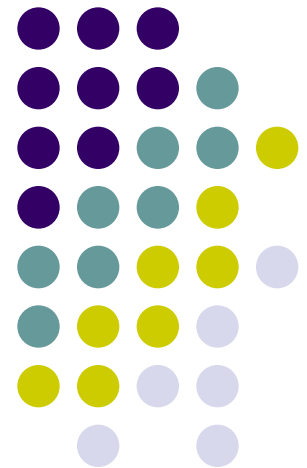


# Прикладная механика

Кафедра Механики и  
инженерной графики

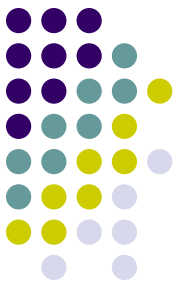




# Правила аттестации

- Рейтинг студента по дисциплине «ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА» определяется как сумма баллов за работу в семестре (текущий рейтинг) и баллов, полученных в результате итоговой аттестации (экзамен ).
- Работа в семестре – 60 баллов
- Экзамен (3 семестр) - 40 баллов

# Правила аттестации



- 1. В течение третьего семестра необходимо выполнить 6 расчетно-графических работ в сроки, установленные графиком выполнения, а также выполнить две контрольные работы текущего контроля.
- 2. В случае представления расчетно-графических работ с опозданием происходит потеря баллов на понижающий коэффициент 0,7.
- 3. При выполнении РГР, контрольных и лабораторных работ выставляются следующие баллы в соответствии с рейтинг-листом



# Правила аттестации

- Для получения допуска на экзамен необходимо выполнить обязательные задания, т.е. набрать 40 баллов.
- Выполняя дополнительные задачи и проявляя активность на практических занятиях, можно набрать максимум 91 балл. При рейтинге от 85 баллов студент обеспечивает получение экзамена.
- Студенты, получившие за работу в третьем семестре менее 40 баллов, к экзамену не допускаются.

# Рейтинг-лист



Виды работ	МОДУЛИ			БАЛЛЫ	
	М1. ТММ 3 ПЗ	М2. СМ 7 ПЗ	М3. ДМ 6 ПЗ	MIN	MAX
РГР	1x5 5	4x5 20	1x5 5	21	30
ДОП. ЗАДАЧА	1x5 5	1x5 5	1x5 5	0	15
КОНТР. РАБОТА	1x5 5	1x5 5		5	10
РАБОТА НА ПЗ.	(0...1)x3 3	(0...1)x7 7	(0...1)x6 6	0	16
ЛБ	3+3+4=10 10		2x5 10	14	20
				40	91

ДОП.ЗАДАЧА: ДОЛГ ЗА НЕ ВОВРЕМЯ СДАННУЮ РГР

# Правила итоговой аттестации



- 1. К экзамену допускаются студенты, защитившие РГР, лабораторные работы, и написавшие контрольные работы.
- 2. **Экзамен** проводится в письменном виде: два теоретических вопроса и одна задача.
- 3. На экзамене выставляются следующие баллы:
- 40 – за все задания без замечаний;
- 35 – за все задания без серьезных замечаний;
- 30 – если выполнены два задания, из них одно – задача;
- 25 – если выполнены два задания без серьезных замечаний.



Таблица 7.2–Итоговая оценка в третьем семестре

Количество баллов	Традиционная оценка	Оценка по шкале ECTS
85–100	отлично	A+; A; A-; B+
70–84	хорошо	B; B-; C+;C
50–69	удовлетворительно	C-; D+; D; D-;E
40-49	неудовлетворительно с правом пересдачи	FX
0-39	неудовлетворительно без права пересдачи	F

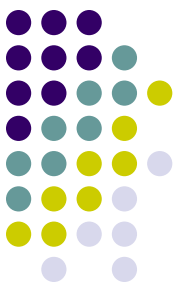
# Составные части дисциплины «Прикладная механика»



- Теория механизмов и машин
- Сопротивление материалов
- Детали машин и основы конструирования



# Рекомендованная литература по ТММ



- 1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин.– М.: Наука, 1975, 1988.– 639 с.
- 2. Фролов К.В. и др. Теория механизмов и механика машин: Учебник для вузов; Под ред. К.В. Фролова.– М.: Высшая школа, 1987,2001 – 496 с.
- 3. Левитская О.Н., Левитский Н.И. Курс теории механизмов и машин.– М.: Высшая школа, 1978.– 269 с.

# Основные понятия теории механизмов и машин



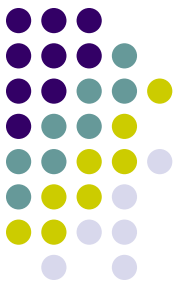
- Теория механизмов и машин – наука, изучающая структуру, кинематику и динамику механизмов.
- Целью структурного и кинематического исследования является изучение строения механизмов и исследование движения их звеньев, независимо от сил, вызывающих движение.
- Целью динамического исследования является изучение методов определения сил, действующих на звенья.
- Разработанная схема механизма, результаты кинематического и динамического анализа служат основой для последующих стадий – конструирования и расчета реальных механизмов и разработки конструкторской документации, с учетом требований, предъявляемых к современным машинам, приборам и автоматическим устройствам.

# Основные понятия теории механизмов и машин

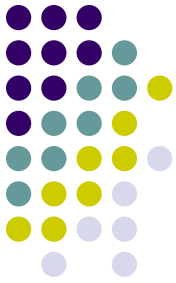
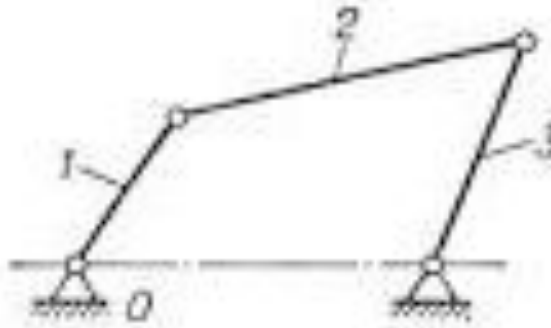


- **Машина** – устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации с целью замены или облегчения физического и умственного труда человека.
- Различают **энергетические** машины (электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, электрогенераторы...), **технологические** машины (металлообрабатывающие станки, ткацкие станки, упаковочные станки...), **транспортные** машины (автомобили, подъемники, конвейеры...), **информационные** машины (контрольно-управляющие машины, вычислительные машины).

# Основные понятия теории механизмов и машин



- Кинематическую основу машин составляют *механизмы*
- **Механизм** – система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких твердых тел в требуемые движения других твердых тел.
- Если в преобразовании движения кроме твердых тел участвуют **жидкие** или **газообразные** тела, то механизмы называются соответственно **гидравлическими** или **пневматическими**.



