

ОПД.Ф.02.03 ТЕОРИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ
Методические указания к лабораторной работе

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Цель работы: изучение принципов структурного *построения* и *анализа* механизмов.

Содержание работы. Студент должен рассмотреть *два механизма*, при этом следует определить число *звеньев* и *кинематических пар*, изобразить *структурную схему* механизма и составить *структурную формулу*.

Оборудование: для студентов всех специальностей механизм с низшими кинематическими парами, а для механиков, дополнительно, механизм с высшей кинематической парой.

Инструменты: *линейка, треугольник, циркуль и транспортир*.

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с принципом действия механизма и установить его назначение (Например: преобразовать вращательное движение в поступательное).

2. Определить: какие из звеньев являются кривошипом, шатуном, ползуном, кулисой, коромыслом. Наименование звеньев записать в таблицу основных результатов.

3. Вычертить одно из положений механизма в виде структурной схемы, при котором достаточно наглядно видны все звенья (не будет наложения одного звена на другое). Указать *стрелкой* направление вращения входного звена – кривошипа.

4. Пронумеровать звенья *арабскими* цифрами в порядке их присоединения к кривошипу (1,2,3 и т.д.).

5. Обозначить кинематические пары заглавными *латинскими* буквами в последовательности присоединения звеньев.

6. Определить:

а) число подвижных звеньев (*n*);

б) тип кинематических пар (*B* - вращательная, *П* - поступательная);

в) количество *одноподвижных* (*p₁*) и *двухподвижных* (*p₂*) кинематических пар;

г) степень подвижности *W* механизма;

д) наличие пассивных связей и лишних степеней свободы; результаты занести в таблицу.

7. Расчленить механизм на структурные группы Ассура и начальный механизм.

8. Вычертить структурные группы Ассура и начальный механизм с правильным обозначением кинематических пар и звеньев механизма, начиная с наиболее удаленной группы.

9. Определить для каждой группы Ассура: класс, вид, степень подвижности и составить структурную формулу механизма.

10. Определить степень подвижности начального механизма и составить структурную формулу.
11. Составить структурную формулу для механизма в целом.
12. Определить класс всего механизма.
13. Показать на схеме расстояния в мм между неподвижными элементами кинематических пар (базовыми точками на стойке), приняв за начало системы координат центр вращения кривошипа. Определить все размеры между центрами шарниров и результаты записать в таблицу.
14. Подписать и защитить отчет по лабораторной работе.

3. ПОЯСНЕНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

3.1 **Механизмом** называется искусственно созданная система, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемые движения других тел (звеньев). Определенность движения звеньев в механизме обеспечивается тем, что они, соединяясь между собой кинематическими парами, образуют кинематические цепи.

3.2 **Звеном** называется деталь или несколько неподвижно соединенных друг с другом деталей, которые движутся как одно целое. В *Приложении 1* показаны условные изображения различных звеньев механизма и их названия.

3.3 **Кинематической парой** называют соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение. При этом число возможных независимых движений ***N*** одного звена относительно другого называют **числом подвижностей** кинематической пары, а ограничения, наложенные на относительное движение звеньев в кинематической паре – **условиями связи**. Условные изображения наиболее распространенных кинематических пар даны в *Табл. 1*.

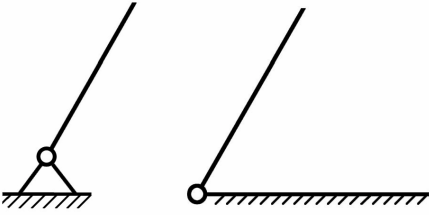
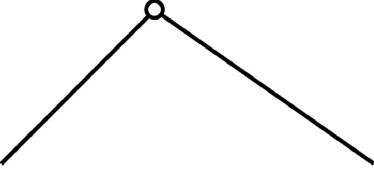
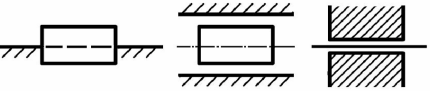
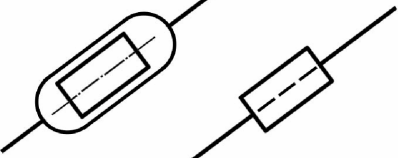
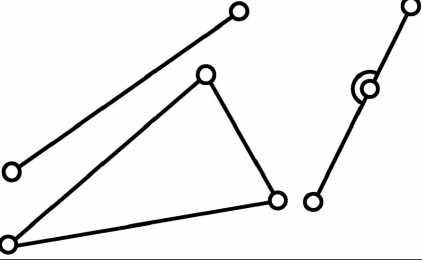
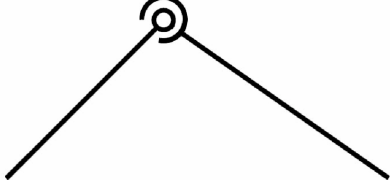
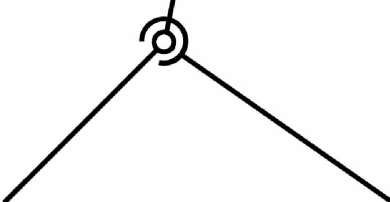
3.4 Кинематические пары **классифицируются** по следующим признакам:

а) по числу степеней свободы ***N*** звена кинематической пары в относительном движении выделяют ***одноподвижные*¹, *двухподвижные*, *трехподвижные*, *четырёхподвижные* и *пятиподвижные***. Подвижность кинематической пары определяется зависимостью $N = 6 - S$, где **6** – максимальное число возможных движений твердого тела в пространстве: трех поступательных по осям и трех вращательных вокруг осей координат *XYZ*; **S** – число условий связи, наложенных кинематической парой на относительное движение каждого звена.

б) по характеру соприкосновения звеньев кинематические пары различаются на ***низшие* и *высшие***.

¹ По старой классификации это кинематические пары ***пятого*** класса

Таблица 1

№ п/п	Условное изображение кинематических пар	Возможные виды относительного движения	Название кинематической пары
1		<i>В</i>	Вращательная пара с одним неподвижным звеном
2		<i>В</i>	Вращательная пара с двумя подвижными звеньями
3		<i>П</i>	Поступательная пара с одним неподвижным звеном
4		<i>П</i>	Поступательная пара с двумя подвижными звеньями
5		<i>В</i>	Звено в различных вариантах, входящее одновременно в состав двух или трех одноподвижных вращательных пар
6		<i>ВВВ</i>	Трехподвижная пара – сферический шарнир
7		<i>ВВ</i>	Двухподвижная пара – сферический шарнир с пальцем

Пояснения: ***В*** – вращательное относительное движение;
П – поступательное относительное движение.

в) по характеру относительного движения звеньев одноподвижные кинематические пары подразделяются на *вращательные – В*, *поступательные – П* и *винтовые*.

Низшими парами называются такие пары, в которых соприкосновение элементов происходит по поверхности. Например, одноподвижные поступательная и вращательная пары, а также двухподвижная цилиндрическая и трехподвижная сферическая.

Высшими называются такие кинематические пары, у которых соприкосновение элементов пары происходит по линии или в точке. Например, кулачок и ролик толкателя кулачкового механизма (*Рис.1-а*) и зубья зубчатых колес (*Рис.1-б*).

