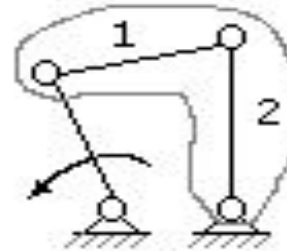
V класс

Кинематические пары в контуре III класса, могут быть расположены по одной прямой, не образуя никакой контур, однако считается, что и в этом случае имеется контур III класса.

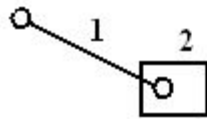
Порядок групп Ассура определяется количеством свободных элементов кинематических пар, которыми группы Ассура присоединяются к другим звеньям.



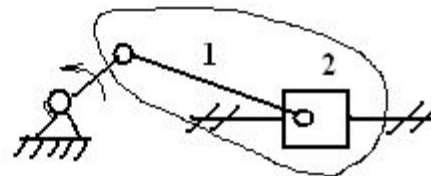
группа Ассура II класса,
2-го порядка 1-го вида



четырёхшарнирный
механизм



группа Ассура II класса,
2-го порядка 2-го вида



кривошипно-ползульный
механизм

Классификация механизмов. Формула строения

Класс механизма – это класс группы Ассур наиболее высокого класса.

При одном ведущем звене



третьего класса

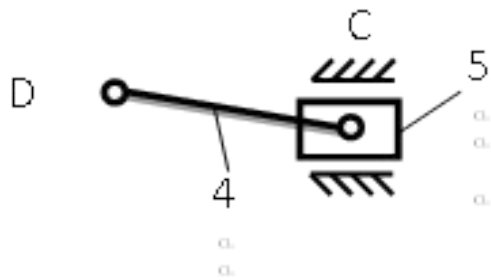
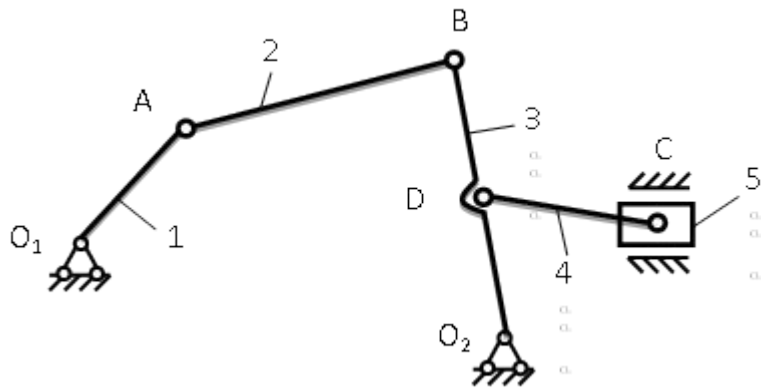
При двух ведущих звеньях



четвертого класса

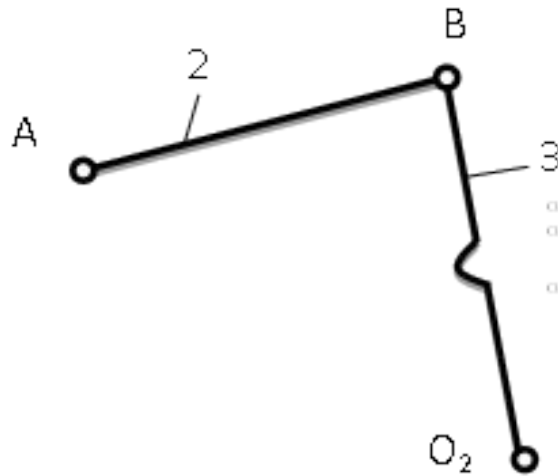
В числителе этих формул проставлены номера звеньев, в знаменателе – класс и порядок групп Ассур. Исходный механизм считается механизмом первого класса. Стрелки указывают направление передачи движения от исходного механизма.

$$W = 3n - 2P_5 - P_4 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1$$



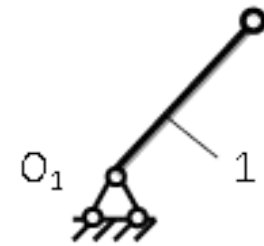
$$W = 3n - 2P_5 - P_4 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$$