- Элементарная часть машины, механизма или прибора, изготовленная из однородного материала без сборочных операций, называется **деталью**.
- Твердые тела, входящие в состав механизма, называются **звеньями**.
- Звенья могут состоять из одной или нескольких деталей, соединенных между собой неподвижно и образующих одно жесткое целое.
- **Неподвижное** или принимаемое за неподвижное **звено** (например, рама автомобиля, корпус станка и т.п.), относительно которого остальные звенья совершают движение, называется **стойкой**.
- Из подвижных звеньев выделяют входные и выходные звенья. **Входными** являются звенья, которым сообщается движение (например, от двигателя), преобразуемое механизмом в требуемое движение других звеньев. **Выходными** называются звенья, совершающие движения, для выполнения которых предназначен механизм.

# Основные понятия теории механизмов и машин



- Звенья соединяются между собой подвижно.
- Подвижное соединение двух соприкасающихся звеньев называется **кинематической парой**.
- Подвижность соединения звеньев состоит в возможности их относительного движения.

# Классификация кинематических пар по числу степеней свободы и числу связей



Числом степеней свободы механической системы называется число независимых возможных перемещений системы.

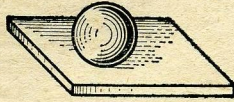
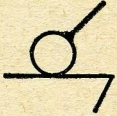
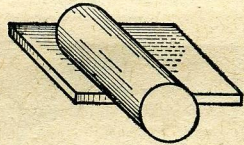
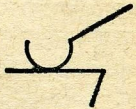
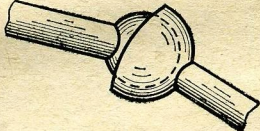

Для твердого тела, свободно движущегося в пространстве, число степеней свободы равно шести: три возможных перемещения вдоль неподвижных координатных осей и три – вокруг этих осей.

Для звеньев, входящих в кинематическую пару, число степеней свободы в их относительном движении всегда меньше шести.

По классификации Добровольского В.В. все кинематические пары подразделены по числу степеней свободы на одно-, двух-, трех-, четырех- и пятиподвижные.

# Классификация кинематических пар по числу степеней свободы и числу связей



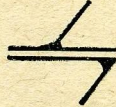
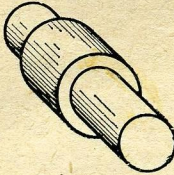
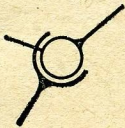
Класс пары	Число степеней свободы	Число связей	Название	Рисунок	Условное обозначение ГОСТ 2.703-68
I	5	1	шар-плоскость		
II	4	2	цилиндр-плоскость		
III	3	3	сферическая		

Номер класса пары совпадает с числом связей



# Классификация кинематических пар по числу степеней свободы и числу связей



Класс пары	Число степеней свободы	Число связей	Название	Рисунок	Условное обозначение ГОСТ 2.703-68
III	3	3	плоскостная		
IV	2	4	цилиндрическая		
IV	2	4	сферическая с пальцем		

# Классификация кинематических пар по числу степеней свободы и числу связей



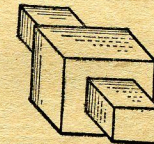
Класс пары	Число степеней свободы	Число связей	Название	Рисунок	Условное обозначение ГОСТ 2.703-68
------------	------------------------	--------------	----------	---------	------------------------------------

V

1

5

поступательная

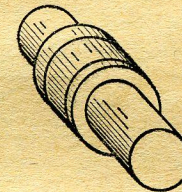


V

1

5

вращательная

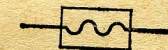
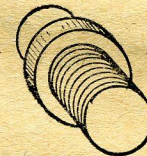


V

1

5

винтовая



# Классификация кинематических пар



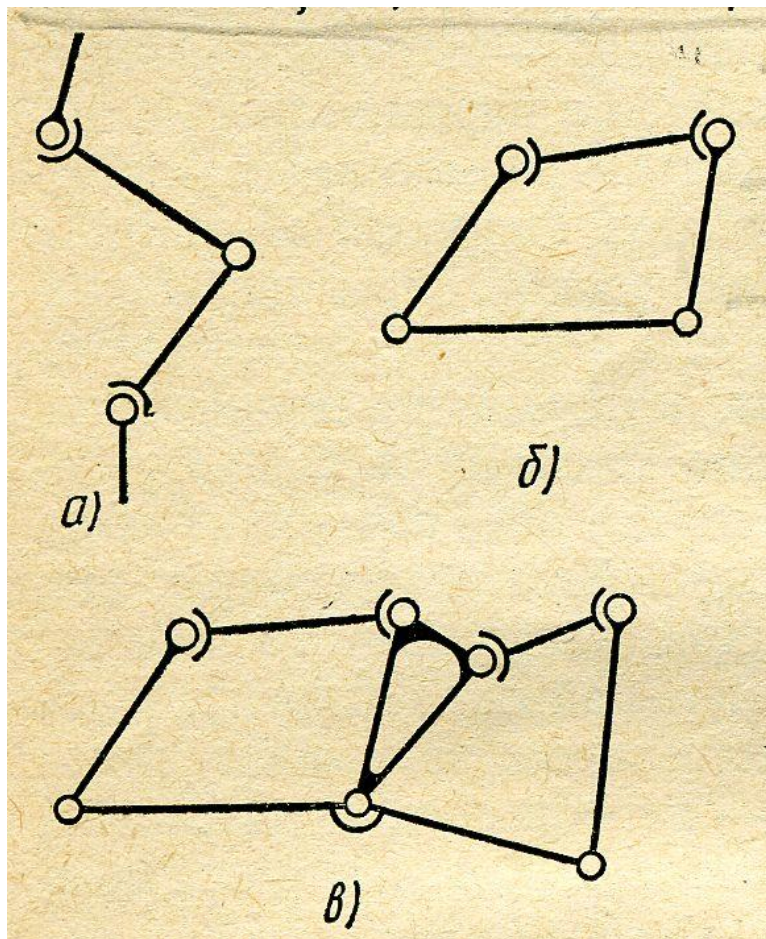
- Кинематические пары (КП) классифицируются по следующим признакам:
- **по виду места контакта поверхностей звеньев:**
  - **низшие**, в которых контакт звеньев осуществляется по плоскости или поверхности ( пары скольжения );
  - **высшие**, в которых контакт звеньев осуществляется по линиям или в точке (пары, допускающие скольжение с перекатыванием).
- **по относительному движению звеньев, образующих пару:**
  - вращательные;
  - поступательные;
  - винтовые;
  - плоские;
  - сферические.
- **по способу замыкания** (обеспечения контакта звеньев пары):
  - силовое (за счет действия сил веса или силы упругости пружины);
  - геометрическое (за счет конструкции рабочих поверхностей пары).



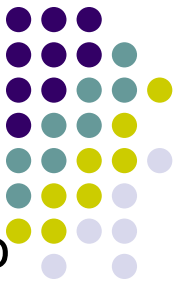
# Кинематические цепи

- Кинематической цепью называется система звеньев, образующих между собой кинематические пары.
- Все кинематические цепи подразделяются на плоские и пространственные.
- Кинематическая цепь, звенья которой не образуют замкнутых контуров, называется незамкнутой.
- Кинематическая цепь, звенья которой образуют один или несколько замкнутых контуров, называется замкнутой.

