

**ОПД.Ф.02.03 ТЕОРИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ
СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ПО
ЧИСЛУ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ И ИХ СТРОЕНИЮ**

Методические указания к выполнению домашнего задания

В этот раздел входит:

1. Подсчет числа свободы механизма.
2. Определение числа избыточных связей q и их устранение.
3. Структурный анализ механизма.

Рассмотрим механизм, схема которого приведена на рис.1. Пронумеруем звенья, присвоив 1-ый номер входному звену. Признаком входного звена является круговая стрелка, обозначающая направление вращения входного звена с угловой скоростью ω_1 . Последний номер присваивается стойке, в нашем случае это номер 8.

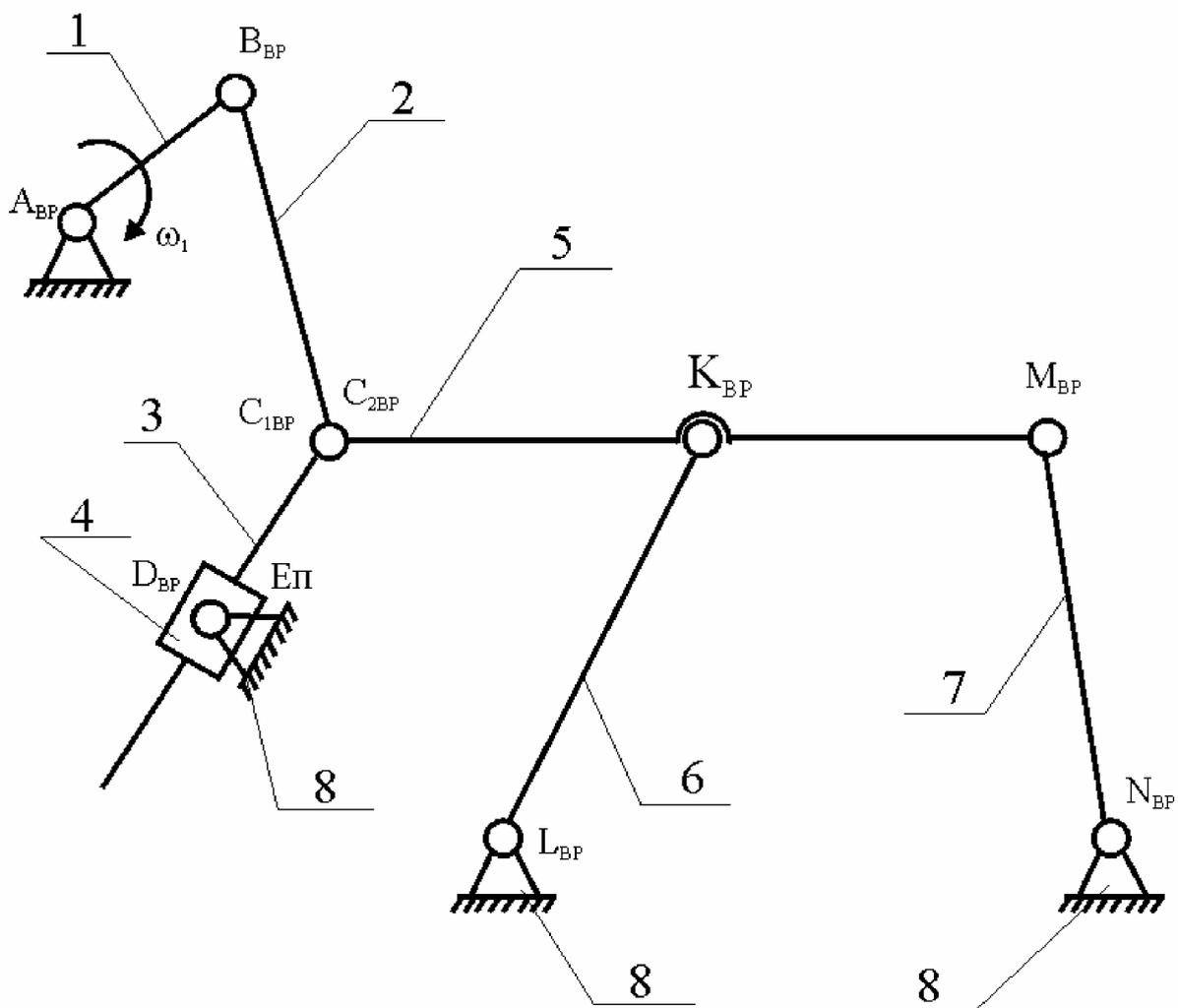
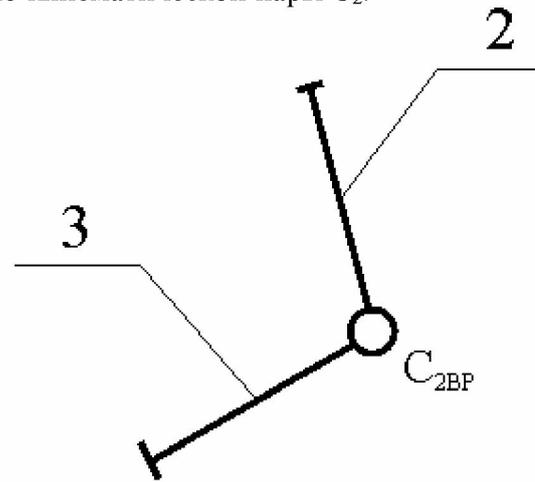
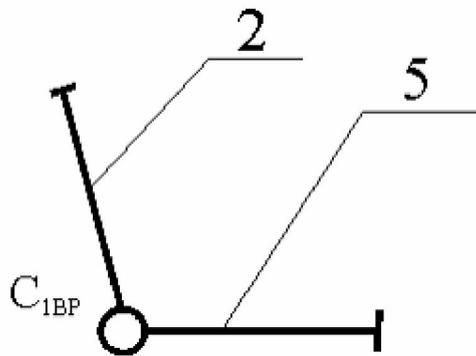