2 кл, 2 пор, 2 вид



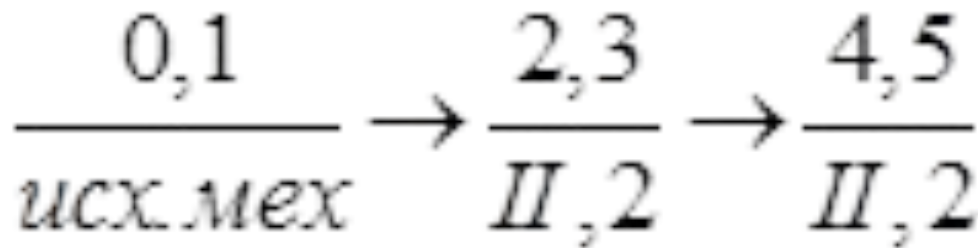
$$W = 3n - 2P_5 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$$

2 кл, 2 пор, 1 вид



$$W = 3n - 2P_5 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1$$

1 кл, 1 пор



Кинематика рычажных механизмов

Задачи исследования

- 1) Определение положений звеньев механизма и определение траекторий отдельных его точек.
- 2) Определение линейных скоростей точек механизма и угловых скоростей его звеньев.
- 3) Определение линейных ускорений точек механизма и угловых ускорений его звеньев.

Исходные данные

Для решения задач кинематики необходимо иметь

- 1) Кинематическую схему механизма и все кинематические размеры его звеньев.
- 2) Закон движения входного (ведущего) звена.

Методы исследования

- 1) Аналитический.
- 2) Графо-аналитический (метод планов положений, скоростей и ускорений).
- 3) Метод графического дифференцирования.
- 4) Экспериментальный.

Аналитический метод

Метод заключается в определении математических выражений, описывающих функциональную связь между входными и выходными параметрами механизма. Для этого служат различные приёмы и методы, такие как метод векторных контуров, который образуется заменой кинематических размеров звеньев векторами, с последующим проецированием этого контура на оси системы координат и получением на этой основе соответствующих уравнений, описывающих кинематику данного механизма. Этой же цели служит метод разбиения схемы механизма на прямо- или косоугольные треугольники, решая которые, получают необходимые математические выражения.

Графоаналитический метод

Метод заключается в определении функции положения механизма при помощи разметки механизма.

Разметка механизма – это ряд последовательных положений механизма, построенный в зависимости от положений входного звена, охватывающих весь цикл его движения (как правило, один оборот).



Определение скоростей и ускорений

Планом скоростей (ускорений) механизма называется пучок векторов, выходящих из одной точки (полюса плана), каждый из которых в некотором масштабе изображает вектор абсолютной скорости (абсолютного ускорения) какой-либо точки механизма, а отрезки, соединяющие их концы, изображают векторы относительных скоростей (относительных ускорений).