# Кинематические цепи



# Структура механизмов



- Под **структурой механизма** понимается совокупность его элементов и отношений между ними, т.е. совокупность звеньев, групп или типовых механизмов и подвижных или неподвижных соединений.
- **Структурная схема** - графическое изображение механизма, выполненное с использованием условных обозначений рекомендованных ГОСТ (см. например ГОСТ 2.703-68) или принятых в специальной литературе, содержащее информацию о числе и расположении элементов (звеньев, групп), а также о виде и классе кинематических пар, соединяющих эти элементы.
- В отличие от кинематической схемы механизма, структурная схема не содержит информации о размерах звеньев и вычерчивается без соблюдения масштабов.



# Понятие о структурном анализе и синтезе механизмов



- **Задачей структурного анализа** является задача определения параметров структуры заданного механизма - числа звеньев и структурных групп, числа и вида КП, числа подвижностей (основных и местных), числа контуров и числа избыточных связей.
- **Задачей структурного синтеза** является задача синтеза структуры нового механизма, обладающего заданными свойствами: числом подвижностей, отсутствием местных подвижностей и избыточных связей, минимумом числа звеньев, с парами определенного вида (например, только вращательными, как наиболее технологичными) и т.п.

# Число степеней свободы механизма



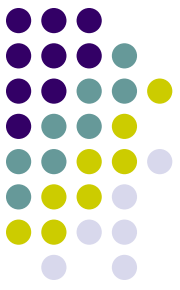
- Шесть степеней свободы твердого тела, свободно движущегося в пространстве, можно рассматривать как шесть независимых координат, определяющих его положение в пространстве (три линейных координаты и три угла Эйлера).
- Эти координаты принято называть обобщенными координатами.
- **Обобщенными координатами механизма** называют независимые между собой координаты, определяющие положения всех звеньев механизма относительно стойки.
- Число обобщенных координат механизма равно **числу степеней свободы механизма**.



# Структурная формула



- Общее число координат, определяющих положение  $n$  подвижных звеньев механизма, равно  $6*n$ .
- Каждая кинематическая пара класса  $m$  дает  $m$  уравнений связи, в которые входят координаты звеньев.
- Общее число этих уравнений равно
- $5*p_5 + 4*p_4 + 3*p_3 + 2*p_2 + p_1$
- $p_m$  – число пар  $m$ -го класса



# Структурная формула

- Если все уравнения независимы, то разность между общим числом координат и числом уравнений, связывающих эти координаты, дает число независимых координат (число степеней свободы) механизма

- $W = 6 \cdot n - 5 \cdot p_5 - 4 \cdot p_4 - 3 \cdot p_3 - 2 \cdot p_2 - p_1$

- **Формула Сомова-Малышева**

- Для плоского механизма

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

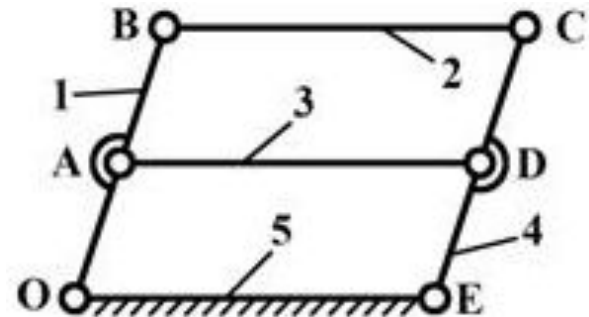
- **Формула Чебышева**

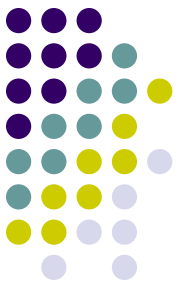
Для  
Пространственного  
механизма

# Структурные формулы с избыточными связями



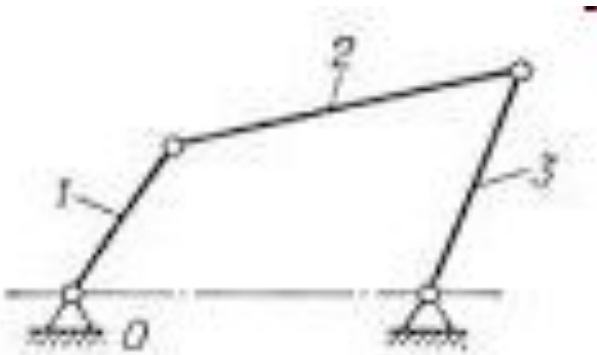
- В общее число наложенных связей может войти **q избыточных связей**, которые не уменьшают подвижности механизма, а обращают его в статически неопределимую систему.
- Тогда формулы принимают вид:
- $W = 6 \cdot n - 5 \cdot p_5 - 4 \cdot p_4 - 3 \cdot p_3 - 2 \cdot p_2 - p_1 + q$
- $W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4 + q$





# Примеры

- В плоском 4-х звенном механизме все кинематические пары 5-го класса
- $W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4 + q = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$



# Структурный синтез механизма



- **Структурным синтезом** называется проектирование структурной схемы механизма, который состоит из подвижных и неподвижных звеньев и кинематических пар, обеспечивающих требуемое движение выходного звена.
- Один из методов с.синтеза – **метод присоединения структурных групп Ассура** к ведущему звену или основному механизму.

# Структурные группы Ассура



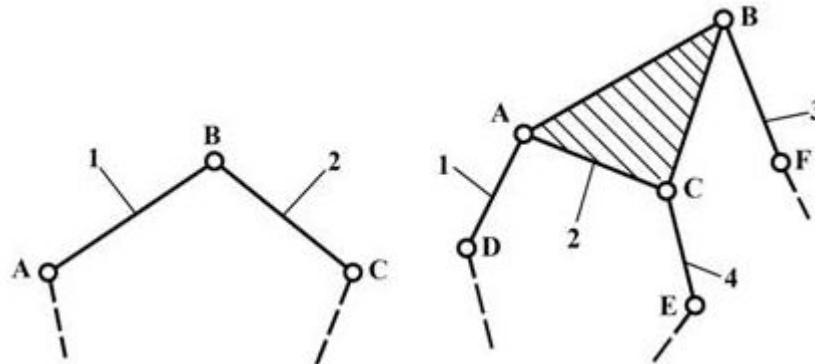
- Плоские кинематические цепи с нулевой степенью подвижности  $W=0$  называются **группами Ассура** .
- *Основной принцип образования механизмов, предложенный Л.В. Ассуром, заключается в следующем: любой механизм может быть образован путем последовательного присоединения кинематических цепей с нулевой степенью подвижности сначала к входному звену и к стойке, а затем и к любым другим звеньям.* И, наоборот, плоский механизм всегда можно разделить на механизм I-го класса и группы Ассура.

