

Семинар 1.

Структура механизмов

Краткое содержание:

Классификация кинематических пар

Подвижности и связи в механизме.

Структура механизма

Основные структурные формулы

Структурная классификация механизмов по Ассур

Структурный анализ шестизвенного механизма 2-го класса

Примеры оформления КР.

Вперед

Введение.
Общие требования к разделу структуры
в курсовой работе по курсу ТММ.
«Структурный анализ рычажного механизма».

1. Структурный анализ:

- изобразить структурную схему заданного рычажного механизма,
- обозначить на ней звенья и кинематические пары (КП),
- определить число звеньев, вид и класс КП,
- подсчитать число подвижностей для плоского и пространственного механизма,
- провести структурный анализ плоского механизма по Ассуру:

- ✓ вычертить первичный механизм и структурные группы,
- ✓ определить в них число звеньев и КП,
- ✓ рассчитать подвижность для групп и первичного механизма на плоскости и в пространстве.

Исходные данные к первому ДЗ по Механике

Таблица 1

Вари- ант	H [мм]	λ [1]	D_n [мм]	φ_1 [град]	β [град]	n [$\frac{об}{мин}$]	$\frac{l_{AS_2}}{l_{AB}}$	P [$\frac{H}{см^2}$]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	50	0,28	75	30	60	3800	0,30	50
2.	60	0,28	78	45	70	3500	0,28	45
3.	70	0,28	82	60	80	3000	0,35	50
4.	80	0,28	85	75	90	2800	0,30	47
5.	90	0,28	98	120	100	3200	0,28	50
6.	54	0,25	72	15	110	3400	0,33	42
7.	66	0,25	76	60	120	3600	0,35	50
8.	74	0,25	80	45	60	2600	0,30	50
9.	92	0,25	92	30	70	2500	0,33	45
10.	88	0,25	82	45	80	2400	0,33	45
11.	60	0,27	65	60	90	2700	0,35	45
12.	70	0,27	75	30	100	2900	0,28	50
13.	80	0,27	75	120	110	3800	0,32	45
14.	84	0,27	95	150	120	3500	0,28	40
15.	94	0,27	90	120	60	3000	0,30	50
16.	50	0,29	78	45	70	2800	0,28	45
17.	60	0,29	80	60	80	3200	0,30	45
18.	70	0,29	82	45	90	3400	0,33	50
19.	90	0,29	95	30	100	3500	0,30	45
20.	100	0,29	85	60	110	2600	0,32	40
21.	52	0,30	78	30	60	2500	0,30	40
22.	64	0,30	76	45	70	2400	0,25	45
23.	72	0,30	80	60	80	2700	0,28	50
24.	84	0,30	95	75	90	2900	0,28	40
25.	92	0,30	90	30	100	3800	0,30	50
26.	50	0,25	72	15	110	3500	0,35	45
27.	60	0,25	82	60	120	3000	0,32	50
28.	70	0,24	85	45	60	2800	0,30	47
29.	80	0,25	63	30	70	3200	0,28	50
30.	90	0,25	65	75	80	3400	0,25	50

Таблица 1 (продолжение)

Вари- ант	H [мм]	λ [1]	D_n [мм]	φ_1 [град]	β [град]	n [$\frac{об}{мин}$]	$\frac{l_{AS_2}}{l_{AB}}$	P [$\frac{H}{см^2}$]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
31.	54	0,28	76	45	90	3600	0,28	45
32.	64	0,28	80	60	100	2600	0,30	45
33.	74	0,28	75	75	110	2500	0,32	45
34.	85	0,28	85	60	120	2400	0,35	45
35.	90	0,28	85	30	60	2700	0,32	50
36.	50	0,26	65	45	70	2900	0,30	45
37.	60	0,26	75	60	80	3800	0,26	40
38.	75	0,26	78	75	90	3500	0,25	50
39.	85	0,26	80	105	100	3000	0,30	42
40.	95	0,26	90	120	110	2800	0,30	43
41.	54	0,22	70	135	60	3200	0,25	42
42.	65	0,22	78	120	75	3400	0,30	48
43.	70	0,22	80	150	90	3600	0,25	48
44.	80	0,22	70	75	105	2600	0,30	40
45.	90	0,22	60	45	120	2500	0,25	40
46.	52	0,28	65	150	60	2400	0,28	45
47.	60	0,24	75	135	75	2700	0,32	50
48.	75	0,25	90	30	90	2900	0,30	50
49.	82	0,26	92	45	105	3800	0,28	45
50.	100	0,27	85	60	120	3500	0,25	40
51.	60	0,28	85	75	60	3000	0,25	45
52.	65	0,29	70	45	75	2800	0,28	60
53.	72	0,30	75	75	90	3200	0,30	48
54.	75	0,30	85	60	105	3400	0,32	45
55.	80	0,29	95	80	120	3600	0,25	50
56.	56	0,28	80	120	60	2600	0,38	40
57.	68	0,27	69	150	75	2500	0,30	45
58.	76	0,26	70	75	90	2400	0,28	50
59.	85	0,25	75	60	105	2700	0,25	45
60.	95	0,24	80	80	120	2900	0,30	50

Классификация кинематических пар.

по виду места контакта
поверхностей звеньев

высшие

низшие

по относительному
движению звеньев,
образующих пару

вращательные

поступательные

сферические

винтовые

плоские

по числу подвижностей
в относительном
движении

по числу связей,
накладываемых на
относительное
движение звеньев,
образующих пару

по способу замыкания
кинематической пары

геометрическое

силовое

[Показать видеосфрагмент](#)

[Назад](#)

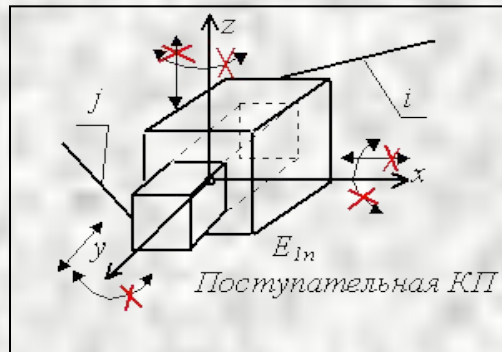
[Вперед](#)

Низшие кинематические пары

К низшим относятся кинематические пары, в которых контакт звеньев осуществляется по плоскости или поверхности (пары чистого скольжения). К низшим относятся поступательные, плоские, вращательные, цилиндрические, сферические и винтовые пары.



К
л
а
с
с
5



Одноподвижная поступательная кинематическая пара. Допускает только одно поступательное относительное движение звеньев. Пара низшая, так как контакт звеньев происходит по поверхности (плоскостям). Используемая в модели форма контактирующих поверхностей называется «ласточкин хвост». Замыкание пары геометрическое (за счет формы контактирующих поверхностей).