скорости

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

$$V_A = \omega_1 \cdot r_1$$

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

$$\omega_2 = \frac{V_{BA}}{l_2}$$

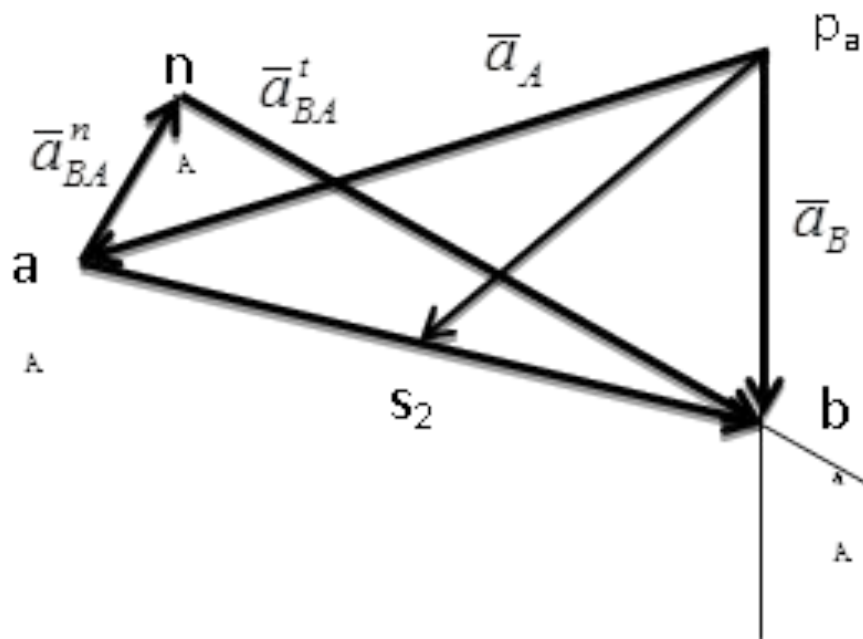
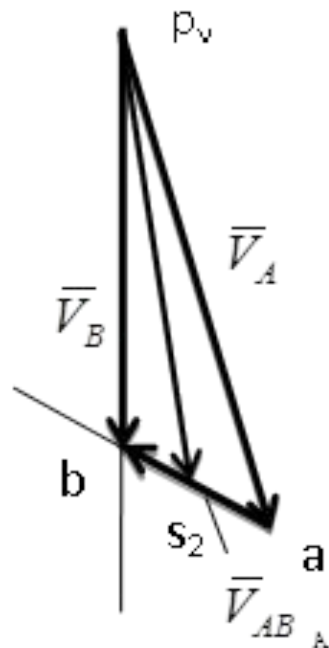
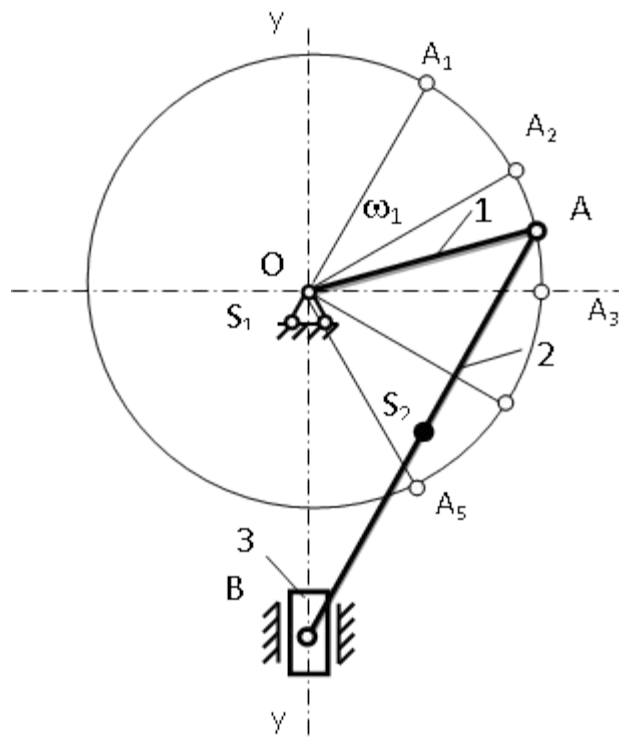
ускорения