# Классификация Ассура-Артоболевского



- Группы Ассура делятся по классификации И.И. Артоболевского на **классы, порядки и виды**.
- **Класс и порядок механизма** определяется по той группе, которая имеет наивысший класс и входит в состав механизма.
- **Класс группы** определяется классом наивысшего по классу контура, входящего в его состав.
- **Класс контура** определяется количеством кинематических пар, в которое входят образующие его звенья.
- **Порядок группы** определяется числом элементов, которыми группа присоединяется к основному механизму.

2-го порядка

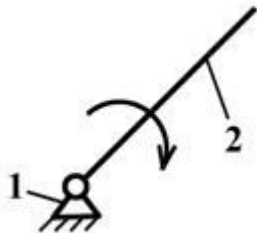


3-го порядка

- а) в группу Ассура II-го класса входит прямолинейный контур
- б) в группу Ассура III-го класса – трехсторонний контур ABC ;
- в) в группу Ассура IV-го класса – четырехсторонний подвижный контур



Классы контуров				
II	III	III	IV	V



1-го класса



# Модификации групп Ассура

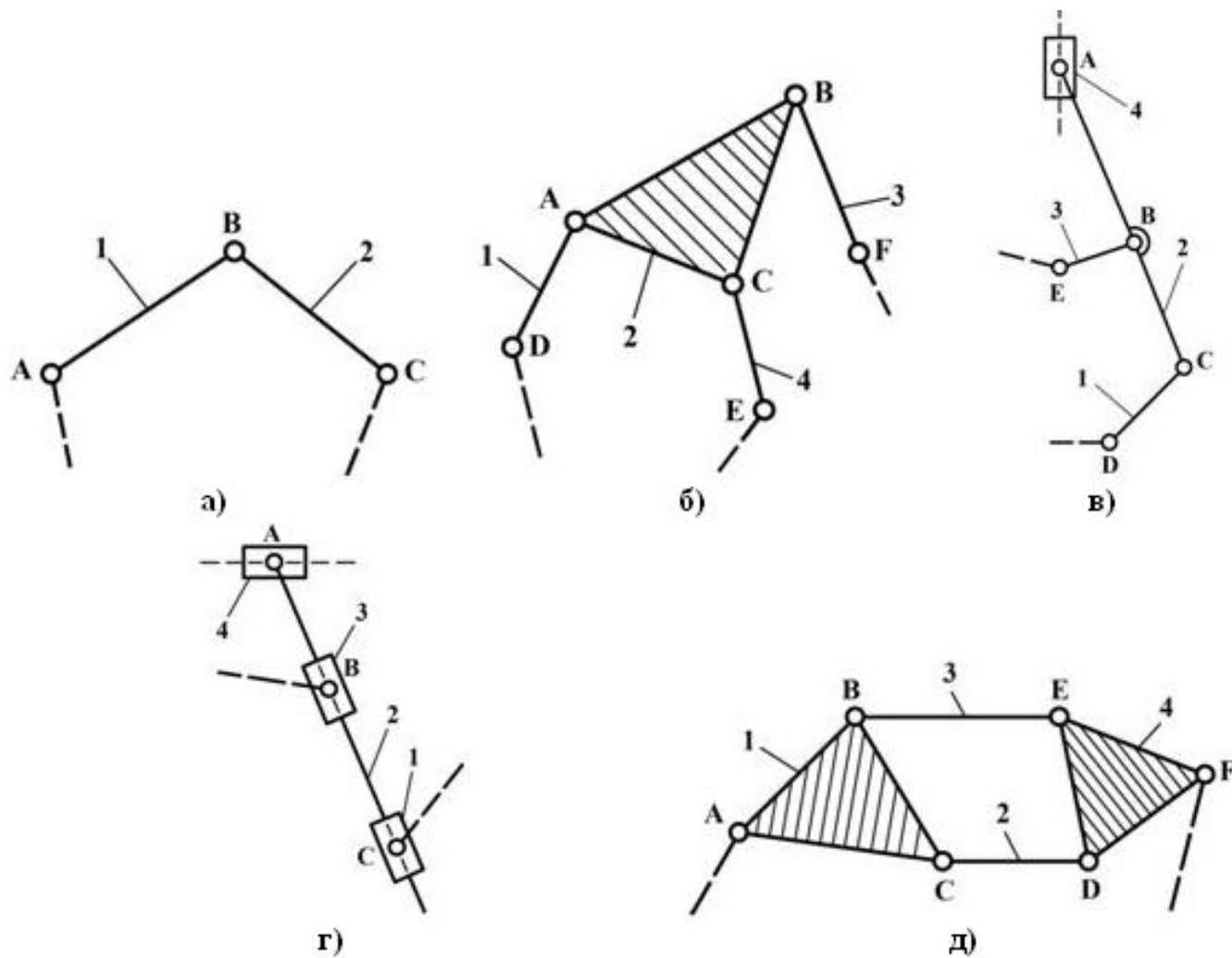
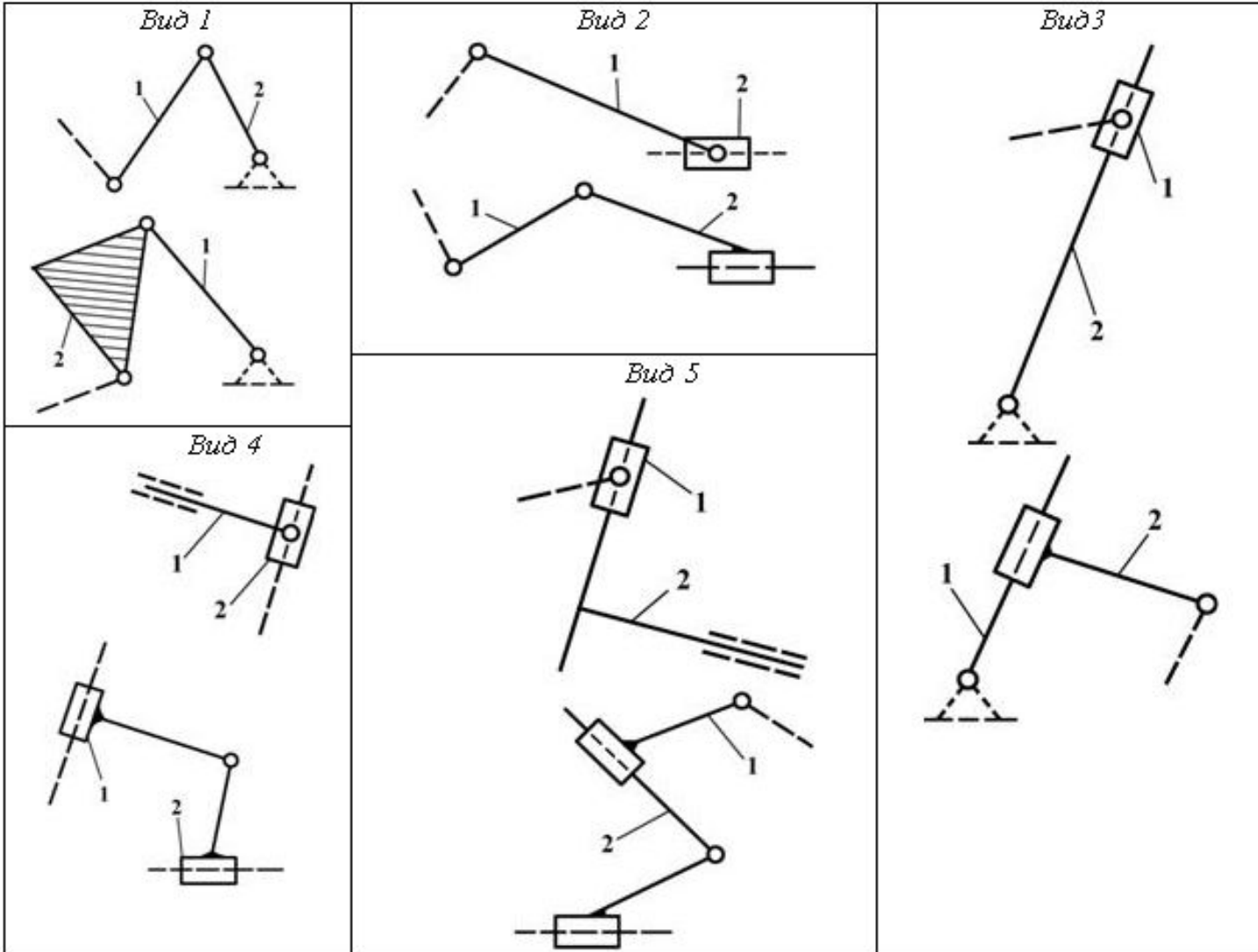