В *Приложении 2* представлены примеры различных кинематических пар. Возможные независимые движения показаны стрелками и буквенными сочетаниями.

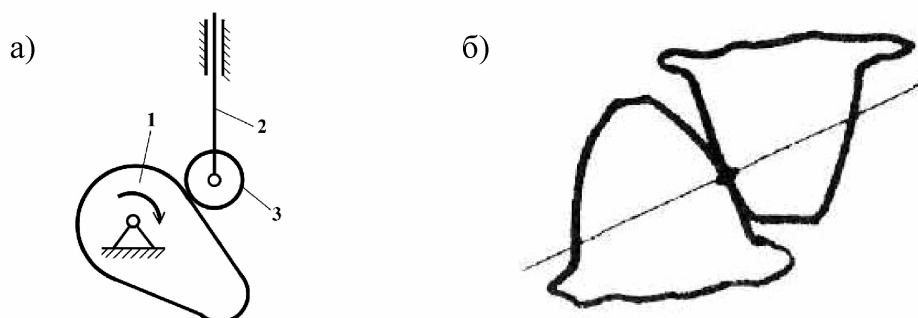


Рис.1 Высшие плоские двухподвижные кинематические пары.

3.5 Кинематической цепью называют систему звеньев, соединенных между собой кинематическими парами. Кинематические цепи бывают *замкнутыми (Рис.2)* и *открытыми (Рис.3)*, *простыми* и *сложными*, а по виду траекторий движения точек звеньев разделяются на *плоские* и *пространственные*. Наибольшее распространение на практике имеют плоские кинематические цепи.

Плоской называется кинематическая цепь, если точки ее звеньев описывают траектории, лежащие в параллельных плоскостях, то есть их

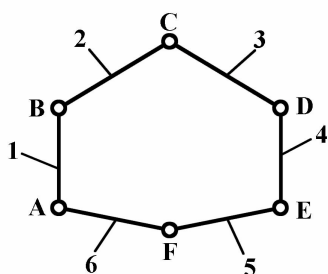


Рис.2 Простая плоская кинематическая цепь

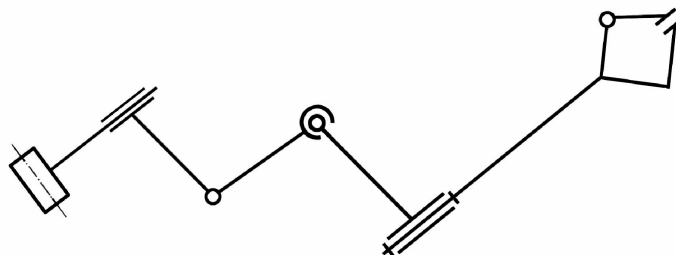


Рис.3 Простая пространственная кинематическая цепь манипулятора

траекториями являются плоские кривые. Естественно если точки звеньев описывают пространственные кривые, то такие кинематические цепи (как и кинематические пары) называются *пространственными*.

Сложной называется кинематическая цепь, в которой имеется хотя бы одно звено, входящее более чем в две кинематические пары. Пример такой цепи дан на *Рис.4-д* и *Рис.9*.

3.6 **Степенью подвижности** кинематической цепи W называют число степеней свободы кинематической цепи относительно стойки – звена, принятого за неподвижное. Для плоских механизмов применяется формула Чебышева

$$W = 3n - 2p_1 - p_2, \quad (1)$$

где n - число подвижных звеньев кинематической цепи;

p_1 – число одноподвижных кинематических пар;

p_2 – число двухподвижных кинематических пар.

В пространственных кинематических цепях степень подвижности определяется по формуле Малышева

$$W = 6n - 5p_1 - 4p_2 - 3p_3 - 2p_4 - p_5. \quad (2)$$

Здесь p_3 – число трехподвижных кинематических пар;

p_4 – число четырехподвижных кинематических пар;

p_5 – число пятиподвижных кинематических пар.

Плоские кинематические цепи с нулевой степенью подвижности называются группами Ассура. Это такие группы звеньев, которые при соединении свободными кинематическими парами со стойкой превращаются в ферму. Группы Ассура имеют только одноподвижные кинематические пары, $p_2=0$. Тогда степень подвижности выразится

$$W = 3n - 2p_1 = 0,$$

откуда $p_1 = 3/2 n$.

Возможное число звеньев и кинематических пар в группах Ассура приведено в *Табл.2*.

Таблица 2

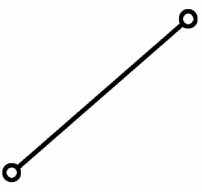
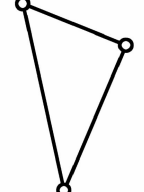
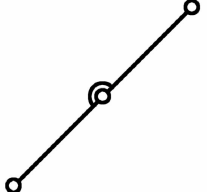
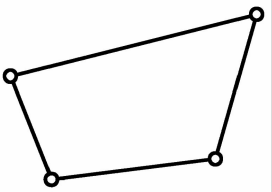
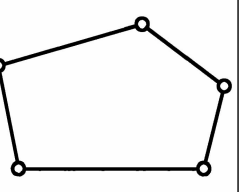
Число звеньев n	2	4	6	8	и т.д.
Число кинематических пар	3	6	9	12	и т.д.
Класс старшего контура	II	III, IV	IV, V	V, VI	и т.д.

3.7 **Группы Ассура** делятся по классификации И.И. Артоболевского на классы, порядки и виды. Класс группы задается наивысшим замкнутым

контуром, входящим в ее состав. Класс же контура определяется числом **внутренних кинематических пар**, образующих этот замкнутый контур. Можно сказать, что:

- а) в группу Ассура II-го класса входит прямолинейный контур (*Табл.3*);
- б) в группу Ассура III-го класса – трехсторонний контур **ABC** (*Рис.4-б*);
- в) в группу Ассура IV-го класса – четырехсторонний подвижный контур **BCDE**.