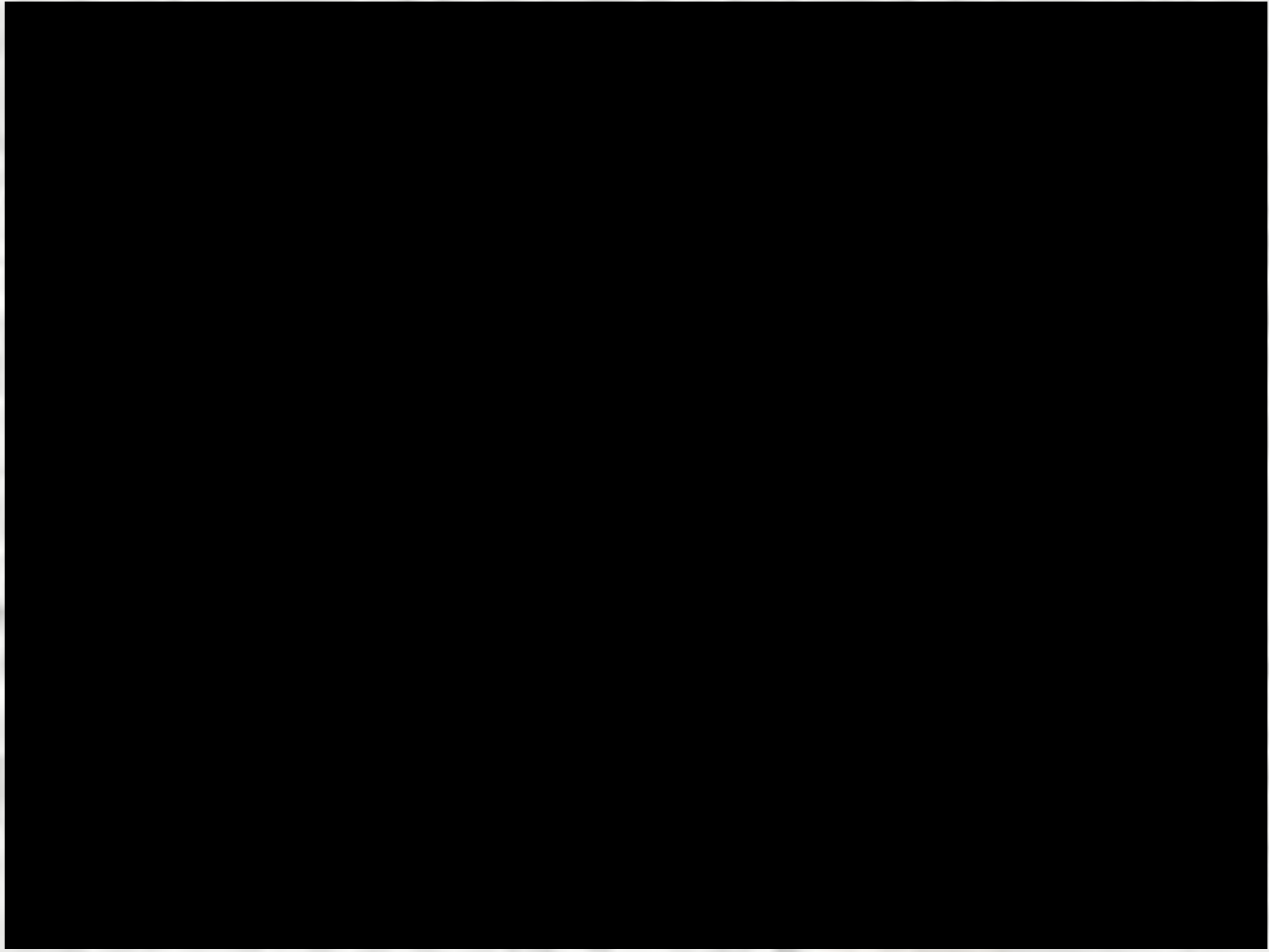


Одноподвижная поступательная кинематическая пара. Допускает только одно поступательное относительное движение звеньев. Пара низшая, так как контакт звеньев происходит по поверхности (плоскостям). В модели используется призматическая форма контактирующих поверхностей. Замыкание пары силовое (с помощью сил веса).

Назад

Вперед

Поступательная кинематическая пара



Назад

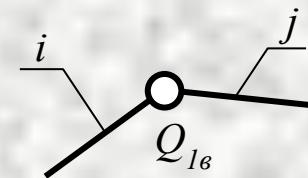
Вперед

Низшие кинематические пары

К низшим относятся кинематические пары, в которых контакт звеньев осуществляется по плоскости или поверхности (пары чистого скольжения). К низшим относятся поступательные, плоские, вращательные, цилиндрические, сферические и винтовые пары.



Одноподвижная вращательная кинематическая пара. Допускает только одно вращательное относительное движение звеньев. Пара низшая, так как контакт звеньев происходит по поверхности (цилиндру).



Одноподвижная винтовая кинематическая пара. Относительное движение звеньев в паре – винтовое, в котором вращательное движение функционально связано с поступательным (при повороте звена на оборот оно перемещается в осевом направлении на шаг винта). Пара низшая, так как контакт звеньев происходит по поверхности (поверхность винта конгруэнтна контактной поверхности гайки).

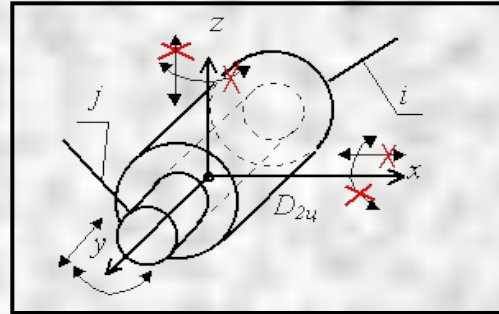
Назад

Вперед

Низшие кинематические пары

К
л
а
с
с

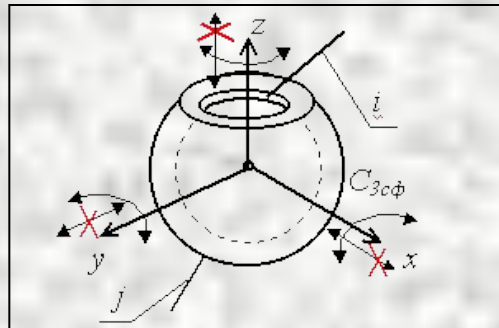
4



Двухподвижная цилиндрическая кинематическая пара. Допускает одно вращательное и одно поступательное относительные движения звеньев. Пара низшая, так как контакт звеньев происходит по поверхности (цилиндру).

К
л
а
с
с

3

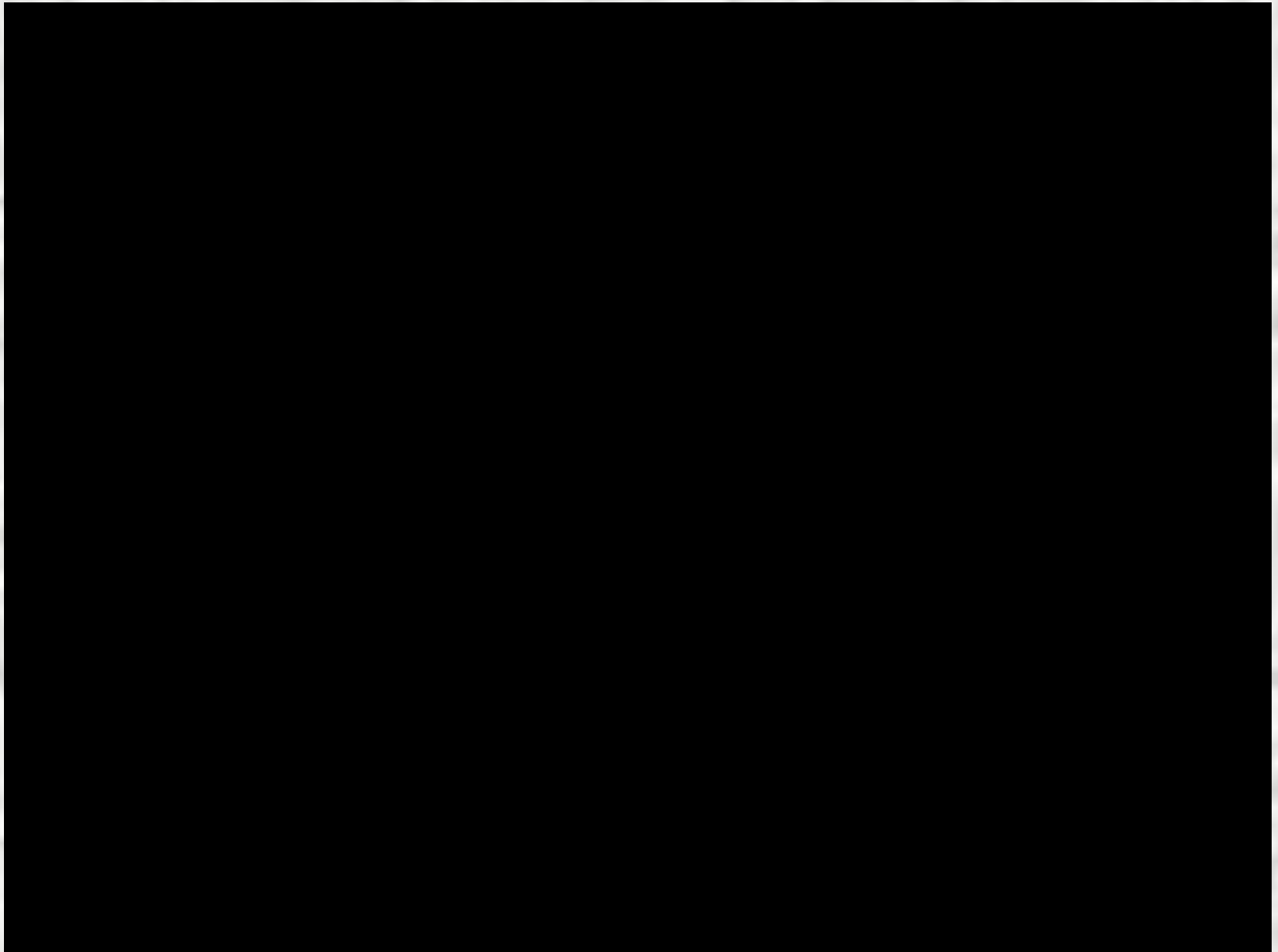


Трехподвижная сферическая кинематическая пара. Допускает три вращательных относительных движения звеньев. Пара низшая, так как контакт звеньев происходит по поверхности (сфере).