Рис.4. Группы Ассура: а) II-го класса; б) в) г) III-го класса; д) IV-го класса

# Группы Ассура II класса различных видов

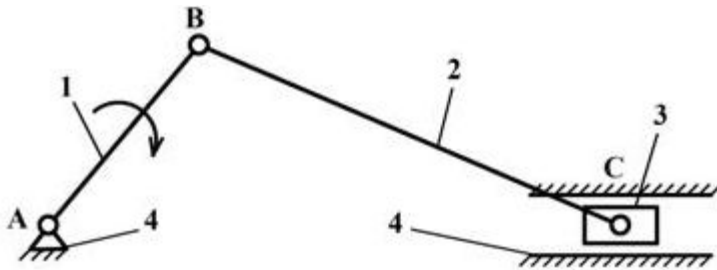


Группы Ассура II класса содержат 2 звена и 3 кинематических пары

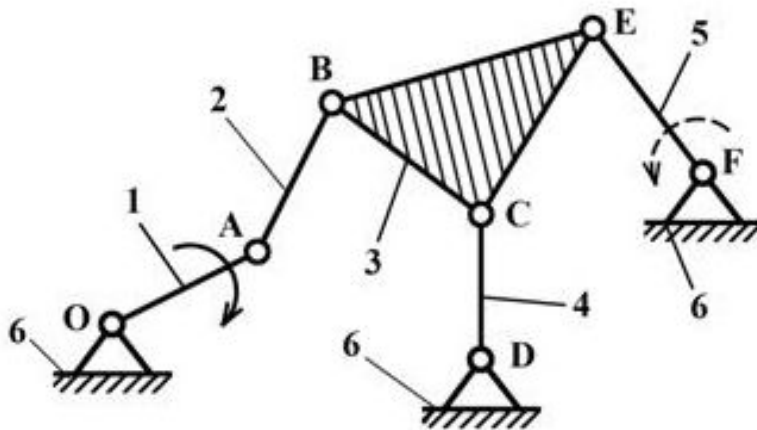




Механизм образован путем присоединения к начальному механизму I-го класса группы Ассур II-го класса, II-го порядка, 2-го вида



Механизм образован путем присоединения к начальному механизму I-го класса группы Ассур II-го класса, II-го порядка, 2-го вида



Если для шестизвенного механизма принять за входное звено 5 (I-го класса), к нему последовательно присоединены две группы Ассур II класса II-го порядка, 1-го вида

# Основные виды механизмов

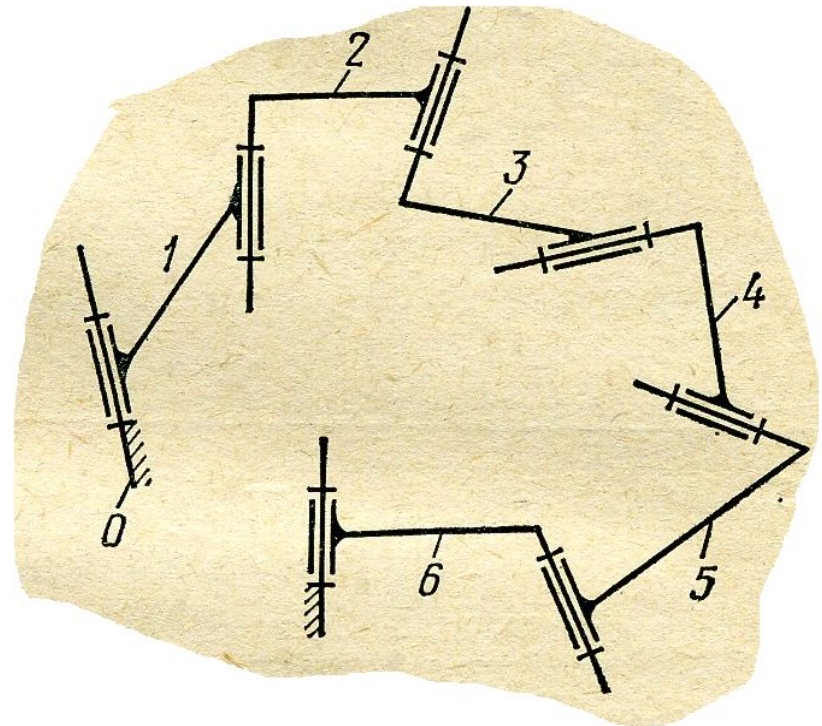
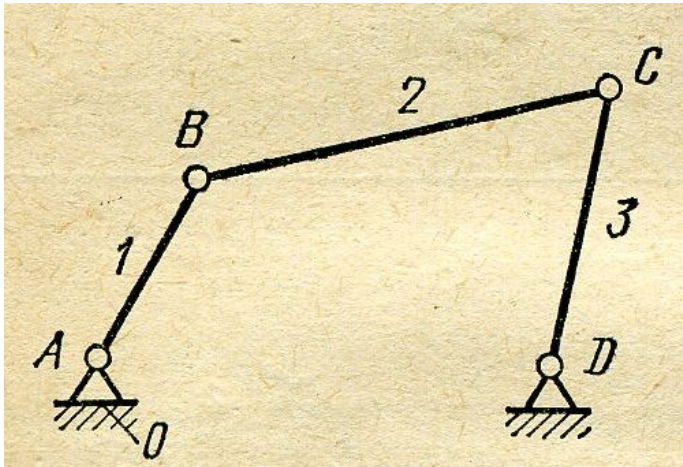