$$a_A = \omega_1^2 \cdot r_1 =$$

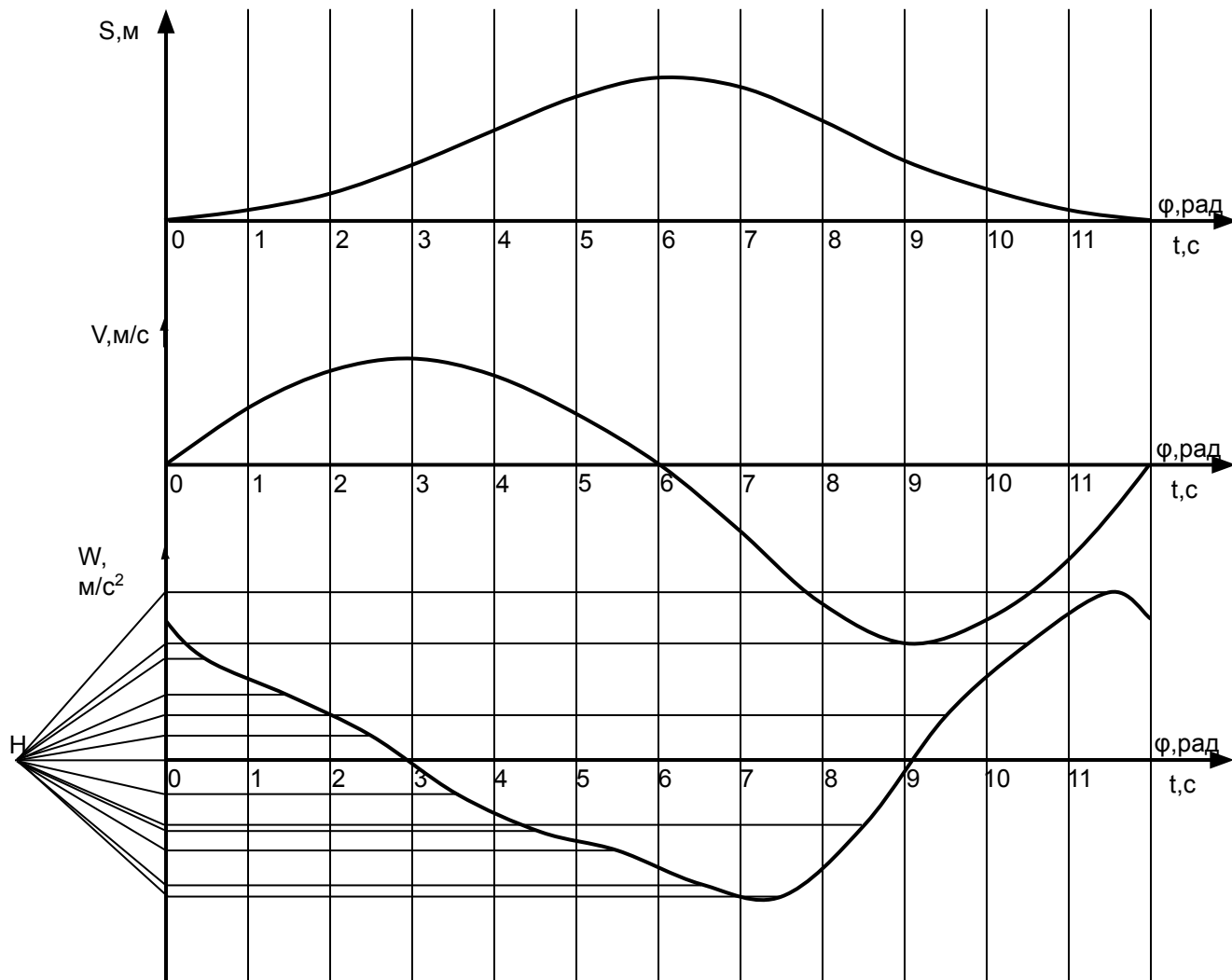
$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^\tau$$

$$a_{BA}^n = \frac{V_{BA}^2}{l_2}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^\tau}{l_2}$$



Метод кинематических диаграмм (метод графического дифференцирования)



Кинетостатика механизмов

В этом разделе изучаются силы, действующие на звенья механизмов. Из-за ограниченности объёма данной работы здесь рассматриваются только механизмы с низшими кинематическими парами. Задачами этого раздела являются следующие.

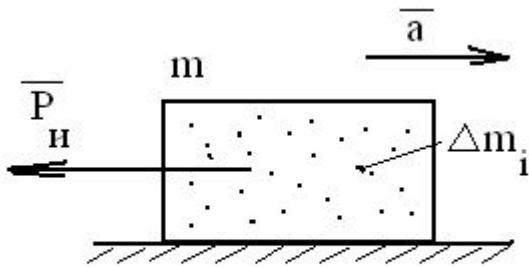
- 1) Определение реакций в кинематических парах механизмов с целью их использования в дальнейшем для прочностных расчётов звеньев и элементов кинематических пар, сил трения, КПД и т. д.
- 2) Определение уравновешивающей силы или уравновешивающего момента на ведущем звене.

Для решения этих задач необходимо знать

- 1) кинематическую схему механизма и кинематические размеры его звеньев.
- 2) массы и моменты инерции звеньев.
- 3) внешние силы, действующие в машинах (применительно к технологическим машинам должны быть известны силы полезного, т. е. технологического сопротивления, применительно к машинам-двигателям необходимо знать движущие силы).

