

2. ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

2.1. Структура механизмов

Кинематические пары и их классификация

Звенья – это подвижно соединенные между собой части механизма. Звеном может быть одна или несколько жестко связанных между собой деталей.

Все неподвижные детали образуют одну жесткую неподвижную систему тел, называемую неподвижным звеном или *стойкой*.

Кинематическая пара – это соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение.

Поверхности, линии, точки звена, по которым оно может соприкасаться с другим звеном, образуя кинематическую пару, называют *элементами звена*.

В пространстве твердое тело может иметь шесть независимых движений – три поступательных вдоль осей x , y , z и три вращательных вокруг осей x , y , z .

Число условий связи S звена, входящего в кинематическую пару, не может быть меньше единицы и больше пяти:

$$1 \leq S \leq 5. \quad (2.1)$$

Следовательно, *число степеней свободы H* звена кинематической пары в относительном движении определяется как

$$H = 6 - S. \quad (2.2)$$

Все кинематические пары делят на 5 классов в зависимости от числа условий связи, налагаемых ими на относительное движение их звеньев. Класс кинематической пары равен числу связи S , которое определяется по формуле

$$S = 6 - H. \quad (2.3)$$

Кинематические пары делят на *низшие и высшие*.

Кинематическая пара, которая может быть выполнена соприкосновением элементов ее звеньев только по поверхности, называется *низшей*.

Кинематическая пара, которая может быть выполнена соприкосновением элементов ее звеньев по линии или в точке, называется *высшей*.

Кинематические цепи

Кинематической цепью называется связанная система звеньев, образующая между собой кинематические пары.

Кинематические цепи делят на простые и сложные.

У простой кинематической цепи каждое звено входит не более чем в две кинематические пары (рис. 2.1, а, б).

У сложной кинематической цепи есть хоть одно звено, входящее более чем в две кинематические пары (рис. 2.1, в, г).

Кинематические цепи бывают замкнутыми и незамкнутыми.

У замкнутой кинематической цепи каждое звено входит не менее чем в две кинематические пары (рис. 2.1, б, г).

У незамкнутой кинематической цепи есть звенья, входящие только в одну кинематическую пару (рис. 2.1, а, в).

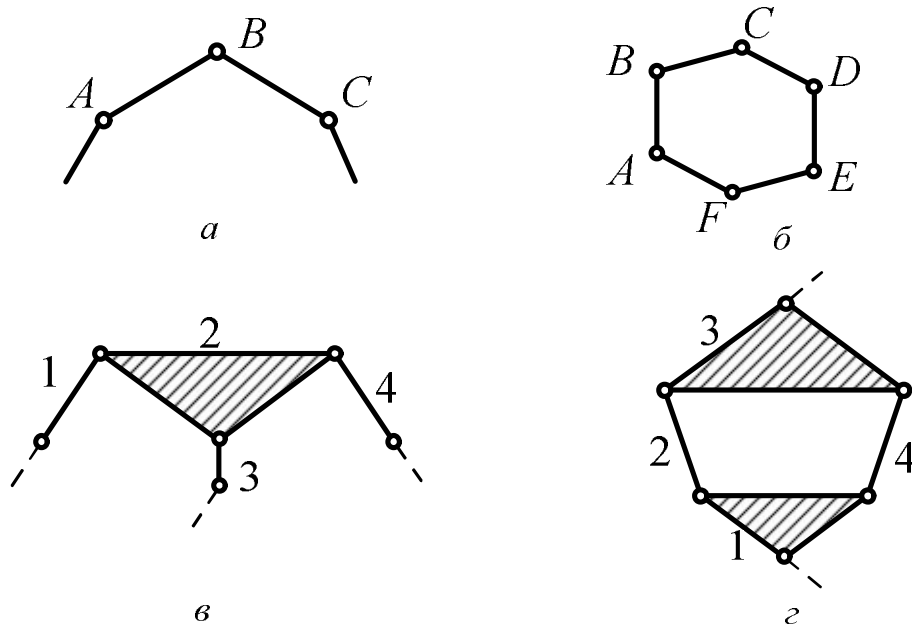


Рис. 2.1

Структурная формула кинематической цепи общего вида

При работе механизма все его звенья, за исключением неподвижного звена (стойки), перемещаются и в каждый момент времени занимают определенные положения. Чтобы определить положение всех звеньев, необходимо знать (задать) положение некоторых звеньев, что зависит от заданных параметров – угла поворота звеньев (угловые координаты) или линейных перемещений звеньев (линейные координаты). Эти координаты называются обобщенными или степенью свободы механизма.