- Исходя из кинематических, конструктивных и функциональных свойств, механизмы подразделяют на:
- Рычажные
- Кулачковые
- Фрикционные
- Зубчатые
- Волновые
- Пневматические
- Гидравлические



# Рычажные механизмы

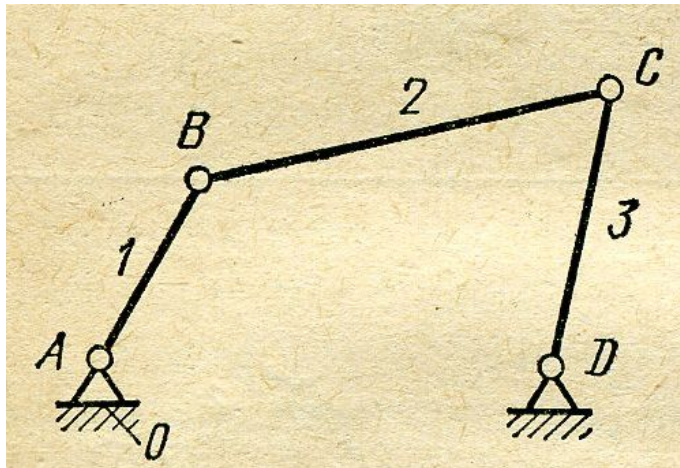
- Рычажными называют механизмы с геометрическим замыканием звеньев во вращательных и поступательных кинематических парах.
- Различают плоские и пространственные рычажные механизмы



# Основной четырехзвенный механизм



Из механизмов с низшими парами наибольшее распространение имеет механизм шарнирного четырехзвенника



## Четыре звена

0 – стойка

1,3 – вращающиеся звенья

2 – звено образует кинематические пары только с подвижными звеньями 1,3 – шатун

Вращающееся звено, совершающее полный оборот вокруг неподвижной оси, называется кривошипом (1), а звено, совершающее качательное движение –

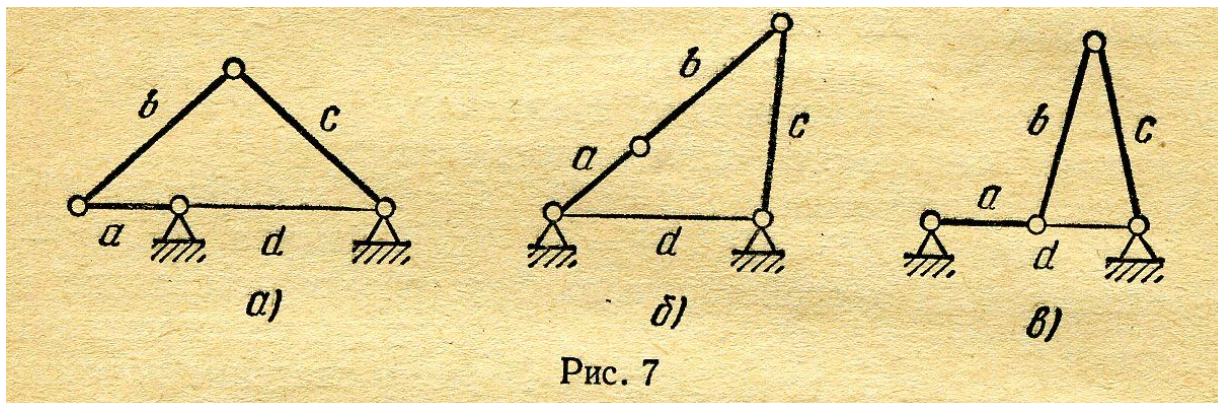
Коромыслом (3)



# Виды шарнирного четырехзвенника



- В зависимости от наличия или отсутствия кривошипа шарнирный четырехзвенник **может быть трех видов**
- кривошипно-коромысловый
- двухкривошипный
- двухкоромысловый
- **Условия существования кривошипа** в шарнирном четырехзвеннике были сформулированы Грасгофом:  
***«Шарнирная четырехзвенная цепь может только тогда образовывать кривошипно-коромысловый механизм, когда сумма длин наибольшего и наименьшего звеньев меньше суммы длин двух других сторон»***
- При закреплении наименьшего звена механизм будет **двухкривошипным**, а при закреплении одного из соседних с ним звеньев – **кривошипно-коромысловым**, во всех иных случаях из цепи получаются **двухкоромысловые** механизмы.



положение а)  $a + d < b + c$  (1)

положение б)  $a + b < c + d$  (2)

положение в)  $c < b + d - a$  или  $a + c < b + d$  (3)

Складывая неравенства (1) и (2), получим

$2a + b + d < 2c + b + d$ , т.е.  $a < c$

Складывая неравенства (1) и (3), получим

$2a + c + d < 2b + c + d$ , т.е.  $a < b$

Складывая неравенства (2) и (3), получим

$2a + b + c < 2d + b + c$ , т.е.  $a < d$

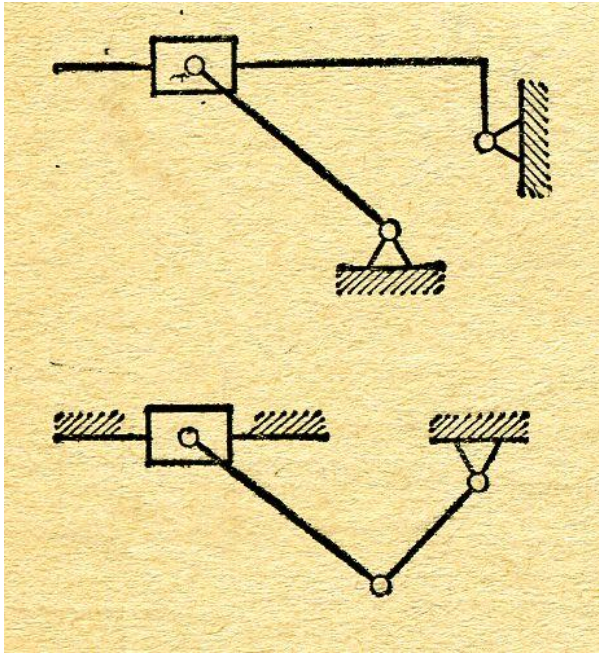
Следовательно, кривошип а есть наименьшее звено.