Назад

Вперед

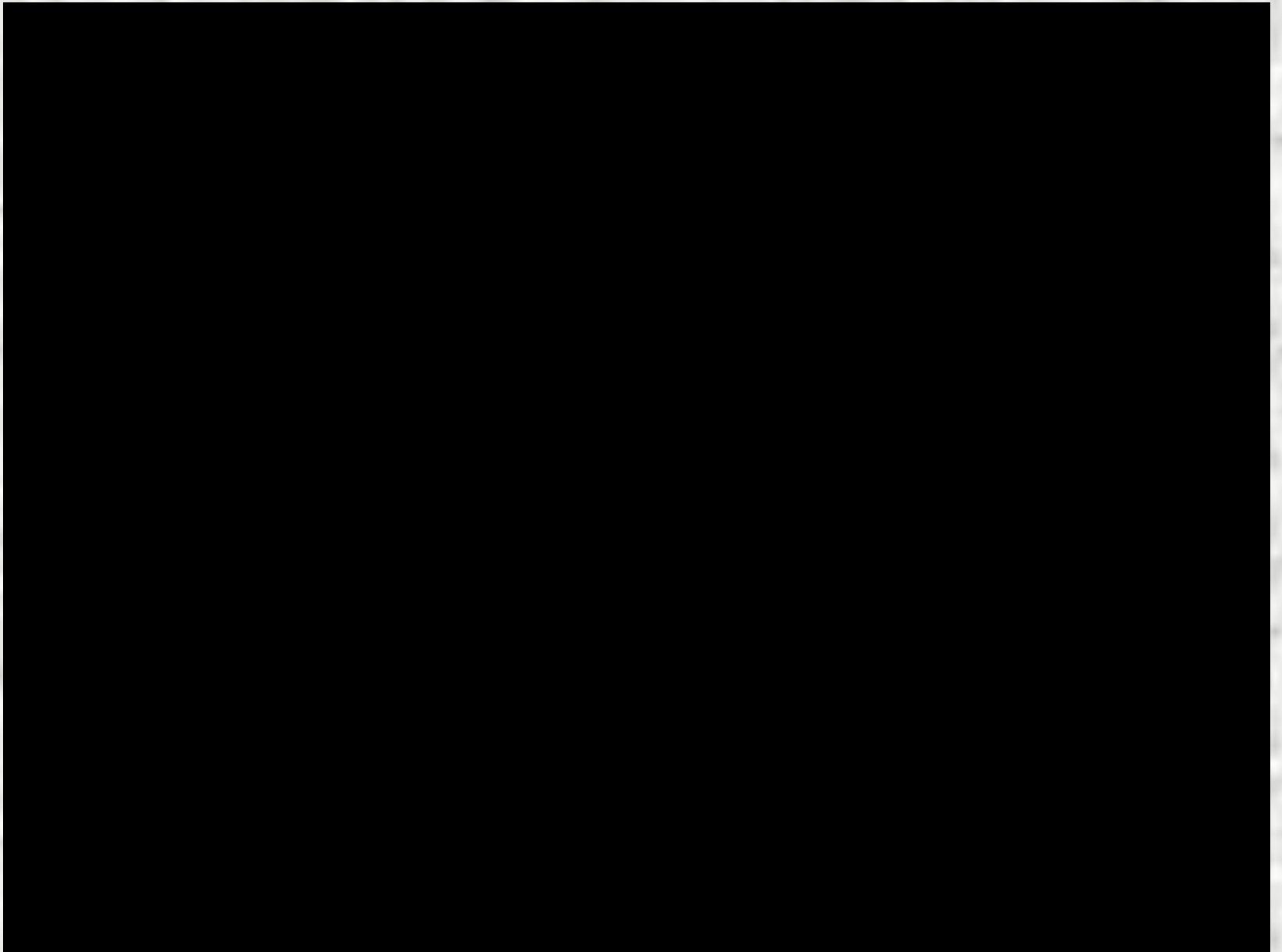
Низшая цилиндрическая кинематическая пара



Назад

Вперед

Низшая сферическая кинематическая пара



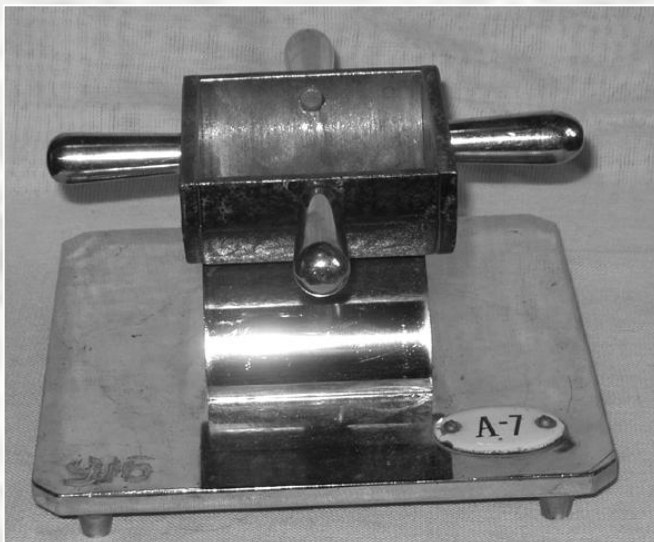
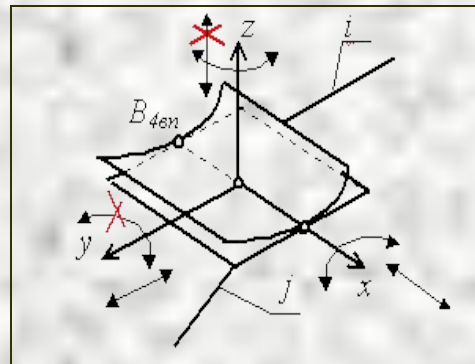
Назад

Вперед

Высшие кинематические пары

К высшим относятся кинематические пары, в которых контакт звеньев осуществляется по линиям или точкам (пары допускают скольжение и перекатывание). К ним относятся пары с линейным и точечным контактом в зубчатых передачах и кулачковых механизмах.

К
л
а
с
с
2

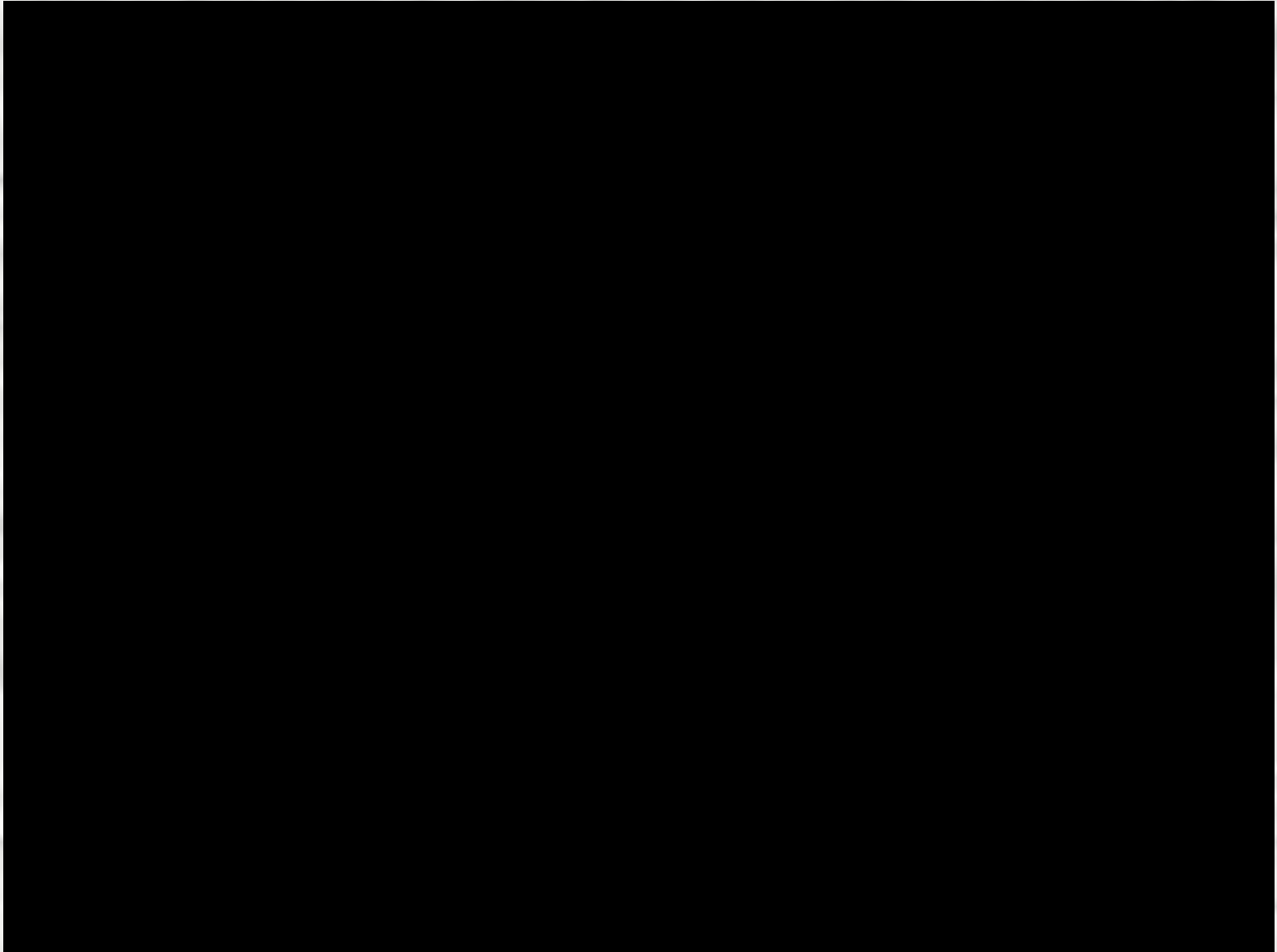


Четырехподвижная высшая кинематическая пара. Допускает четыре относительных движения звеньев: два вращательных и два поступательных. Контакт звеньев происходит по линии.