Число степеней свободы W кинематической цепи относительно неподвижного звена (стойки) называется *числом степеней подвижности* или степенью подвижности механизма. Для пространственного механизма степень подвижности определяется по *формуле Сомова – Малышева*

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1, \quad (2.4)$$

где n – число подвижных звеньев механизма, p_5, p_4, p_3, p_2, p_1 – число кинематических пар 5, 4, 3, 2, 1 классов.

Механизм – это кинематическая цепь, у которой при заданных законах движения ведущих звеньев ведомые звенья совершают вполне определенные движения.

Для плоского механизма степень подвижности определяется по формуле Чебышева

$$W = 3n - 2p_5 - p_4. \quad (2.5)$$

Пример. Определить степень подвижности у четырехзвенного пространственного механизма (рис. 2.2).

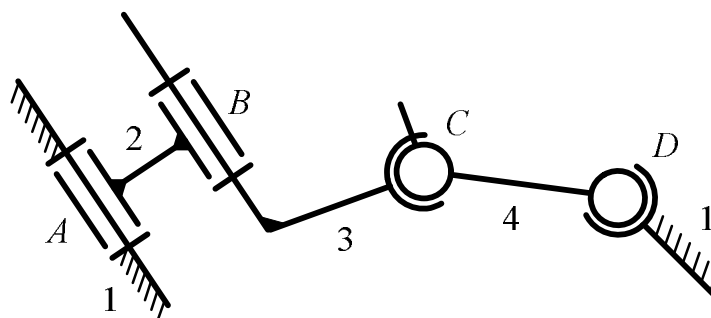


Рис. 2.2

Решение. Число подвижных звеньев механизма $n = 3$.

Число кинематических пар 5-го класса $p_5 = 2$, 4-го класса $p_4 = 1$, 3-го класса $p_3 = 1$.

$$\begin{aligned} W &= 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1 = \\ &= 6 \cdot 3 - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 1 - 3 \cdot 1 = 18 - 10 - 7 = 1. \end{aligned}$$

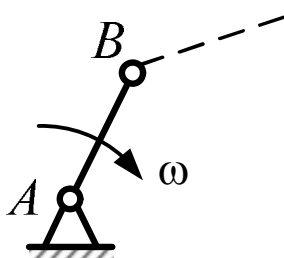
Данный механизм обладает одной степенью подвижности.

Структурная классификация и основной принцип образования механизмов

Одной из самых распространенных классификаций плоских шарнирных механизмов с парами 5-го класса является структурная классификация, предложенная И. И. Артоболовским на основе идей Л. В. Ассура. На основе этой классификации был разработан основной принцип образования механизмов.

Все механизмы объединяют в классы, от первого и выше по структурным признакам.

Механизм I класса состоит из ведущего звена и стойки, соединенных кинематической парой V класса (рис. 2.3).



Механизмы более высоких классов образуются последовательным присоединением к механизму

I класса кинематических цепей, имеющих нулевую степень подвижности.

Кинематическая цепь, обладающая нулевой степенью подвижности $W = 0$, называется *структурной группой Ассура*.

Рис. 2.3 Степень подвижности получаемых механизмов равна числу механизмов I класса (или числу ведущих звеньев), к которым производится присоединение структурных групп.