Таблица 3

Классы контуров				
II	III	III	IV	V
				

Модификации групп Ассура II, III, IV классов представлены на Рис.4

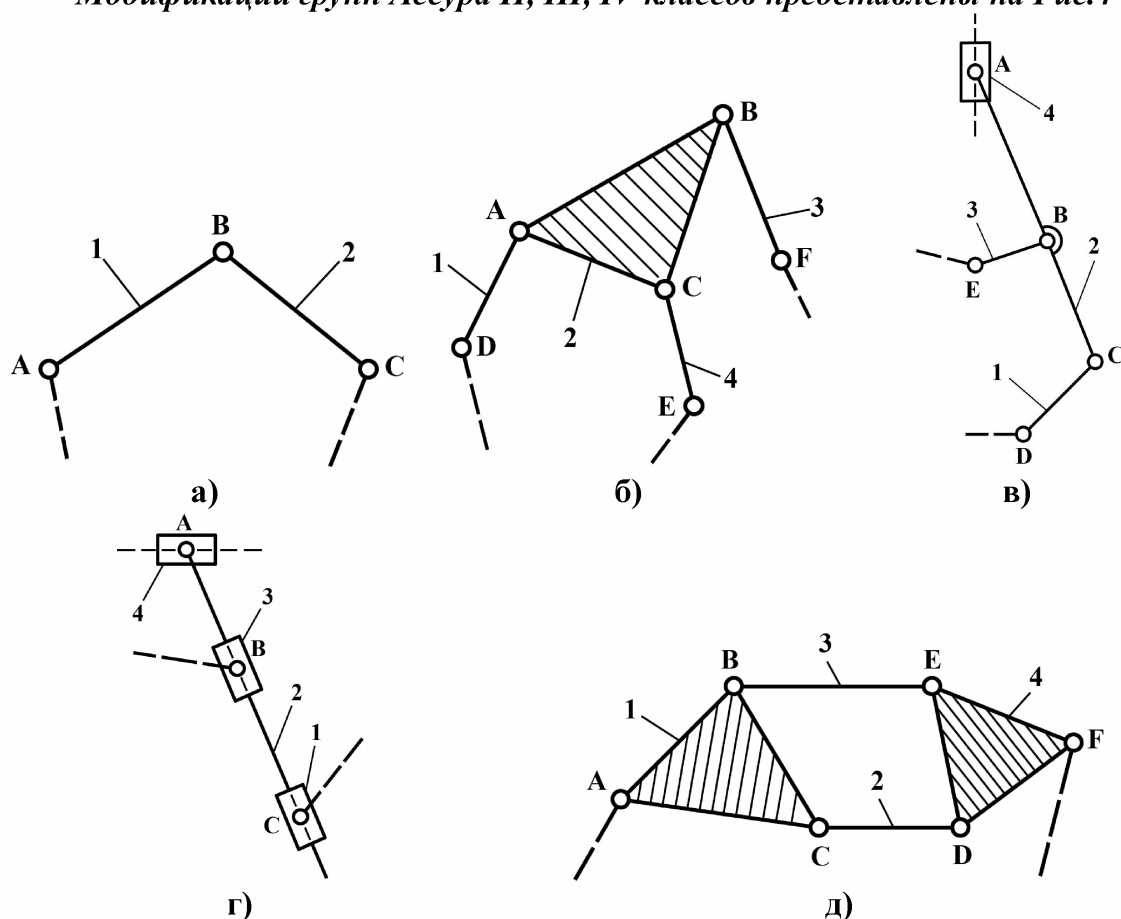


Рис.4 Группы Ассура: а) II-го класса; б) в) г) III-го класса; д) IV-го класса

Группы Ассура II класса содержат два звена и три кинематических пары. **Разновидности** групп Ассура II класса изображены на **Рис.5**:

вид 1 – все кинематические пары вращательные;

вид 2 – одна крайняя кинематическая пара – поступательная, а все остальные – вращательные;

вид 3 – звенья соединены между собой поступательной кинематической парой, а крайние пары являются вращательными;

вид 4 – звенья соединены вращательной парой, а обе крайние кинематические пары – поступательные;

вид 5 – одна крайняя кинематическая пара – вращательная; все остальные – поступательные.

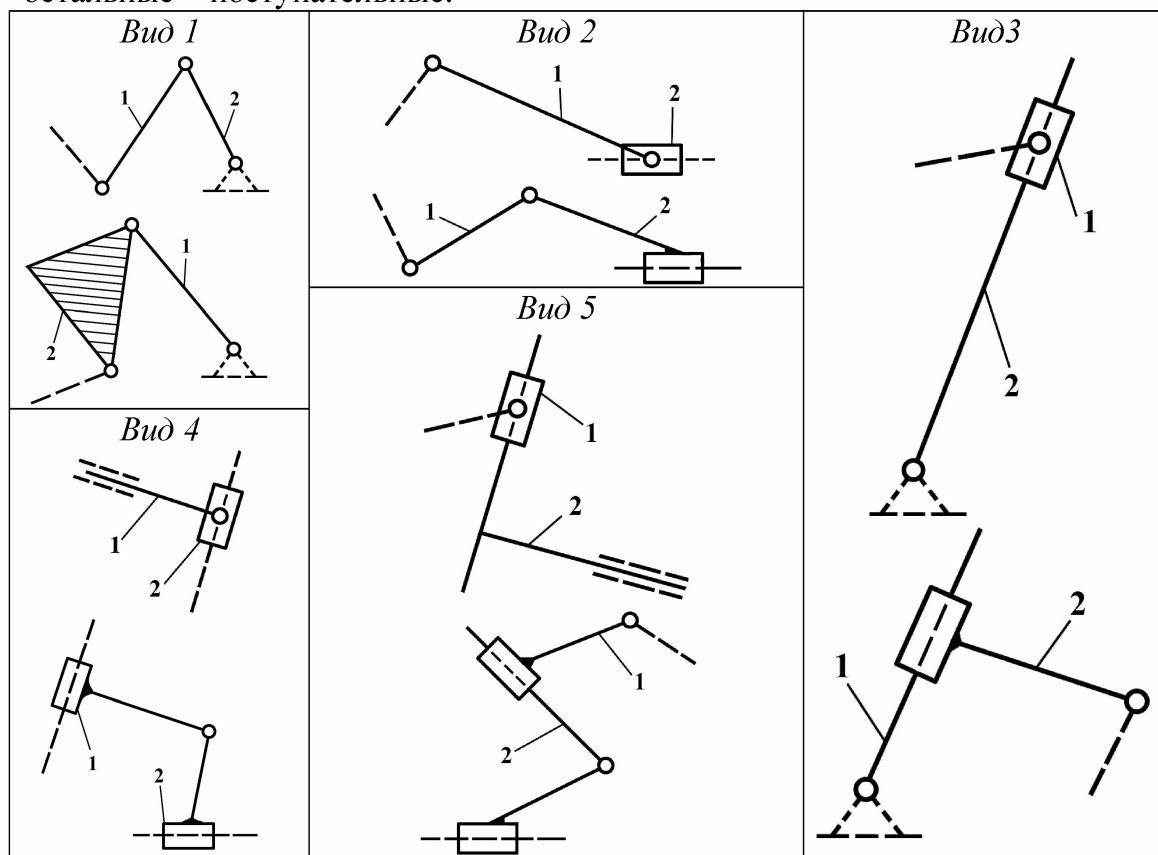


Рис. 5 Группы Ассура II-го класса различных видов.

Порядок группы Ассура определяется количеством кинематических пар, которыми она присоединяется к другим звеньям, т.е. числом ее внешних (свободных) пар.

В группе Ассура на **Рис.4-б** звено 2, называемое **базисным**, входит в три внутренние кинематические пары со звеньями 1,3 и 4. Звенья 1,3,4 называются поводками и своими внешними кинематическими парами присоединяются к другим звеньям механизма. Эта группа называется **трехповодковой**, или группой Ассура III класса III порядка.

Лишние степени свободы и пассивные связи

При определении степени подвижности механизма необходимо учитывать наличие *лишних степеней свободы* и *пассивных связей*, которые не влияют на характер движения механизма в целом.

Звенья, вносящие пассивные связи, уменьшают степень подвижности механизма, поэтому при определении степени подвижности эти звенья не учитываются.