Назад

Вперед

Высшая кинематическая пара с линейным контактом

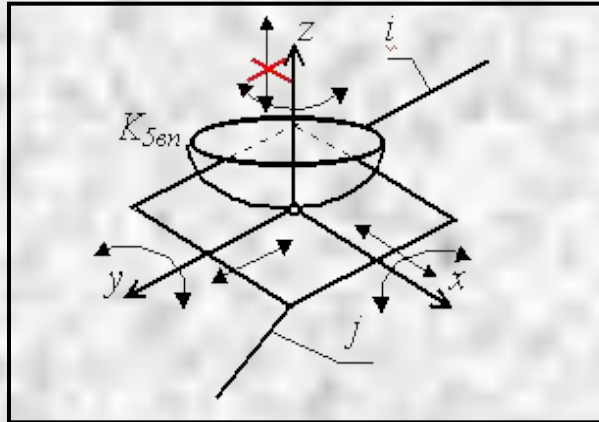


Назад

Вперед

Высшие кинематические пары

К
л
а
с
с
1

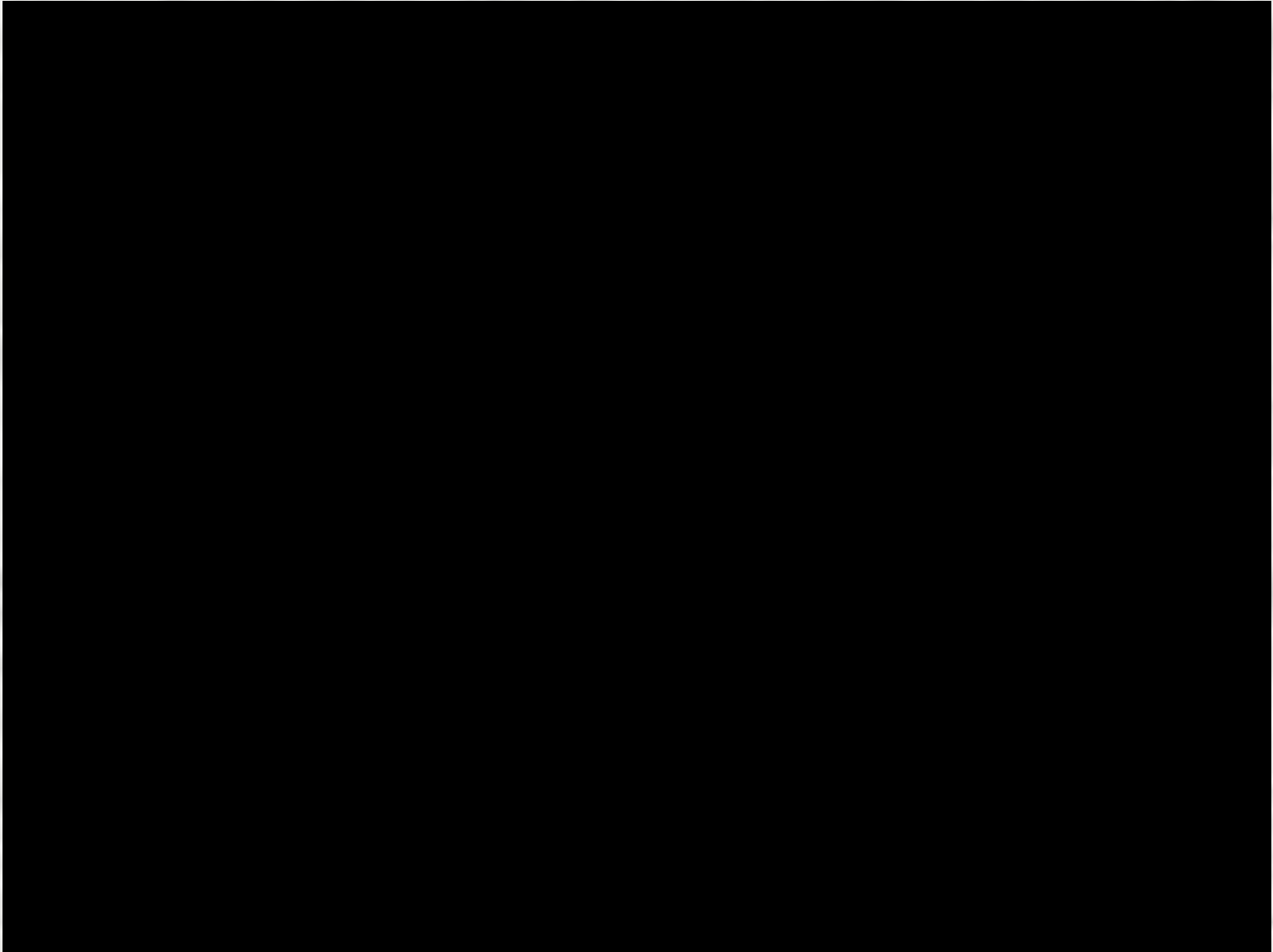


Пятиподвижная высшая кинематическая пара. Допускает пять относительных движений звеньев: три вращательных и два поступательных. Контакт звеньев происходит в точке.

Назад

Вперед

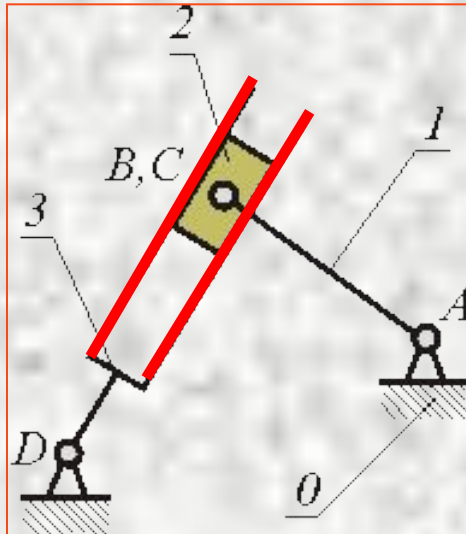
Высшая кинематическая пара с точечным контактом



Назад

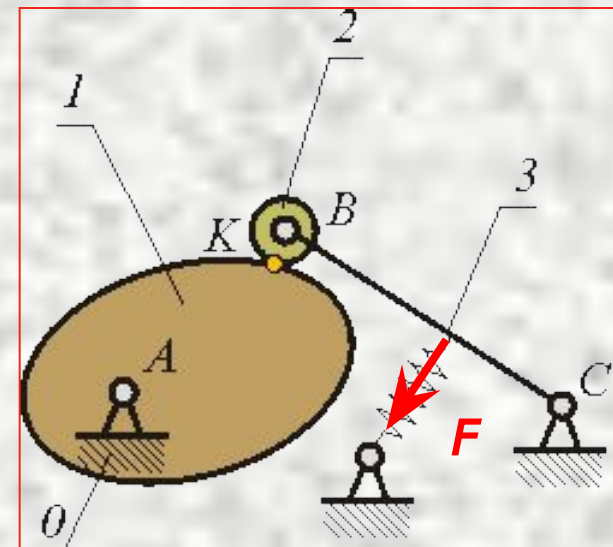
Вперед

Способы замыкания кинематических пар



Замыкание пары геометрическое
(за счет формы контактирующих
поверхностей).

Замыкание пары силовое
(за счет сил упругости пружины).



Назад

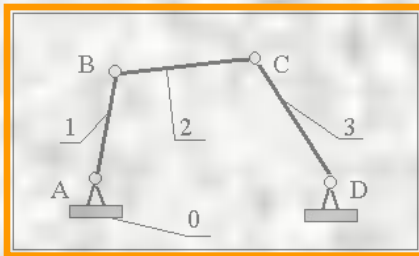
Вперед

Структура механизмов

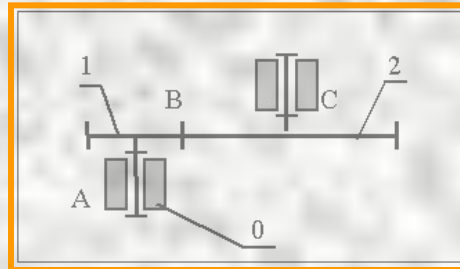
Под **структурой механизма** понимается совокупность его элементов и отношений между ними, т.е. совокупность звеньев, групп или типовых механизмов и подвижных или неподвижных соединений.

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.

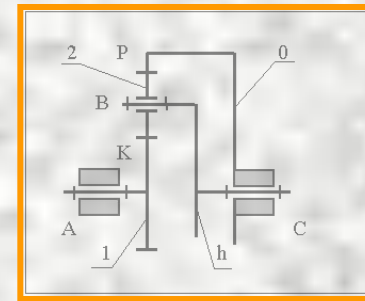
Примеры структурных схем:



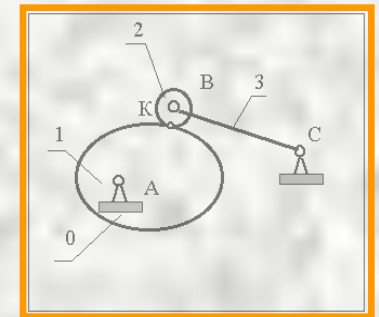
четырёхшарнирного механизма



редуктора



планетарного механизма



кулачка



Назад

Вперед

Структура механизмов

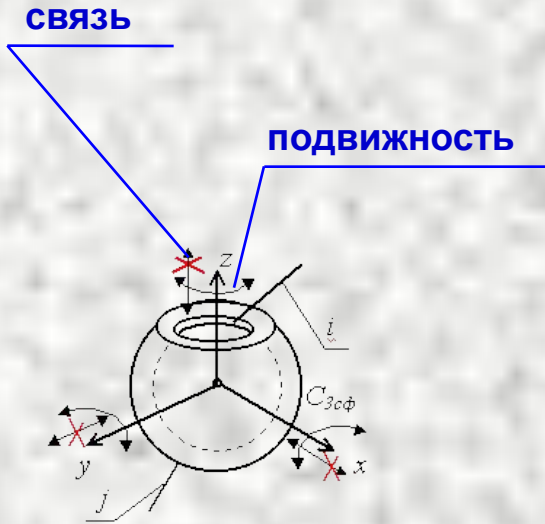
Геометрическая структура механизма полностью описывается заданием геометрической формы его элементов, их расположения, указания вида связей между ними. Структура механизма может быть на разных стадиях проектирования описываться различными средствами, с разным уровнем абстрагирования: на функциональном уровне - функциональная схема, на уровне звеньев и структурных групп - структурная схема и т.п.