# Модификации шарнирного четырехзвенника

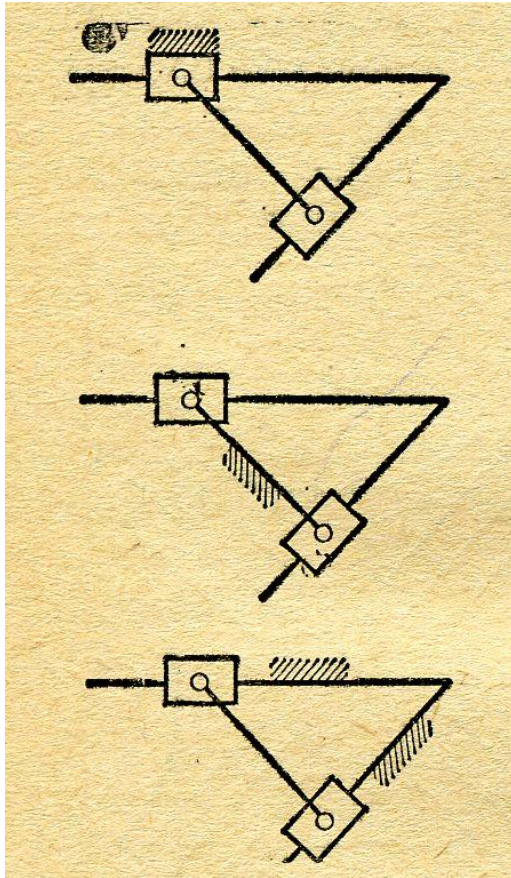


- Заменяя в шарнирном 4х звеннике одну или две вращательные пары на поступательные, получаем следующие механизмы



Кривошипно-ползунный механизм (или коромысло-ползунный)

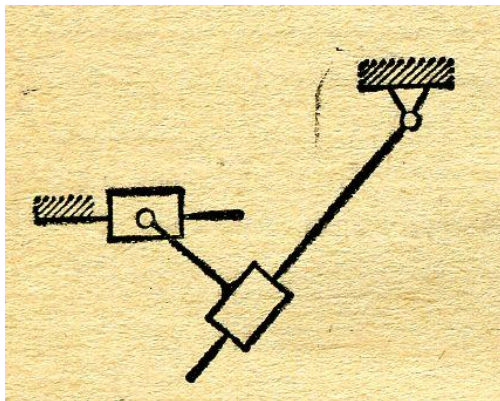
Кулисный механизм



Механизм эллипсографа

Двухкулисный механизм

Синусный механизм



Тангенсный механизм

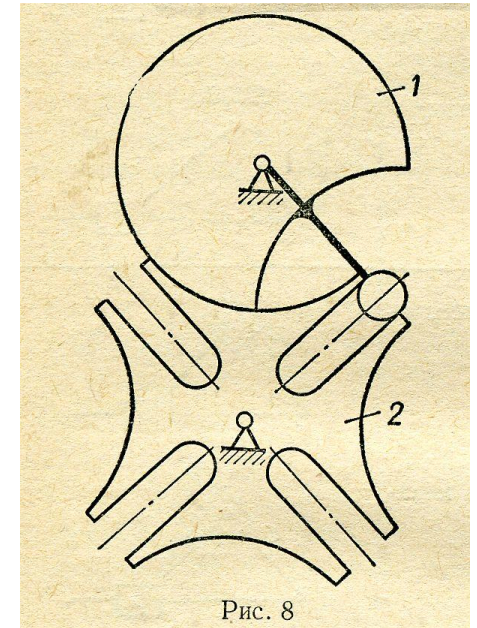


Рис. 8

Мальтийский  
Механизм –  
Одна из  
Разновидностей  
Кулисного  
механизма

# Пространственные механизмы с низшими парами



**Механизм Кардана** - шарнирный [механизм](#), обеспечивающий вращение двух валов, расположенных под переменным углом относительно друг друга. Передача вращения обеспечивается жёстким карданом, в который входят два подвижных звена, или упругим карданом благодаря упругим свойствам специальных элементов.

Последовательное соединение двух карданных механизмов называется **карданной передачей**. Карданные механизмы широко применяются в трансмиссиях автомобилей



*Карданный шарнир:*

*1 – вилка; 2 – опора для цапфы крестовины; 3 – крышка; 4 – крестовина*



# Кулачковые механизмы

## Зубчатые механизмы

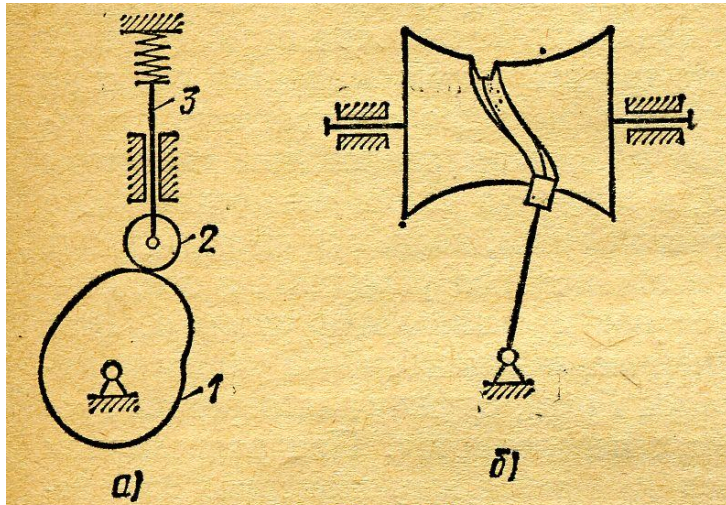


Рис. 10

**Кулачком** называется звено, которому принадлежит элемент высшей пары, выполненный в виде поверхности переменной кривизны. Механизм, в состав которого входит кулачок, называется **кулачковым**.

Плоский кулачковый механизм (рис.10, а)  
Пространственный кулачковый механизм (рис.10, б)