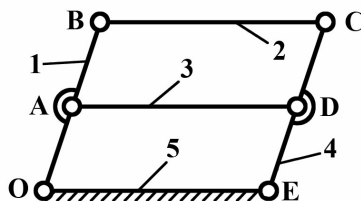


Рис. 6

На *Рис. 6* изображен четырехзвенный механизм, у которого звено 3 вносит пассивные связи. Степень подвижности механизма с учетом пассивных связей составляет

$$W = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 6 = 0 \quad \text{ï ðå} \quad n = 4; p_1 = 6.$$

Очевидно, что звено 3 введено конструктивно для увеличения жесткости звеньев 1 и 4. Поэтому без учета пассивной связи имеем:

$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1 \quad \text{ï ðå} \quad n = 3; p_1 = 4.$$

Следовательно, данный механизм имеет степень подвижности $W=1$. В кулачковом механизме с роликовым толкателем (*Рис. 1-а*) степень подвижности получается

$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 1 = 2 \quad \text{ï ðå} \quad n = 3; p_1 = 3; p_2 = 1$$

Здесь наблюдается лишняя степень свободы, представляющая собой дополнительную подвижность ролика относительно толкателя. Она не сказывается на степени подвижности кулачкового механизма и $W=1$.

Принцип образования механизмов

При изучении механизмов их представляют на чертеже в виде структурной или кинематической схем.

Структурной схемой механизма называется графическое изображение механизма с применением условных обозначений звеньев и кинематических пар. **Кинематическая схема** изображается в масштабе с указанием размеров, необходимых для кинематического расчета механизма. Звенья нумеруются *арабскими цифрами* в порядке их присоединения к *входному звену*. Кинематические пары обозначаются *заглавными латинскими буквами* в последовательности присоединения звеньев.

Входным звеном механизма называется такое звено, закон движения которого задан. Во всяком плоском механизме имеется одно или несколько входных звеньев в виде кривошипа или ползуна (*Рис. 7-а, б*). Количество входных звеньев определяется степенью подвижности механизма.



Рис. 7

Группа звеньев, состоящая из входного звена и стойки, называется **начальным механизмом** или **механизмом I-го класса**. Начальный механизм обладает одной степенью подвижности и дальнейшее наложение кинематических цепей не должно изменять степени подвижности всего механизма.

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.

Рассмотреть **строение механизма** — это значит установить, из каких структурных групп состоит данный механизм, и в какой последовательности они присоединены друг к другу. Для выявления класса механизма необходимо расчленить его на группы Ассура, начиная отсоединение с наиболее удаленных от входного звена. При этом степень подвижности оставшейся части механизма не должна изменяться. Класс всего механизма определяется по **наивысшему** классу группы Ассура, входящей в механизм.

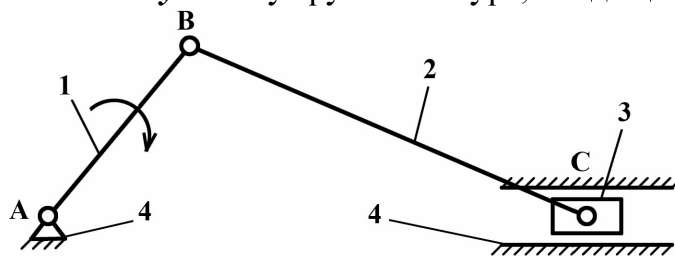


Рис. 8

Строение механизма можно записать в виде **структурной формулы**, которая указывает состав и последовательность присоединения групп Ассура. Например, для механизма на *Рис. 8*, образованного путем присоединения к начальному механизму I-го класса группы Ассура II-го класса, II-го порядка, 2-го вида, структурная формула имеет вид:

$$\rightarrow I \left[\frac{1;4}{\hat{A}_A(1,4)} \right] \rightarrow II \left[\frac{2;3}{\hat{A}_B(2,1); B_C(3,2); \ddot{I}_{\hat{N}}(3,4)} \right],$$

где в числителе перечислены звенья, а в знаменателе указаны кинематические пары, входящие в группы звеньев:

I – начальный механизм *первого* класса;

II – группа Ассура *второго* класса.

Здесь $B_A(1,4)$, $B_B(2,1)$, $B_C(3,2)$ – индекс вращательных кинематических пар в точках, обозначенных на схеме, с указанием соединяемых звеньев;

$P_C(3,4)$ – индекс поступательной кинематической пары, позволяющей поступательное относительное движение звеньев.

Данный механизм *II* класса, так как самый высокий класс группы Ассура – второй.

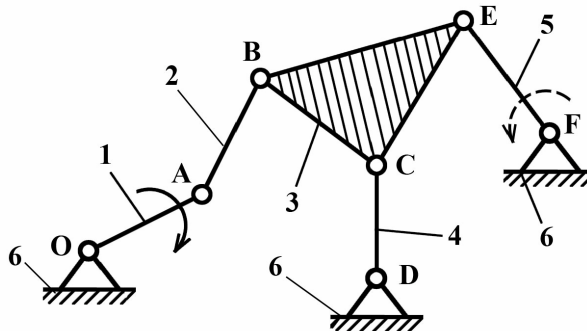


Рис.9

Класс и порядок механизма в некоторых случаях *может меняться* в зависимости от того, какое звено принято в качестве входного. Если для шестизвенного механизма (Рис.9) принять за входное звено 5 (возможно и 4), то весь механизм будет *II* класса, так как структурная формула имеет вид

$$\rightarrow I \left[\frac{5;6}{\hat{A}_F(5,6)} \right] \rightarrow II \left[\frac{3;4}{B_B(5,3)B_C(4,3)B_D(6,4)} \right] \rightarrow II \left[\frac{2;1}{B_B(3,2)B_A(1,2)B_O(6,1)} \right],$$

а если принять за входное звено I, то невозможно выделить группу звеньев II класса и механизм разбивается на начальный механизм I класса и группу Ассура III класса. Структурная формула выглядит так

$$\rightarrow I \left[\frac{6;1}{\hat{A}_O(6,1)} \right] \rightarrow III \left[\frac{2;3;4;5}{B_A; B_B; B_C; B_D; B_E; B_F} \right].$$

Рассмотренное строение плоских механизмов может быть распространено на механизмы, в составе которых имеются и высшие кинематические пары. Для этого каждая пара заменяется кинематической цепью, в состав которой входят только одноподвижные кинематические пары (шарниры и ползуны).

Замена высших кинематических пар

Чтобы заменяющий механизм был кинематически эквивалентным заменяемому, необходимо при замене придерживаться определенных правил, которые заключаются в следующем: если высшая пара представляет касание профилей *1* и *2* (Рис.10), то в точке контакта *B* надо провести нормаль *n-n* к профилям. На этой линии найти центры кривизны профилей и установить в них шарниры *D* и *E*, соединив их жестким фиктивным звеном *3*. Соединяя шарниры *D* и *E* с центрами *A* и *C* получим заменяющий механизм – шарнирный четырехзвенник *ADEC*.