Задача структурного анализа: определение параметров структуры заданного механизма - числа звеньев и структурных групп, числа и вида КП, числа подвижностей (основных и местных), числа контуров и числа избыточных связей.

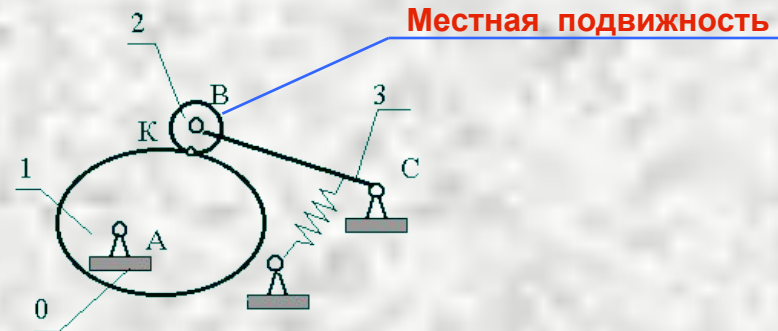
Задача структурного синтеза: задача синтеза структуры нового механизма, обладающего заданными свойствами: числом подвижностей, отсутствием местных подвижностей и избыточных связей, минимумом числа звеньев, с парами определенного вида (например, только вращательными, как наиболее технологичными) и т.п.

Связи и подвижности в КП

(основные понятия структурного анализа)



Подвижность механизма - число независимых обобщенных координат однозначно определяющее положение звеньев механизма на плоскости или в пространстве.



Связь - ограничение, наложенное на перемещение тела по данной координате.

Избыточные (пассивные) связи - такие связи в механизме, которые повторяют или дублируют связи, уже имеющиеся по данной координате, и поэтому не изменяющие реальной подвижности механизма. При этом расчетная подвижность механизма уменьшается, а степень его статической неопределенности увеличивается

Местная подвижность - подвижность в механизме, которая не оказывает влияния на его функцию положения (и передаточные функции). Местная подвижность в механизме выполняет функции отличные от его основной функции - преобразования движения и сил (например, подвижность ролика в кулачковом механизме обеспечивает замену в высшей паре трения скольжения трением качения).

Назад

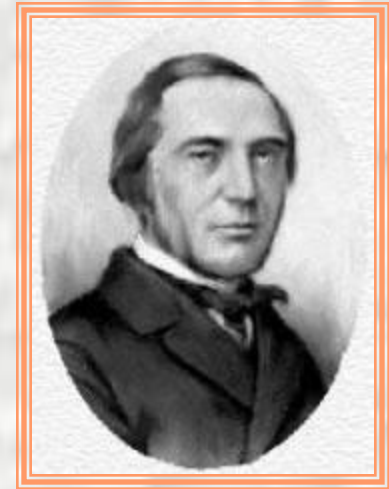
Вперед

Основные структурные формулы.

Число подвижностей механизма

$$W = H \cdot n - \sum_{i=1}^{H-1} (H - i) \cdot p_i$$

где: H - число степеней подвижности твердого тела (соответственно при рассмотрении механизма в пространстве $H=6$, на плоскости $H=3$);
 n - число подвижных звеньев в механизме; $n = k - 1$;
 k - общее число звеньев механизма (включая и неподвижное звено - стойку);
 i - число подвижностей в КП;
 p_i - число кинематических пар с i подвижностями.



Чебышев П.Л.

Для расчета избыточных связей, используется следующая зависимость:

$$q = W_0 + W_m - W$$

q - число избыточных связей в механизме;
 W_0 - заданная или требуемая подвижность механизма;
 W - число местных подвижностей в механизме;
 W^m - расчетная подвижность механизма.

Расчет числа контуров проводят по формуле Гохмана Х.И. :

$$K = p_i - n$$

K - число независимых контуров в механизме;
 p_i - число КП в механизме;
 n - число подвижных звеньев в механизме.

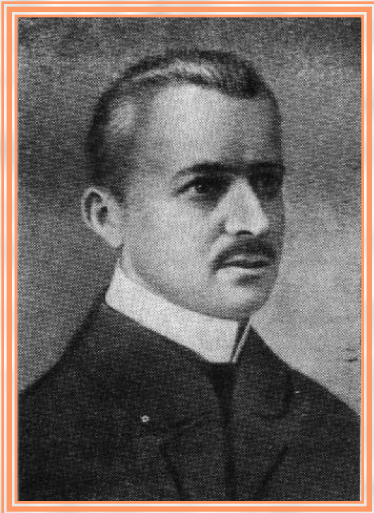
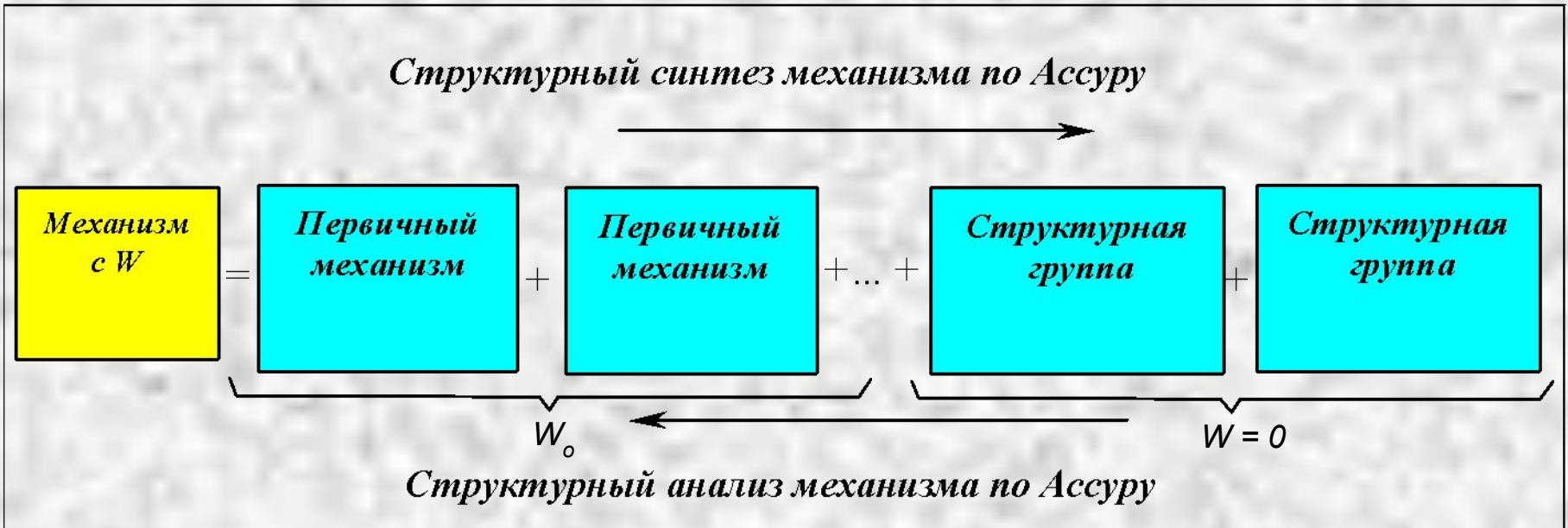
Основные структурные формулы были составлены для плоских механизмов

Чебышевым П.Л. и Грюблером М., для пространственных - Сомовым П.О. и Малышевым.

Назад

Вперед

Структурный анализ по Ассур Л.В.



Ассур Л.В.

Для решения задач синтеза и анализа сложных рычажных механизмов профессором Петербургского университета Ассуром Л.В. была предложена оригинальная структурная классификация. По этой классификации механизмы не имеющие избыточных связей и местных подвижностей состоят из первичных механизмов и структурных групп Ассур. При синтезе к выбранным первичным механизмам последовательно присоединяются (наслаиваются) структурные группы Ассур. При анализе - расчленении механизма на группы Ассур – проводится обратная операция. При синтезе механизма по Ассур в итоге получается механизм без избыточных связей и местных подвижностей.

Назад

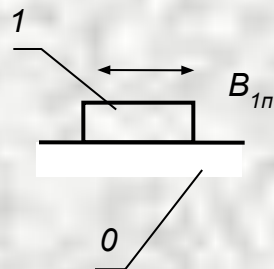
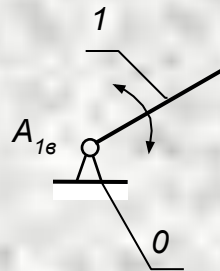
Вперед

Структурный анализ по Ассуру Л.В.

Первичные механизмы

Под **первичным механизмом** понимают механизм, состоящий из двух звеньев (одно из которых неподвижное) образующих кинематическую пару с одной $W_{пм} = 1$.

Примеры первичных механизмов даны на рисунках.



Назад

Вперед

Структурный анализ по Ассур Л.В.