Рис. 1

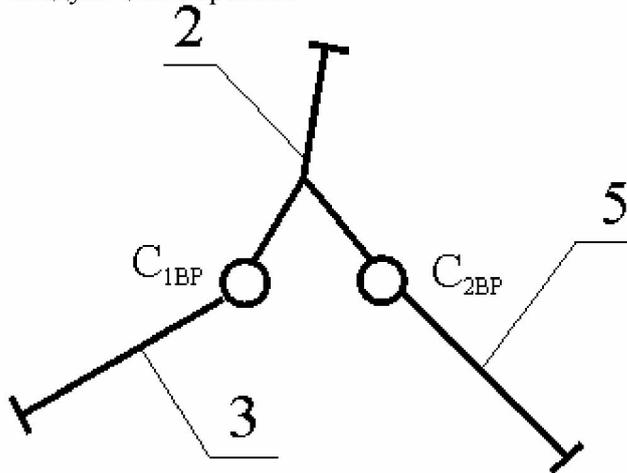
Сколько бы не было изображено на схеме стоек, все они имеют один и тот же номер, так как это одна стойка, конфигурацию которой мы не рассматриваем. Затем обозначают латинскими буквами кинематические пары, добавляя в обозначение вращательная это пара или поступательная.

По определению кинематической пары- кинематическая пара это соединение двух звеньев, допускающее их относительное движение. В узле "С"

мы имеем дело с подвижным соединением трех звеньев: звено 2 соединяется со звеном 5 кинематической парой C_1 , и звено 2 соединяется со звеном 3 с помощью кинематической пары C_2 .



Другими словами, узел "С" конструктивно можно представить следующим образом:



1. Подсчет числа степеней свободы механизма.

Запишем формулу Чебышева П.Л. для плоских механизмов:

$W_{пл} = 3 \cdot n - 2 \cdot p_H - 1 \cdot p_B$ (1), где n - число подвижных звеньев механизма, в нашем случае $n=7$.

p_H - число низших кинематических пар.