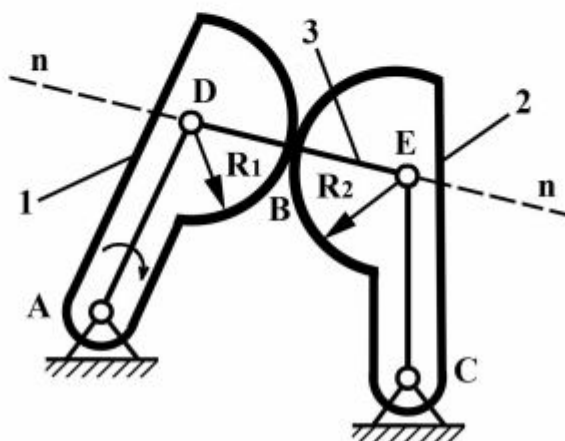


Рис.10

В случае, если один из профилей высшей пары будет прямой линией, центр кривизны его будет удален в бесконечность и фиктивное звено будет входить в одну вращательную и одну поступательную пару. Такая замена показана на Рис.11.

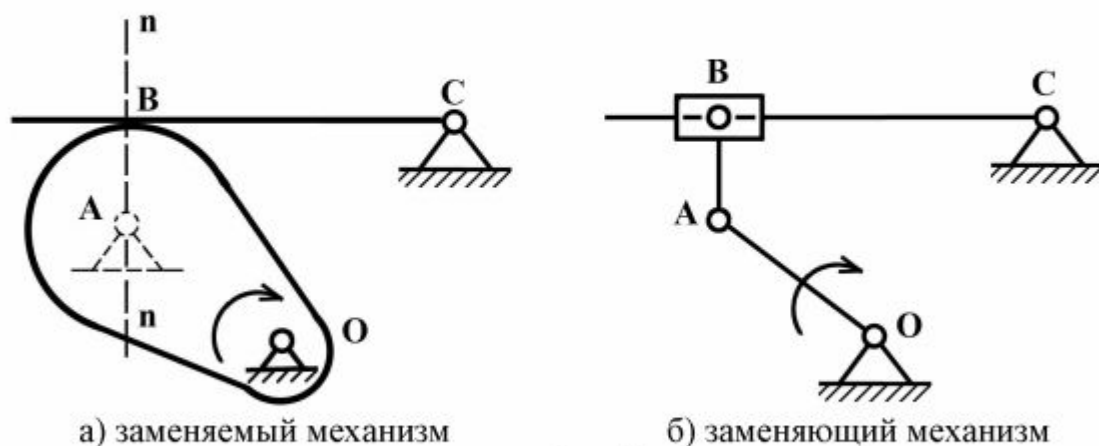


Рис.11

Заменяющие механизмы строятся для структурного и кинематического исследования.

4. ВОПРОСЫ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Что такое механизм, звено, кинематическая пара, кинематическая цепь, кинематическая схема, структурная схема?
2. Как подразделяются кинематические пары?
3. Что такое низшая и высшая кинематические пары?
4. Что такое степень подвижности механизма и как ее определить?
5. Как влияют пассивные связи на степень подвижности механизма?
6. Какие звенья образуют механизм I-го класса?
7. Как может быть образован механизм?
8. Что такое группа Ассура?
9. Как определить класс группы Ассура, ее порядок и вид?
10. Какие группы Ассура находят наибольшее распространение?
11. Как определить класс всего механизма?
12. В какой последовательности механизм разбивается на группы Ассура?
13. Как составляется структурная формула механизма?

Основные понятия ТММ и термины по ГОСТ приведены в *Приложении 3.*

5. ПРИМЕР ОТЧЕТА

Лабораторная работа №2.

Студент: Сидоров А.В.

Структурный анализ механизма.

Группа: ПДМ-03-2

Цель: Изучение принципов строения и структурного анализа механизмов.

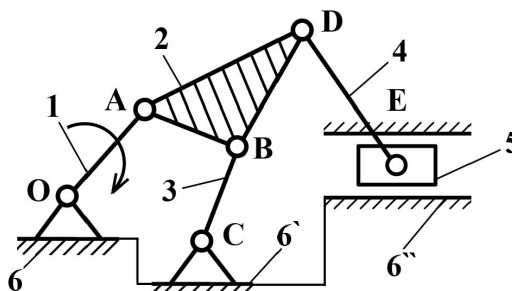
Оборудование: I. Модель механизма с низшими кинематическими парами.

II. Модель механизма с высшей кинематической парой.

Инструменты: Линейка, треугольник, циркуль, транспортир.

I. АНАЛИЗ РЫЧАЖНОГО ШЕСТИЗВЕННИКА

1) Структурная схема.



Назначение механизма: преобразовать вращательное движение кривошипа в поступательное движение ползуна с усложненным законом движения.

2) Звенья механизма.

Номер звена	Наименование	Подвижность звеньев	Число подвижных звеньев
1	Кривошип	подвижное	$n=5$
2	Шатун	— « » —	
3	Коромысло	— « » —	
4	Шатун	— « » —	
5	Ползун	подвижное	
6	Стойка	неподвижное	

3) Кинематические пары

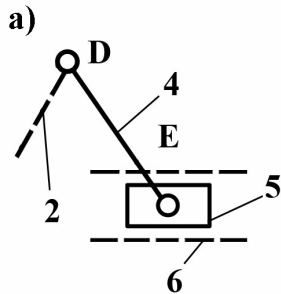
Обозначение	Соединяемые элемент	Тип пары			Индекс пары	Число пар	
		Вид движен	Характ соедин	Подвижность		одноподвиж	двухподвижных
О	1,6	вращат.	Низшая	Одноподвижн	$B(1,6)$	$p_1=7$	$p_2=0$
A	2,1	— « » —	— « » —	— « » —	$B(2,1)$		
B	3,2	— « » —	— « » —	— « » —	$B(3,2)$		
C	3,6	— « » —	— « » —	— « » —	$B(3,6)$		
D	4,2	— « » —	— « » —	— « » —	$B(4,2)$		
E	5,4	вращат.	— « » —	— « » —	$B(5,4)$		
E	5,6	поступ.	Низшая	Одноподвижн	$\Pi(5,6)$		

4) Определение степени подвижности механизма

$$W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1.$$

Лишних степеней свободы и пассивных связей нет.

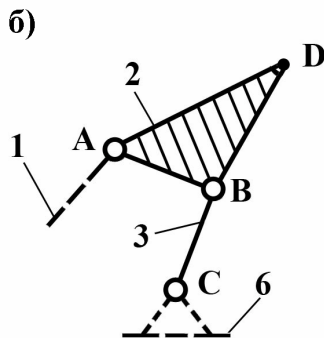
5) Строение групп Ассура.