Класс и порядок по Ассур	1 кл. 2 пор.	1 кл. 3 пор.	
Число звеньев группы $n_{гр}$	2	4	и т. д.
Число кинематических пар p_1	3	6	
Класс и порядок по Артолеву	2 кл. 2 пор.	3 кл. 3 пор.	

Структурной группой Ассура (или группой нулевой подвижности) называется кинематическая цепь, образованная только подвижными звеньями механизма, подвижность которой (на плоскости и в пространстве) равна нулю ($W_{зп} = 0$).

Двухповодковые группы Ассура (1-й класс 2-й порядок)

The diagrams illustrate five types of Assur groups with two links (i and j) and three joints (A, B, C). The labels below each diagram indicate the types of joints: 6-6-6 (three revolute joints), 6-6-п (two revolute joints and one prismatic joint), 6-п-6 (one revolute joint, one prismatic joint, and one revolute joint), п-6-п (one prismatic joint, one revolute joint, and one prismatic joint), and п-п-6 (two prismatic joints and one revolute joint).

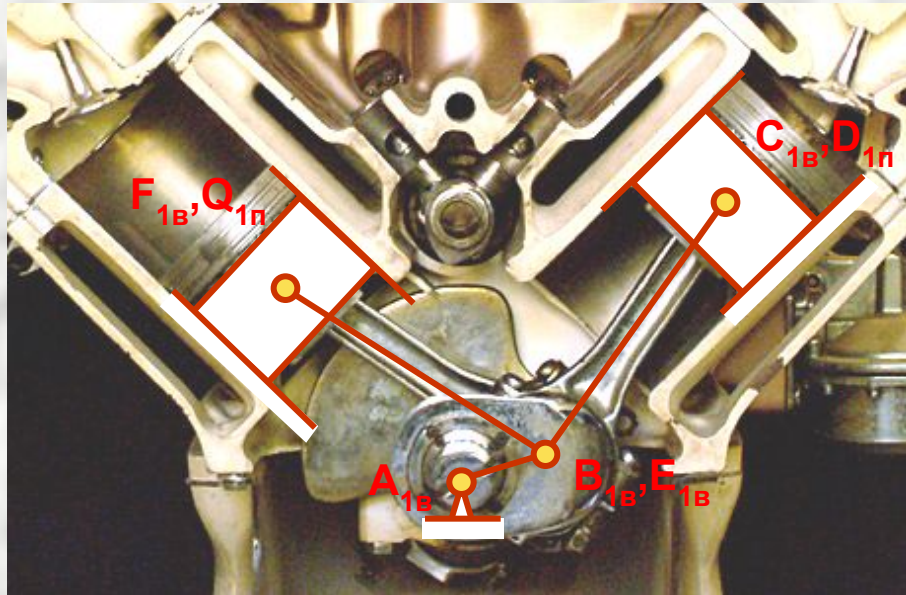
$$W_{зп} = 3 \cdot n_{зп} - 2 \cdot p_1 = 0, \text{ где } n_{зп} = 2, p_1 = 3.$$

Назад

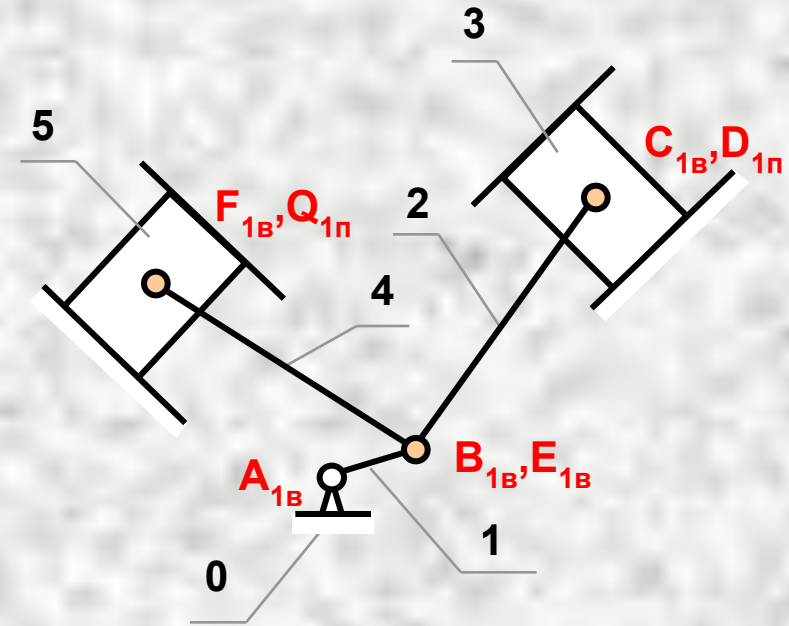
Вперед

Шестишвенный механизм V-образного двигателя внутреннего сгорания

Конструкция механизма



Структурная схема



Параметры кинематических пар механизма

Обозначение пары	A	B	C	D	E	F	Q
Звенья, образующие пару	0-1	2-1	2-3	3-0	1-4	4-5	5-0
Относительное движение в паре (на плоскости)	в	в	в	п	в	в	п
Подвижность в паре (на плоскости)	1	1	1	1	1	1	1
Относительное движение в паре (в пространстве)	в	в	в	в	ц	в	ц
Подвижность в паре (в пространстве)	1	1	1	1	2	1	2

Назад

Вперед

Шестизвенный кулисный механизм второго класса

Структурный анализ

Число звеньев механизма: общее $k = 6$, подвижных $n = 5$.

Число кинематических пар: общее $p_i = 7$,

из них для **плоского механизма** одноподвижных $p_1 = 7$ (вращательных $p_{1B} = 5$, поступательных $p_{1П} = 2$),

из них для **пространственного механизма** одноподвижных $p_1 = 5$ (вращательных $p_{1B} = 5$), двухподвижных $p_2 = 2$ (цилиндрических $p_{2Ц} = 2$).

Число подвижностей механизма **на плоскости**:

$$W^{пл} = 3 \cdot 5 - (2 \cdot 7) = 15 - 14 = 1,$$

т.е. механизм имеет только одну основную подвижность $W_0 = 1$.

Число подвижностей механизма **в пространстве**:

$$W^{пр} = 6 \cdot 5 - (5 \cdot 5 + 4 \cdot 2) = 30 - 33 = -3.$$

Число избыточных связей механизма **на плоскости**:

$$q^{пл} = W_0 + W_m - W^{пл} = 1 + 0 - 1 = 0;$$

в пространстве:

$$q^{пр} = W_0 + W_m - W^{пр} = 1 + 0 - (-3) = 4.$$

Число независимых контуров в механизме:

$$K = p_i - n = 7 - 5 = 2.$$

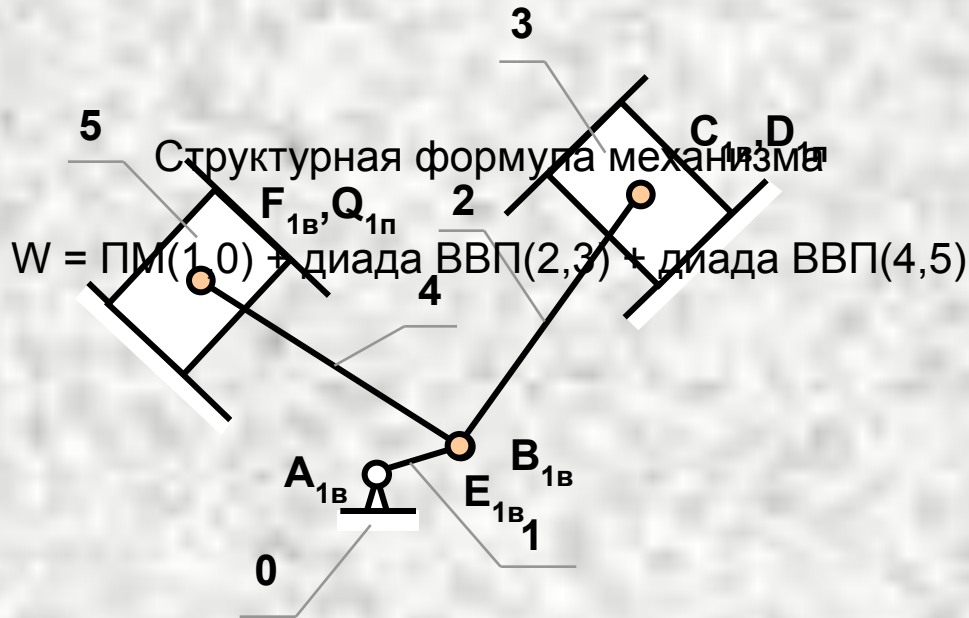
Шестизвенный кулисный механизм второго класса

Структурный анализ по Ассуру (расчленение механизма на группы Ассура)

$$W_{гр}^{пл} = 0;$$

$$W_{гр}^{пр} = -2;$$

$$q_{гр}^{пр} = 2;$$



$$W_{ПМ}^{пл} = 1;$$

$$W_{ПМ}^{пр} = 1;$$

$$q_{ПМ}^{пр} = 0;$$

Группа звеньев 4-5
(диада ВВП 2 класс – 2 слой)

Первичный механизм
(звенья 1-0, 1 класс)

$$W_{гр}^{пл} = 0;$$

$$W_{гр}^{пр} = -2;$$

$$q_{гр}^{пр} = 2;$$

Назад

Группа звеньев 2-3
(диада ВВП 2 класс – 1 слой)