Структурные группы, в состав которых входят только пары 5-го класса, должны удовлетворять условию

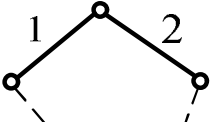
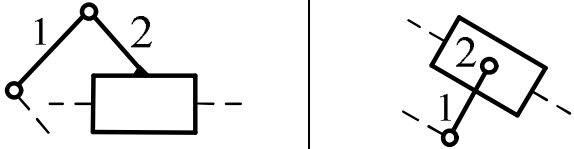
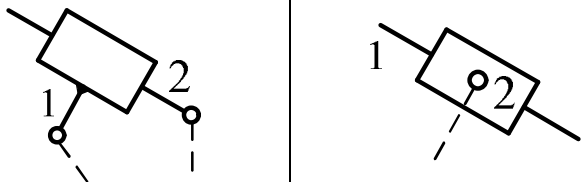
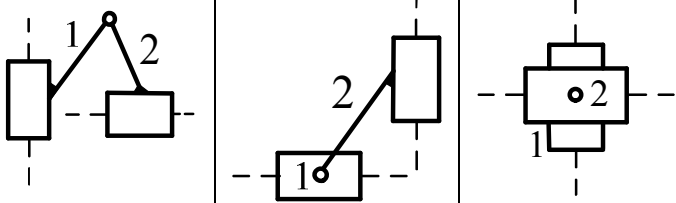
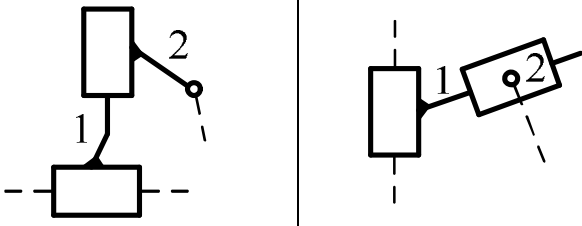
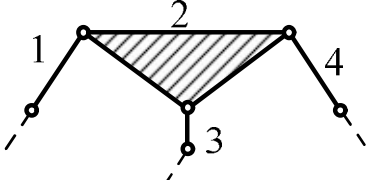
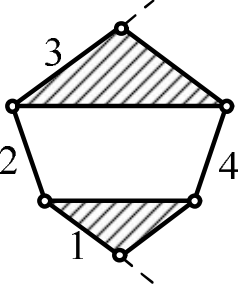
$$W = 3n - 2p_5 = 0, \quad (2.6)$$

отсюда

$$p_5 = \frac{3}{2}n.$$

Основные классы и виды групп приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Класс и вид группы	Схематическое изображение группы	Состав и способ получения группы
II кл. I вид		Имеет два звена и три вращательные пары Двухповодковая
II кл. II вид		
II кл. III вид		Все виды групп II класса, начиная со второго, образуются путем замены отдельных вращательных пар парами поступательными
II кл. IV вид		Заменив все три вращательные пары поступательными нельзя, так как в этом случае группа получает одну степень подвижности и превращается в механизм
II кл. V вид		
III кл.		Образует незамкнутую кинематическую цепь из 4 звеньев и 6 вращательных кинематических пар. Трехповодковая
IV кл.		Образует замкнутую кинематическую цепь из 4 звеньев и 6 кинематических пар. Группы, в состав которых входят четырехсторонние замкнутые контуры, относятся к группам IV класса.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется звеном?
2. Что называется кинематической парой?
3. Что такое число условий связи?
4. Как определить число степеней свободы кинематической пары?
5. Как классифицируются кинематические пары?
6. Что называется кинематической цепью?
7. Назвать виды кинематической цепи.
8. Что называется обобщенными координатами?
9. Как определить число степеней подвижности пространственного механизма?
10. Как определить число степеней подвижности для плоского механизма?
11. Расскажите об основном принципе образования механизма.
12. Что называется структурной группой Ассура?
13. Напишите структурную формулу группы Ассура.
14. Как классифицируются группы Ассура?
15. Объясните физический смысл числовых коэффициентов в структурной формуле. Почему большинство механизмов должно иметь одну степень свободы? Можно ли в механизме с одной степенью свободы изменить положение звеньев, не меняя положения входного звена?