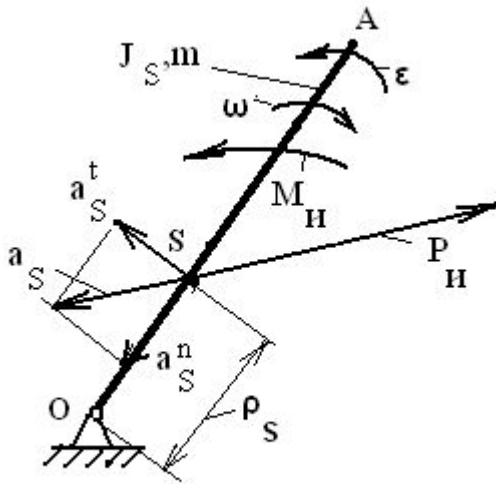
Расчёт сил инерции

Поступательное движение звена



$$P_{ин} = -m \cdot a$$

Вращательное движение звена



$$M_{ин} = -J_O \cdot \varepsilon$$

Общие положения силового расчёта

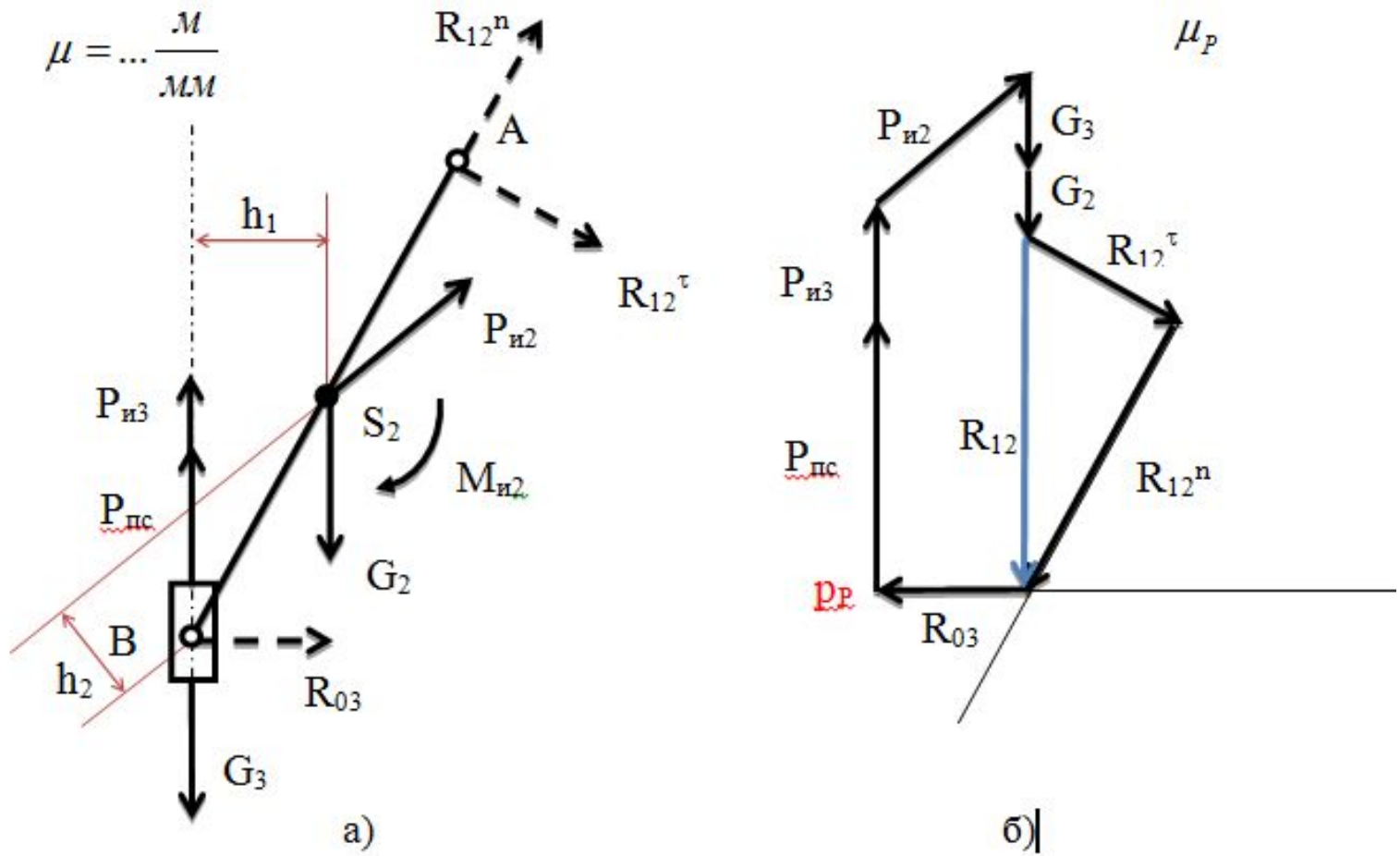
Принцип Даламбера: *если к системе сил, действующих на подвижную систему, добавить силы инерции, то такую систему можно рассматривать как находящуюся в равновесии, и к ней применимы законы статики.*