Последняя группа Ассура
II класса, II порядка, 2-го вида
 $W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$

Структурная формула:

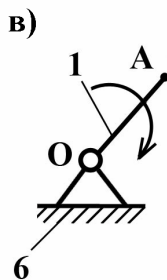
$$\rightarrow \text{II} \left[\frac{4;5}{\hat{A}_D(4,2); \hat{A}_E(5,4); \ddot{I}_A(5,6)} \right]$$



Предпоследняя группа Ассура
II класса, II порядка, 1-го вида
 $W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$

Структурная формула:

$$\rightarrow \text{II} \left[\frac{2;3}{\hat{A}_A(1,2); \hat{A}_B(2,3); B_C(3,6)} \right]$$



Начальный механизм I класса
 $W = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1$

Структурная формула:

$$\rightarrow \text{I} \left[\frac{1;6}{\hat{A}_O(1,6)} \right]$$

6) Структурная формула всего механизма:

$$\rightarrow \text{I} \left[\frac{1;6}{\hat{A}_O(1,6)} \right] \rightarrow \text{II} \left[\frac{2;3}{\hat{A}_A(1,2); \hat{A}_B(2,3); B_C(3,6)} \right] \rightarrow \text{II} \left[\frac{4;5}{\hat{A}_D(4,2); \hat{A}_E(5,4); \ddot{I}_A(5,6)} \right]$$

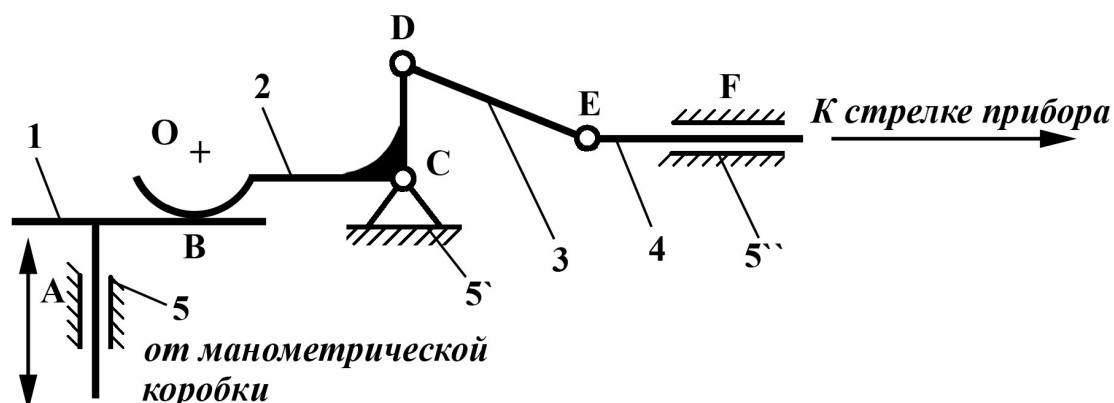
Данный механизм II класса, так как самый высокий класс группы Ассура – второй.

Работу выполнил _____ 5.10.06г.

Отчет принял _____

II. МЕХАНИЗМ С ВЫСШЕЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПАРОЙ.

1) На схеме приведен механизм приемника давления электрического дистанционного манометра.



2) Звенья механизма.

Номер звена	Наименование	Подвижность звеньев	Число подвижных звеньев
1	Ползун	подвижное	$n=4$
2	Коромысло	– « » –	
3	Шатун	– « » –	
4	Шток	подвижное	
5	Стойка	неподвижное	

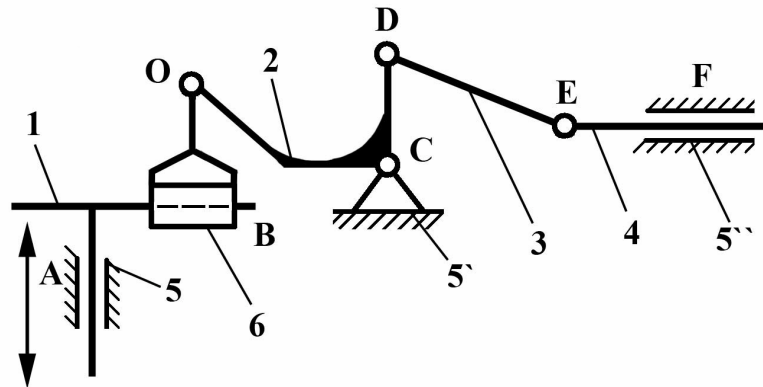
3) Кинематические пары

Обозначение	Соединяемые элемент	Тип пары			Индекс пары	Число пар	
		Вид движен	Характ соедин	Подвижность		одноподвиж	двухподвижных
A	1,5	поступ.	Низшая	Одноподвижн	$П(1,5)$	$p_1=5$	$p_2=1$
B	1,2	вращат.	Высшая	Двухподвижн	$В(1,2)$		
C	5,2	вращат.	Низшая	Одноподвижн	$В(5,2)$		
D	2,3	вращат.	Низшая	Одноподвижн	$В(2,3)$		
E	3,4	вращат.	Низшая	Одноподвижн	$В(3,4)$		
F	4,5	поступ.	Низшая	Одноподвижн	$П(4,5)$		

4) Степень подвижности механизма.

$$W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 5 - 1 = 1.$$

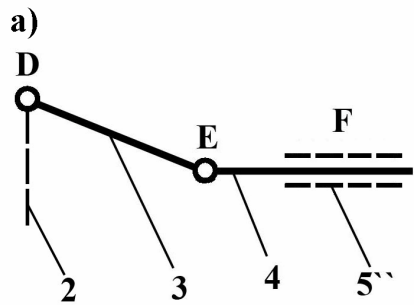
5) Строим заменяющий механизм.



Здесь двухподвижная кинематическая пара в точке *B* заменена двумя одноподвижными в точках *B* и *O* путем введения **жесткого фиктивного звена 6**. Для заменяющего механизма имеем $n=5$, $p_1=7$, $p_2=0$ и получаем:

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

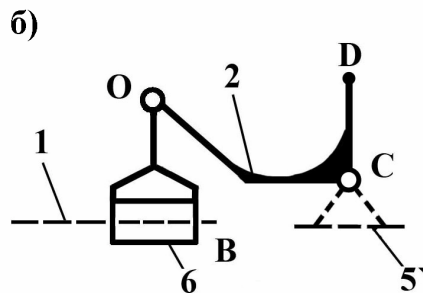
6) Группы Ассура.



Последняя группа Ассура
II класса, II порядка, 2 вида
 $n=2$, $p_I=3$ и $W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$.

Структурная формула:

$$\rightarrow \text{II} \left[\frac{3; 4}{\hat{A}_D(2, 3); \hat{A}_E(3, 4); \ddot{I}_F(4, 5)} \right]$$

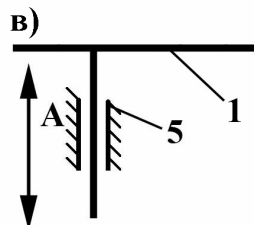


Предпоследняя группа Ассура
II класса, II порядка, 2 вида
 $n=2$, $p_I=3$ и $W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$.

Структурная формула:

$$\rightarrow \text{II} \left[\frac{2; 6}{\hat{A}_C(2, 5); \hat{A}_O(2, 6); \ddot{I}_B(6, 1)} \right]$$

Начальный механизм I-го класса



Структурная формула:

$$\rightarrow \text{I} \left[\frac{1; 5}{\ddot{I}_A(1, 5)} \right]$$

7) Структурная формула всего механизма:

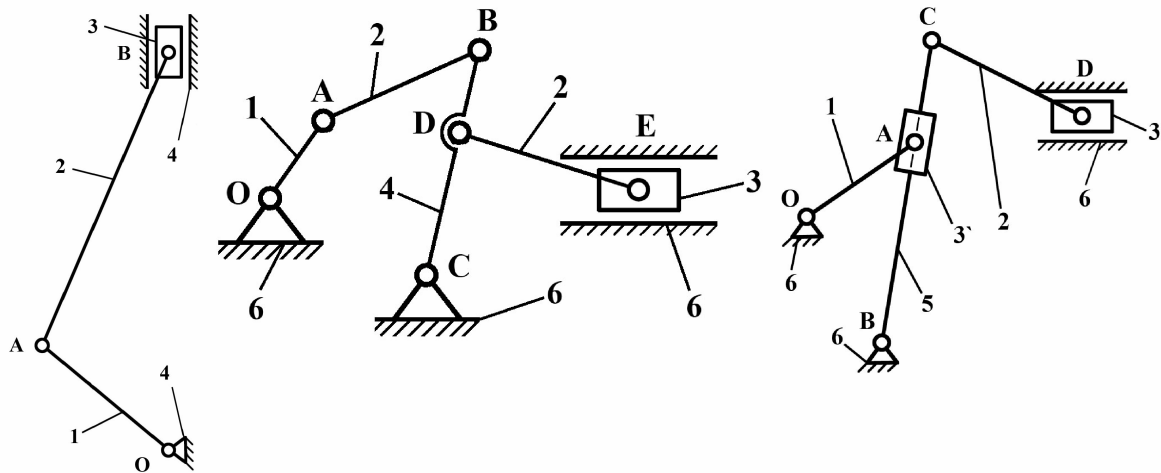
$$\rightarrow I \left[\frac{1;5}{\ddot{I}_A(1,5)} \right] \rightarrow II \left[\frac{2;6}{\hat{A}_C(2,5); \hat{A}_O(2,6); \ddot{I}_B(6,1)} \right] \rightarrow II \left[\frac{3;4}{\hat{A}_D(2,3); \hat{A}_E(3,4); \ddot{I}_F(4,5)} \right]$$

Данный механизм II-го класса, т.к. наивысший класс групп Ассура, входящих в состав механизма – *второй*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов К.В., Попов С.А. и др. Теория механизмов и механика машин – учебник для ВТУЗов. М., Высшая школа, 2003.
2. Марченко С.И., Марченко Е.П., Логинова Н.В. Теория механизмов и машин. Ростов н/Д, Феникс, 2003.
3. Фролов К.В., Попов С.А., Мусатов А.К. и др. Теория механизмов и машин. М., Высшая школа, 2001.
4. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М., Наука, 1988.
5. Коренько А.С. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин. Киев, «ВИЩА школа», 1976.
6. Левицкая О.М., Левицкий М.И. Курс теории механизмов и машин. М., Высшая школа, 1978.
7. Артоболевский И.И., Эдельштейн Б.В. Сборник задач по теории механизмов и машин. М., Наука, 1975.
8. Иосилевич Г.Б. и др. Прикладная механика – учебник для ВУЗов. М., Высшая школа, 1989.

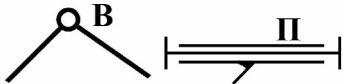
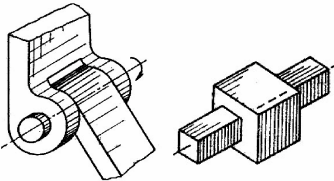
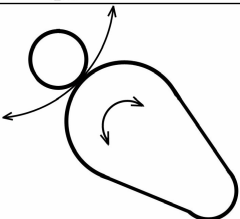
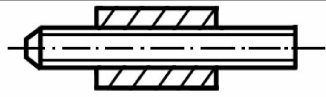
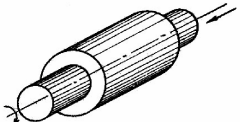
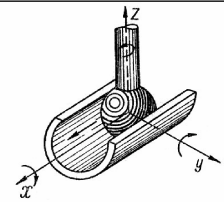
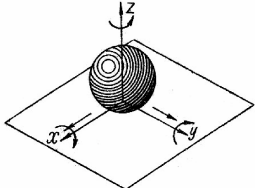
Условные изображения и название звеньев механизма



Стойка – это неподвижное звено. В зависимости от характера движения относительно стойки звенья называют:

- **кривошипом** (АО) – звено 1, которое образует вращательную пару со стойкой и совершает полный оборот вокруг неподвижной оси.
- **шатунном** (AB,CD) – звено 2 соединенное вращательными парами с подвижными звеньями, но не связанное со стойкой 6;
- **ползуном** (B, D, E) – звено 3 шарнирно соединенное со звеном 2 и поступательно перемещающееся по неподвижным направляющим;
- **коромыслом** (BC) – звено 4, которое совершает неполный оборот вокруг оси, связанной со стойкой;
- **кулисой** (BC) – звено 5 вращающееся вокруг стойки 6, которое является направляющей для кулисного камня;
- **кулисным камнем** (A) – звено 3', образующее поступательную пару с кулисой.

Примеры кинематических пар и комбинации независимых движений

Тип пар	Название	Возможные движения и условные обозначения	Примеры кинематических пар
Плоские	Одноподвижная, низшая		
	Двухподвижная, высшая	ВП	
Пространственные	Винтовая – одноподвижная, низшая		
	Двухподвижная, низшая – цилиндрическая	ВП	
	Трехподвижная, низшая – сферическая	ВВВ	
	Четырехподвижная, высшая – шар-цилиндр	ВВВП	
	Пятиподвижная, высшая – шар-плоскость	ВВВП	

Основные понятия, определения и термины

МЕХАНИЗМ – система тел, созданная для преобразования движения одного или нескольких твердых тел в требуемые движения других тел.

МАШИНА – устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации с целью замены или облегчения физического и умственного труда.

ЗВЕНО – одна или несколько неподвижно соединенных друг с другом деталей, входящих в механизм и движущихся, как одно целое.

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ПАРА – соединение двух звеньев, допускающее их относительное движение. В плоских механизмах встречаются *одноподвижные* кинематические пары с касанием звеньев по поверхности (низшие – вращательные и поступательные), а также *двухподвижные* с касанием звеньев в точке (высшие – в зубчатых зацеплениях и кулачковых механизмах).

ЭЛЕМЕНТ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПАРЫ – совокупность поверхностей, линий и точек звена, по которым оно может соприкасаться с другим звеном, образуя кинематическую пару.

СТЕПЕНЬ ПОДВИЖНОСТИ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПАРЫ – целое число, показывающее сколько *независимых* движений позволяет делать данная пара одному звену *относительно* другого. По степени подвижности пары делят на: одноподвижные, двухподвижные, трехподвижные, четырехподвижные и пятиподвижные.

ОДНОПОДВИЖНАЯ ПАРА – кинематическая пара с одной степенью свободы в относительном движении ее звеньев. Одноподвижными являются поступательная, вращательная и винтовая пары.

ДВУХПОДВИЖНАЯ ПАРА – кинематическая пара с двумя степенями свободы в относительном движении ее звеньев. Двухподвижными парами в плоских механизмах считают все высшие пары (зуб+зуб и кулачек+толкатель)

ВРАЩАТЕЛЬНАЯ ПАРА – одноподвижная пара, допускающая вращательное движение одного звена относительно другого [см. кинематическая пара].

ПОСТУПАТЕЛЬНАЯ ПАРА – одноподвижная пара, допускающая прямолинейно-поступательное движение одного звена относительно другого.

ПЛОСКИЙ МЕХАНИЗМ – механизм, точки звеньев которого описывают траектории, лежащие в параллельных плоскостях.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ МЕХАНИЗМ – механизм, точки звеньев которого описывают пространственные траектории или траектории, лежащие в пересекающихся плоскостях.