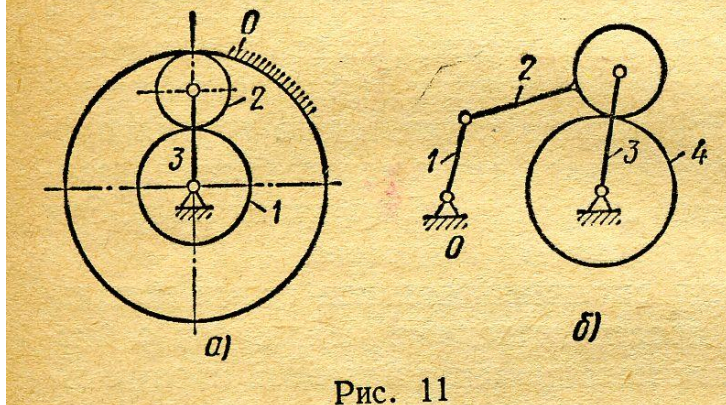


Рис. 11

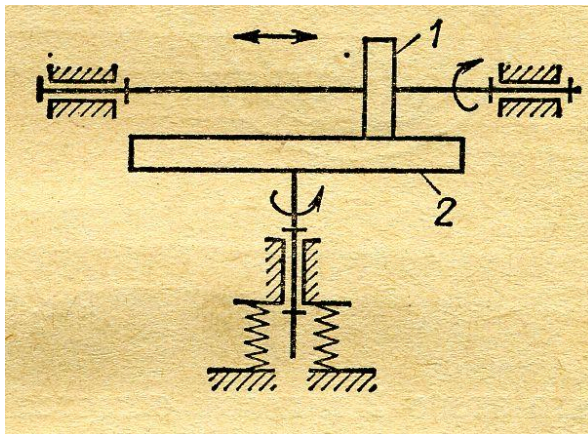
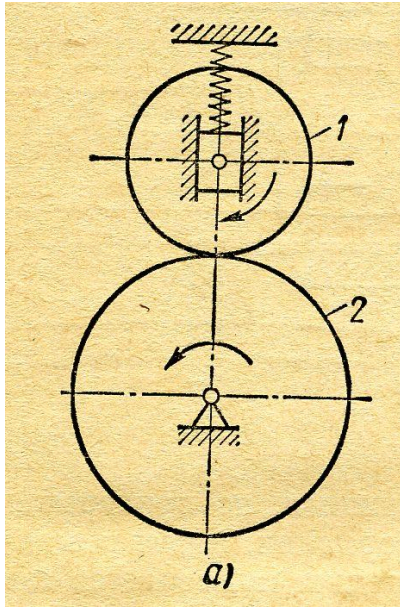
**Зубчатым механизмом** называется механизм, в состав которого входят зубчатые звенья  
**Зубчатое звено** – звено, имеющее выступы для передачи движения посредством взаимодействия с выступами другого звена (тоже зубчатого)  
Вращающееся зубчатое звено – **зубч. колесо**

Планетарный механизм (а) и шарнирно-зубчатый механизм (б)

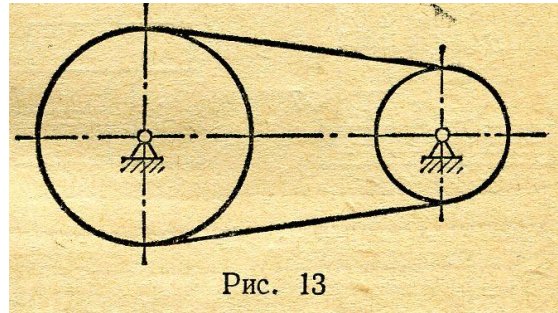
# Фрикционные механизмы



Механизмы, в которых для передачи движения между соприкасающимися звеньями используется трение, называются фрикционными.



# Механизмы с гибкими звеньями



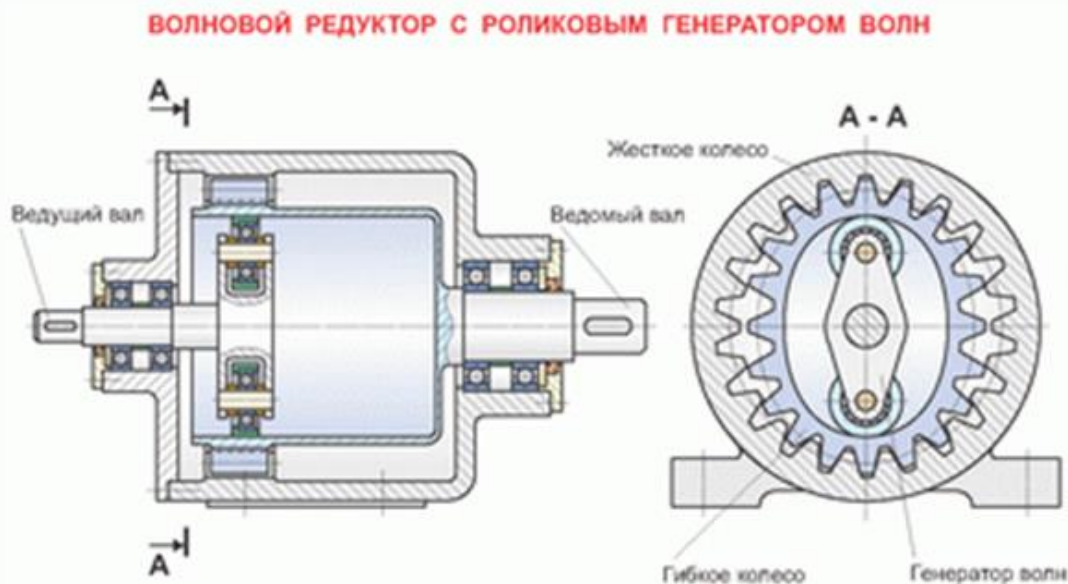
- Под гибкими звеньями понимаются ремни, канаты, цепи, нити, которые охватывают два звена или более и устанавливают определенную связь между перемещениями этих звеньев.
- Ременная, канатная, цепная передача



# Волновая передача



- **Волновой передачей** называется зубчатый или фрикционный механизм, предназначенный для передачи и преобразования движения (обычно вращательного), в котором движение преобразуется за счет волновой деформации венца гибкого колеса специальным звеном (узлом) - генератором волн. Основными элементами дифференциального волнового механизма являются: входной или быстроходный вал с генератором волн, гибкое колесо с муфтой, соединяющей его с первым тихоходным валом, жесткое колесо, соединенное со вторым тихоходным валом, корпус.



# Гидравлические и пневматические механизмы



- Гидравлическим называется механизм, в котором преобразование движения происходит с участием твердых и жидких тел. На рисунке показана схема гидравлического механизма для привода в движение поршня 1 (гидропривод).

Использованы условные  
Обозначения по ГОСТ 2781-68  
и ГОСТ 2782-68

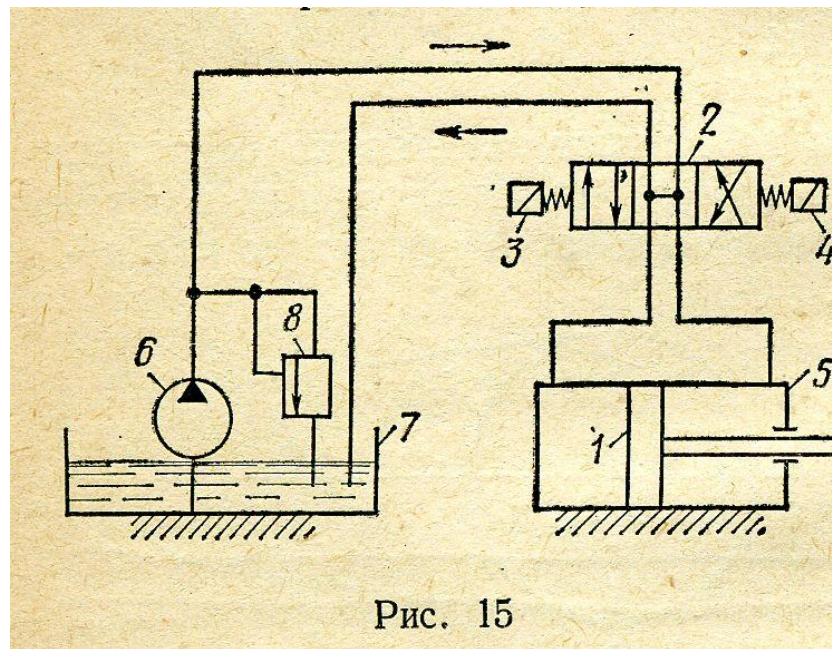


Рис. 15