- **Принцип освобожденности:** *состояние механической системы не изменится, если связи отбросить, а их действие заменить реакциями.*

Группа Ассура является статически определимой кинематической цепью, и силовой расчёт механизмов производится по группам Ассура.

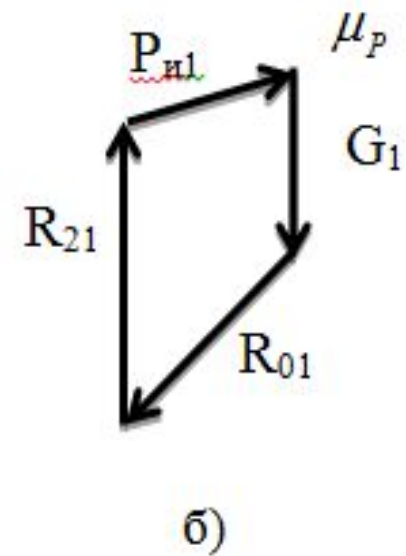
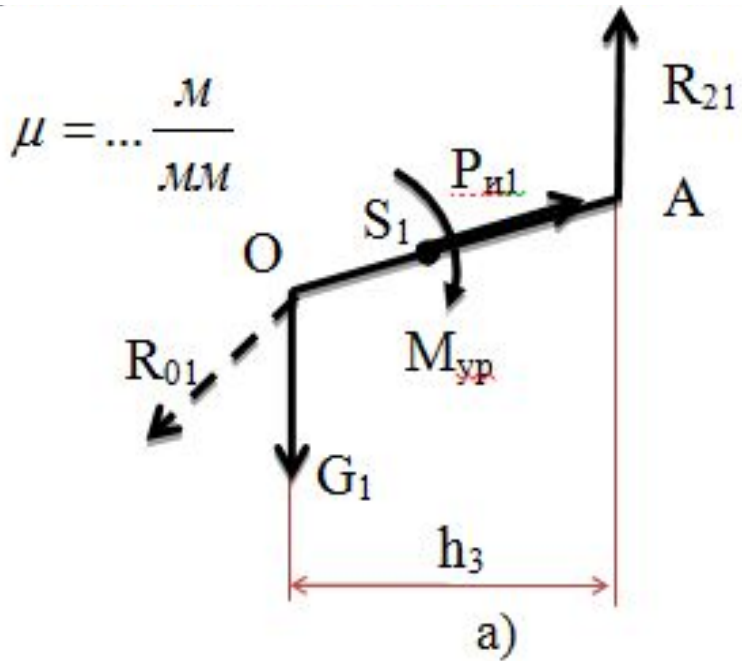
Силовой расчёт группы Ассура 2-3

$$P_3 + P_{и3} + G_3 + G_2 + P_{и2} + R_{12}^t + R_{12}^n + R_{03} = 0$$



Силовой расчёт кривошипа (ведущего звена)

$$P_{21} + P_{и1} + G_1 + R_{01} = 0$$



$$M_{21} = R_{21} \cdot h_{21} = - M_{yp}$$

Определение уравнивающей силы способом Н.Е. Жуковского

Способ основан на принципе возможных перемещений: *если система сил находится в равновесии, то сумма элементарных работ на возможных перемещениях точек приложения этих сил равна нулю.*