ШАРНИРНЫЙ МЕХАНИЗМ – механизм, звенья которого образуют только вращательные пары. Примерами шарнирных механизмов являются кривошипно-коромысловый механизм, двухкоромысловый механизм и др.

ШАРНИРНЫЙ ЧЕТЫРЕХЗВЕННЫЙ МЕХАНИЗМ (шарнирный четырехзвенник) – шарнирный механизм, содержащий три подвижных звена и стойку.

РЫЧАЖНЫЙ МЕХАНИЗМ – механизм, звенья которого образуют только вращательные, поступательные, цилиндрические и сферические пары. Примерами рычажного механизма являются кривошипно-ползунный механизм, кулисный механизм и др.

КРИВОШИПНО-КОРОМЫСЛОВЫЙ МЕХАНИЗМ – шарнирный четырехзвенный механизм, в состав которого входят кривошип и коромысло.

КРИВОШИПНО-ПОЛЗУННЫЙ МЕХАНИЗМ – рычажный четырехзвенный механизм, в состав которого входят кривошип и ползун. Кривошипно-ползунный механизм служит для преобразования вращательного движения кривошипа в возвратно-поступательное движение ползуна или, наоборот, возвратно-поступательного движения ползуна во вращательное движение кривошипа.

КРИВОШИПНО-КУЛИСНЫЙ МЕХАНИЗМ – рычажный четырехзвенный механизм, в состав которого входят кривошип и кулиса. Кривошипно-кулисный механизм служит для передачи и преобразования вращательного движения кривошипа во вращательное или качательное движение кулисы и, наоборот, движение кулисы во вращение кривошипа.

СТОЙКА (*редко: корпус, рама, станина, основание*) – звено, принимаемое за неподвижное.

КРИВОШИП (*иногда: коленчатый вал, коленвал, эксцентрик, водило*) – вращающееся звено, которое может совершать полный оборот вокруг неподвижной оси.

КОРОМЫСЛО (*редко рычаг*) – вращающееся звено, которое может совершать только неполный оборот вокруг неподвижной оси.

ПОЛЗУН (**поршень** – в двигателях и компрессорах, **толкатель** – в кулачковых механизмах, **суппорт** – в станках, **кулисный камень**) – звено образующее поступательную пару с другим звеном (чаще всего со стойкой).

КУЛИСА – звено, вращающееся вокруг неподвижной оси и образующее с другим подвижным звеном поступательную пару.

ШАТУН – звено, образующее кинематические пары только с подвижными звеньями.

ШАТУННАЯ КРИВАЯ – траектория, описываемая какой-либо точкой шатуна.

ДВУХКРИВОШИПНЫЙ МЕХАНИЗМ – шарнирный четырехзвенный механизм, в который входят два кривошипа. Двухкривошипный механизм служит для передачи и преобразования вращательного движения. За один оборот одного кривошипа другой кривошип совершает также один оборот. Равномерному вращению одного кривошипа соответствует обычно неравномерное вращение другого кривошипа.

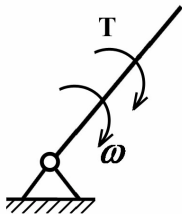
ДВУХКОРОМЫСЛОВЫЙ МЕХАНИЗМ – шарнирный четырехзвенный механизм, в состав которого входят два коромысла. Двухкоромысловый механизм служит для преобразования качательного движения одного коромысла в качательное движение другого коромысла.

ВХОДНОЕ ЗВЕНО – звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом в требуемые движения других звеньев. Входное звено соединено с двигателем либо с выходным звеном другого механизма.

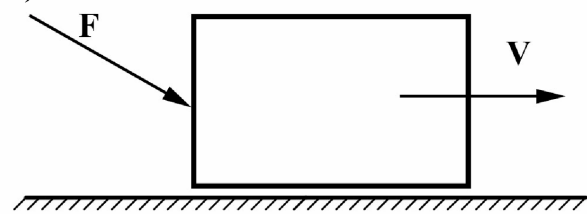
ВЫХОДНОЕ ЗВЕНО – звено, совершающее движение, для выполнения которого предназначен механизм. Выходное звено соединено с исполнительным устройством (рабочим органом, указателем прибора), либо со входным звеном другого механизма.

ВЕДУЩЕЕ ЗВЕНО – звено, для которого сумма элементарных работ внешних сил, приложенных к нему, положительна. Для вращающихся *ведущих* звеньев (схема *а*) момент T и угловая скорость ω , а для поступательно движущегося *ведущего* звена проекция силы F на направление движения и линейная скорость V (схема *б*) направлены в одну сторону.

а)



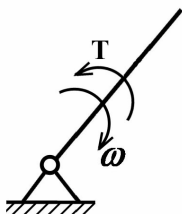
б)



Обычно ведущее звено совпадает с входным звеном, но в процессе движения одно и то же входное звено может быть ведущим или ведомым. Например, поршень в двигателе внутреннего сгорания при сгорании смеси – ведущее звено, но при всасывании и сжатии смеси, а также при выпуске отработанных газов – ведомое звено.

ВЕДОМОЕ ЗВЕНО – звено, для которого сумма элементарных работ внешних сил, приложенных к нему, отрицательна. Для вращающегося ведомого звена (схема *а*) момент силы T и угловая скорость ω , а для поступательно движущегося звена (схема *б*) проекция силы F на направление движения ведомого звена и линейная скорость V направлены в противоположные стороны.

а)



б)



Обычно ведомое звено совпадает с выходным звеном, но в процессе движения одно и то же выходное звено может быть ведомым или ведущим, например, колесо электровоза при разгоне – ведомое звено, а при замедлении на ровном участке – ведущее звено (двигатель, соединенный с колесом через редуктор превращается в генератор и отдает энергию в сеть).

СТЕПЕНЬ ПОДВИЖНОСТИ МЕХАНИЗМА – целое число (W), показывающее сколько независимых движений нужно подвести к механизму, чтобы на выходе получить одно или наоборот. Большинство механизмов имеет степень подвижности $W = 1$; у дифференциальных механизмов $W = 2$; у роботов и манипуляторов $W = 4 - 8$ (чаще всего у них $W = 4$), также как и у основного механизма экскаватора.

СИНТЕЗ МЕХАНИЗМОВ – проектирование схемы механизма по заданным его свойствам. Синтез включает в себя выбор структурной схемы и определение постоянных параметров выбранной схемы механизма по заданным его свойствам. Различают: структурный синтез механизмов – выбор его схемы; метрический синтез – нахождение размеров звеньев и динамический синтез – распределение масс звеньев.

СИНТЕЗ МЕХАНИЗМОВ ПО ЧЕБЫШЕВУ – синтез механизмов по методу наилучшего равномерного приближения функций.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Цель и содержание лабораторной работы _____	3
2. Последовательность выполнения работы _____	3
3. Пояснения к лабораторной работе _____	4
4. Вопросы по лабораторной работе _____	14
5. Пример отчета _____	15
6. Литература _____	19
Приложение 1	
Условные изображения и названия звеньев механизма _____	20
Приложение 2	
Примеры кинематических пар и комбинации независимых движений _____	21
Приложение 3	
Основные понятия определения и термины _____	22