Вперед

Шестизвенный кулисный механизм второго класса

Структурный анализ по Ассур (расчленение механизма на группы Ассура)

$$W^{пл} = 0;$$

$$W^{пр}_{гр} = -2;$$

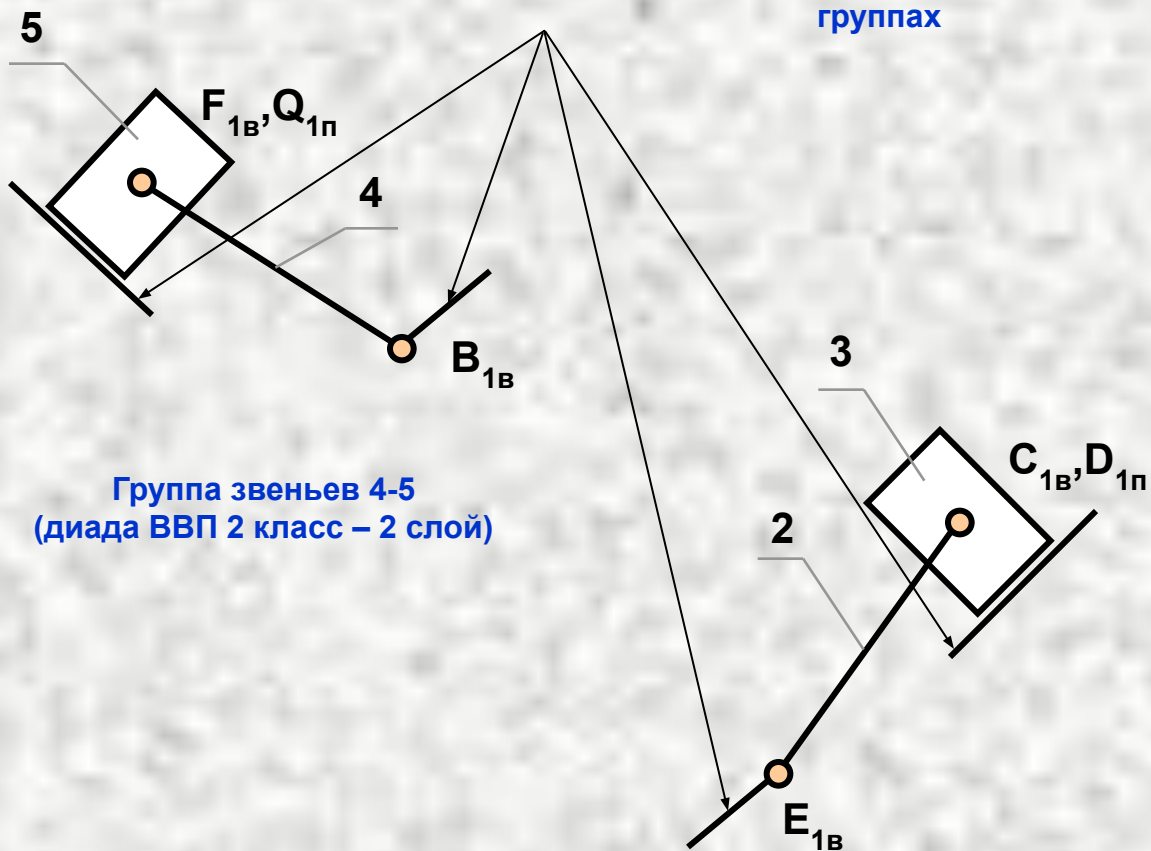
$$q^{пр}_{гр} = 2;$$

Свободные элементы звена в структурных группах

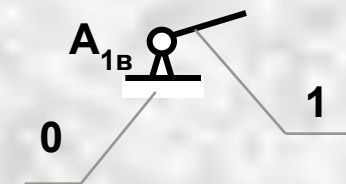
$$W^{пл}_{пм} = 1;$$

$$W^{пр}_{пм} = 1;$$

$$q^{пр}_{пм} = 0;$$



Группа звеньев 4-5
(диада ВВП 2 класс – 2 слой)



Первичный механизм
(звенья 1-0, 1 класс)

$$W^{пл} = 0;$$

$$W^{пр}_{гр} = -2;$$

$$q^{пр}_{гр} = 2;$$

Группа звеньев 2-3
(диада ВВП 2 класс – 1 слой)

Назад

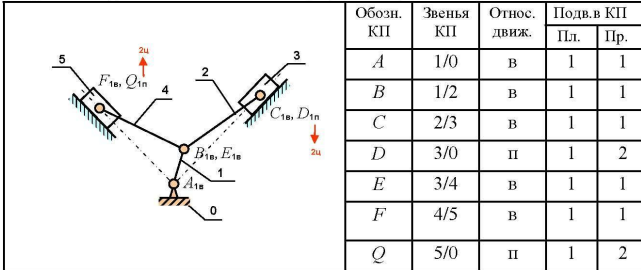
Вперед

Шестизвенный кулисный механизм

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА

1. Структурная схема механизма.

Заданная подвижность механизма $W_0 = 1$



Число звеньев механизма	общее (включая стойку)		$k=6$
	совершающих движение		$n=5$
Число кинематических пар механизма	одноподвижных	вращательных	$p_{1в}=5$
		поступательных	$p_{1п}=2$
	двухподвижных	цилиндрических	$p_{2ц}=2$
Число подвижностей механизма	на плоскости	$W^{пл} = 3n - 2p_1 = 1$	
	в пространстве	$W^{пр} = 6n - (5p_1 + 4p_2) = -3$	
Число избыточных связей в механизме	$q^{пл} = W_0 + W_M - W^{пл} = 0$		
	$q^{пр} = W_0 + W_M - W^{пр} = 4$		

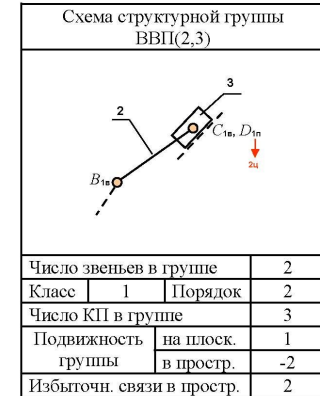
2. Структурный анализ механизма по классификации Ассур Л.В.



$$W_{гр}^{пл} = 3 \cdot n_{гр} - 2 \cdot p_1$$

$$W_{гр}^{пр} = 6 \cdot n_{гр} - (5 \cdot p_1 + 4 \cdot p_2 + 3 \cdot p_3)$$

$$q_{гр}^{пр} = W_0 + W_M - W_{гр}^{пр}$$



Структурная формула механизма

$$W = ПМ(1,0) + ВВП(2,3) + ВВП(4,5)$$

Пример оформления раздела по структуре в РПЗ

Назад

Вперед

Шестизвенный кулисный механизм

I. СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА

1.1. Описание механизма

МЕХАНИЗМ представляет собой 6-тизвенный плоский рычажный механизм.

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА механизма показана на рис.1:

звено 1 – ведомое – кривошип OA равномерно вращается вокруг неподвижной оси Oz (рис.1.);

звено 2 – шатун AB совершает плоскопараллельное движение;

звено 3 – ползун (поршень) B движется поступательно вдоль наклонной прямой OB ;

звено 4 – шатун AC совершает плоскопараллельное движение;

звено 5 – ползун (поршень) C движется поступательно вдоль наклонной прямой OC ;

звено 0 – стойка неподвижна (неподвижный шарнир O ; неподвижные направляющие ползуна B ; неподвижные направляющие ползуна C).

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРЫ – подвижные соединения двух звеньев, обозначены на схеме (рис.1) заглавными латинскими буквами с индексами, в которых цифра указывает подвижность КП, буква (русская) – вид относительного движения (в - вращательное, п - поступательное). Описание пар механизма дано в таблице 1.1.

Таблица 1.1.

№ п/п	Звенья КП	Вид КП	Подвижность КП		Класс КП	Расположение в группе
			плоскость	простр.		
1	1 – 6	В	1	1	V	внешняя
2	1 – 2	В	1	1	V	внутренняя
3	1 – 4	В	1	1	V	внутренняя
4	2 – 3	В	1	1	V	внутренняя
5	3 – 6	П	1	2	IV	внешняя
6	4 – 5	В	1	1	V	внутренняя
7	5 – 6	П	1	2	IV	внешняя

Все семь пар обеспечивают контакт по площади и поэтому относятся к низшим парам.

По числу связей в КП имеем

– кинематических пар V класса $p_5 = 5$,

– кинематических пар IV класса $p_4 = 2$.

1.2. Степень подвижности механизма

Степень подвижности механизма W определяется по формуле Чебышева

$$W = 3 * n - 2 * (p_5 - p_4), (1)$$

где n – число подвижных звеньев,

p_5 – число кинематических пар V класса,

p_4 – число кинематических пар IV класса.

В данном механизме в результате проведенного выше исследования получено

$$n = 5; p_5 = 5; p_4 = 2.$$

Степень подвижности данного механизма по формуле (1)

$$W = 3 * 5 - 2 * (5 + 2) = 1,$$

т.е. механизм имеет одно начальное звено. Ведущими звеньями в ДВС поочередно будут поршни (звенья 3 и 5), а ведомым звеном является кривошип OA .

1.3. Структурные группы механизма

Рычажный механизм состоит из первичного механизма I-го класса и двухповодковых групп (диад и групп 2-го класса).

Структурный анализ начинают с групп наиболее удаленных от первичного механизма.

1. Диада 4 – 5 (рис.2) – шатун AC с ползуном 5 – представляет собой

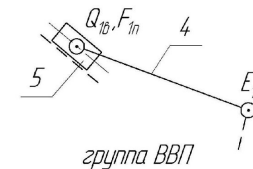


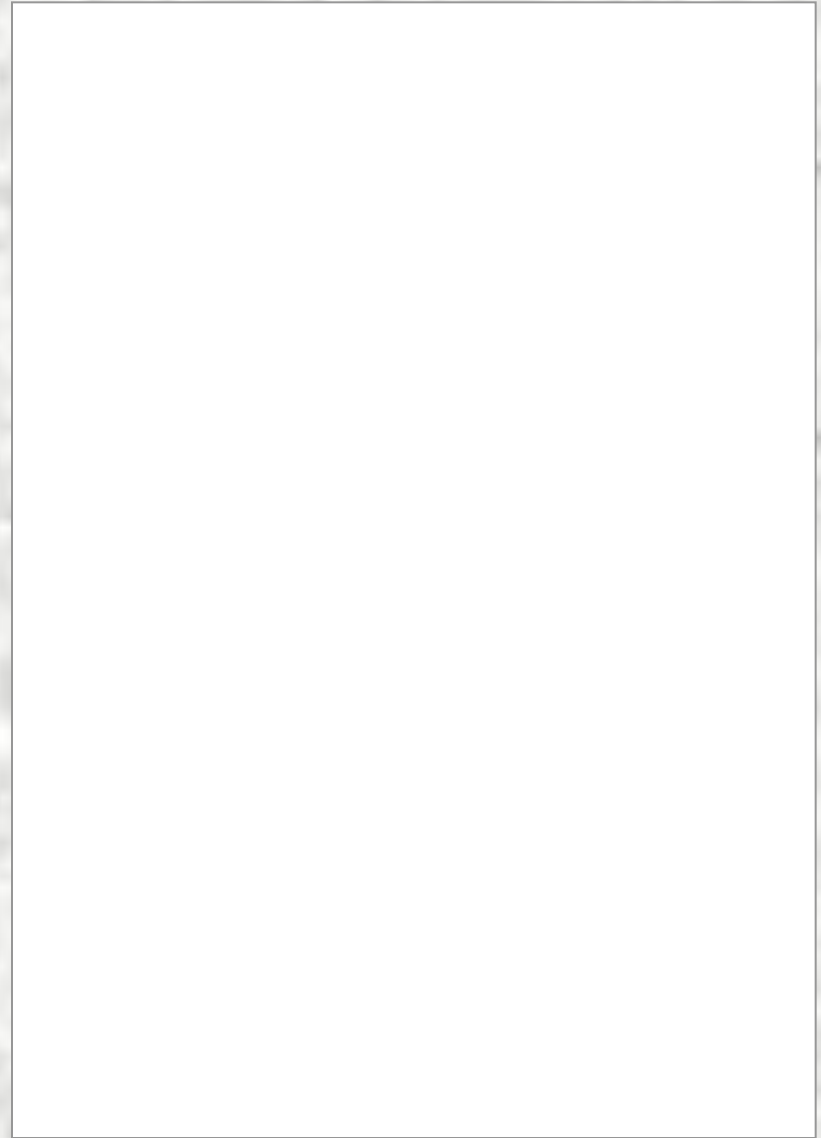
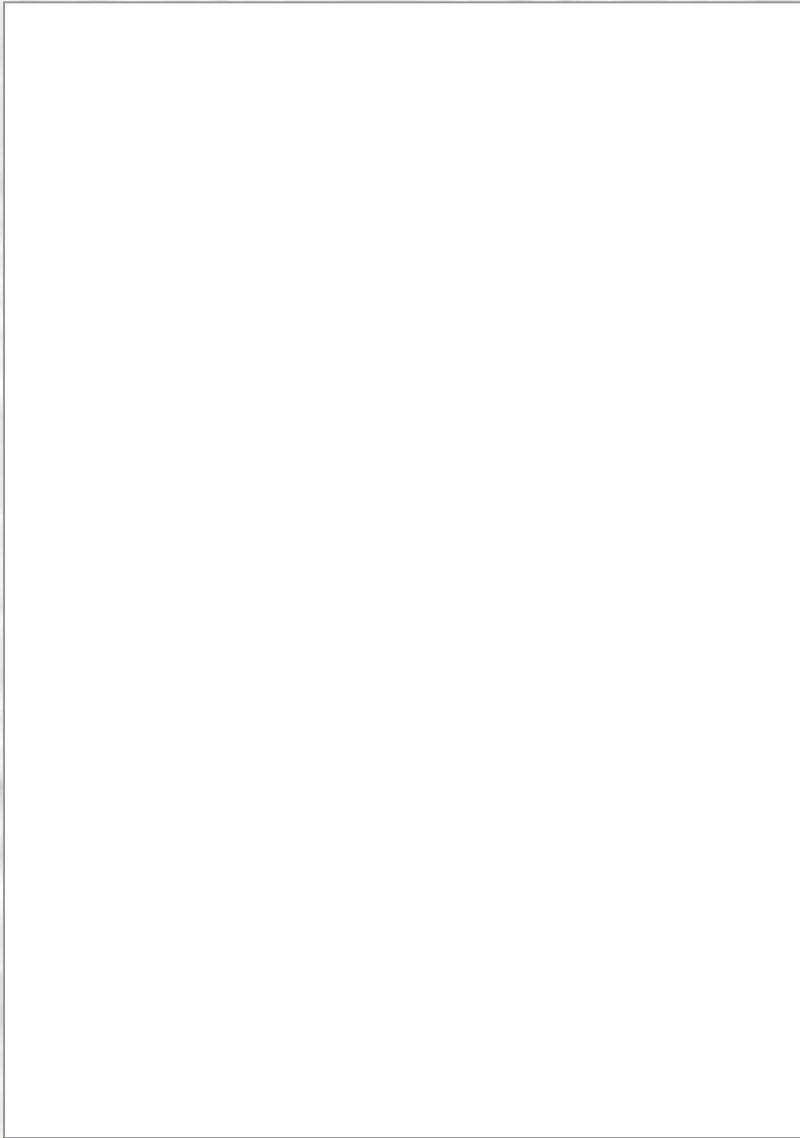
Рис.2. Диада 4-5

Пример оформления раздела по структуре в РПЗ (Word)

Назад

Вперед

Шестизвенный кулисный механизм

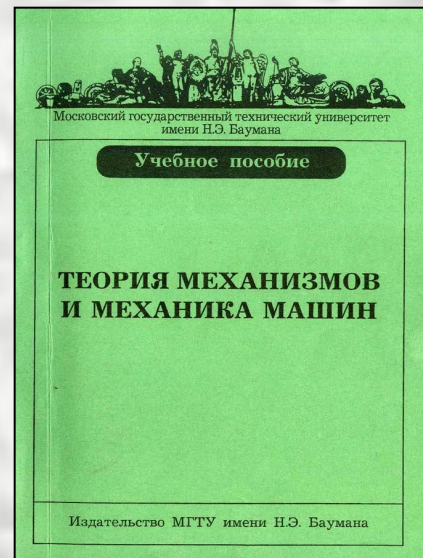
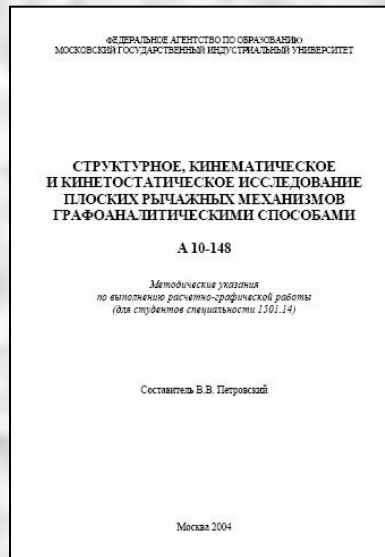
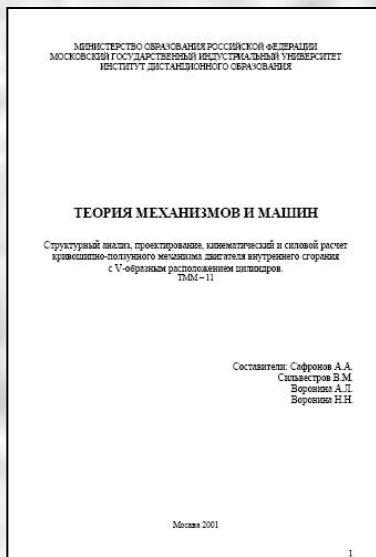


Пример оформления раздела по структуре в РПЗ (Word)

Назад

Вперед

Литература к разделу «Структурный анализ механизма ДВС»



Литература:

1. Теория механизмов и машин, ТММ-11, Методические рекомендации, Сафронов А. А., 2001
2. Структурное, кинематическое и кинетостатическое исследование плоских рычажных механизмов графоаналитическими способами, А10-148, Петровский В.В.
3. Теория механизмов и механика машин: Учеб. пособие / О.О. Барышникова, И.В. Леонов, В.А. Никаноров и др.; под ред. Г.А. Тимофеева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 96с.; ил.