Составим таблицу 1, в которой укажем обозначения кинематических пар, звенья их образующие и класс кинематических пар.

| Обозначение кинематической пары | Вид кинематической пары | Звенья, образующие кинематическую пару | Класс кинематической пары | Замена класса кинематической пары (2 варианта) | |
|---------------------------------|-------------------------|--|---------------------------|--|-----|
| A | Вращательная | 1/8 | V | V | V |
| B | Вращательная | 1/2 | V | III | V |
| C ₁ | Вращательная | 2/5 | V | V | III |
| C ₂ | Вращательная | 2/3 | V | V | III |
| D | Вращательная | 4/8 | V | V | IV |
| E | Вращательная | 3/4 | V | III | V |
| K | Вращательная | 5/6 | V | III | V |
| L | Вращательная | 6/8 | V | IV | III |
| M | Вращательная | 5/7 | V | V | V |
| N | Вращательная | 7/8 | V | III | III |

Из таблицы 1 следует, что мы имеем 10 букв, каждая из которых обозначает определенную кинематическую пару. Следовательно, p_1 число низших кинематических пар $p_n=10$.

Высших пар в механизме нет и $p_v=0$. Сделаем подстановку численных величин в формулу 1.

$$W_{пл} = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 - 0 = 1 \quad (2)$$

Назначив предварительно класс каждой кинематической пары V (одноподвижные кинематические пары), подсчитаем число избыточных связей в механизме, применив формулу Сомова-Малышева.

$$W_{np} = 6n - (5p_v + 4p_{IV} + 3p_{III} + 2p_{II} + 1p_I) + q, \quad (3)$$

p_v - количество пар пятого класса (одноподвижных)

p_{IV} - количество пар четвертого класса (двух подвижных)

p_{III} - количество пар третьего класса (трех подвижных)

и так далее.

Сделаем постановку численных величин в формулу 3.

$$W_{пл} = W_{np} = 1, \quad p_v = 10 \quad (\text{см. таблицу 1})$$

$$1 = 6 \cdot 7 - 5 \cdot 10 + q \Rightarrow q = 9$$

Это означает, что необходимо обеспечить девять дополнительных подвижностей в механизме, чтобы механизм собрался без натягов при сборке.

Эти девять дополнительных подвижностей можно получить, назначив класс некоторых кинематических пар другим.

Чтобы не нарушить определенности в задании закона движения входного звена 1, класс кинематической пары A изменять нельзя.

Каждая пара третьего класса (трех подвижная) имеет на две подвижности больше кинематической пары пятого класса (одноподвижной). Следовательно, изменив класс четырех кинематических пар с V на III, мы получим $2 \cdot 4 = 8$ - дополнительных подвижностей. Чтобы получить еще одну дополнительную подвижность, класс одной из кинематических пар пятого класса нужно заменить кинематической парой четвертого класса (двух подвижной). Назначим кинематические пары B, K, E, N парами III класса, а кинематическую пару L, парой IV класса.

(Можно было бы назначить парами третьего класса и пары C1, C2, L, N, а парой четвертого класса, например D).

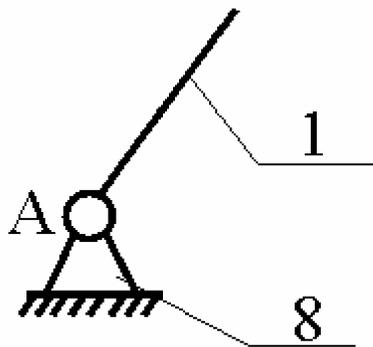
Вернемся к формуле (3) и подсчитаем число избыточных связей q , после замены класса некоторых кинематических пар.

$$1 = 6 \cdot 7 - (5 \cdot 5 + 4 \cdot 1 + 3 \cdot 4) + q \Rightarrow q = 0.$$

Таким образом, избыточные связи устранены.

2. Структурный анализ механизмов по Ассурю.

По Ассурю любой механизм состоит из первичного механизма и структурных групп Ассура. Первичный механизм состоит из первичного звена и стойки. В нашем случае первичный механизм состоит из звеньев 1 и 8.



Число первичных механизмов зависит от числа свободы механизма. Если $W=1$, то будет один первичный механизм, если $W=2$, то будет два первичных механизма и т.д.

К первичному механизму последовательно присоединяют структурные группы, каждая из которых имеет собственное число степеней свободы равное нулю, чтобы не изменить W всего механизма. Следовательно, формулу (1) Чебышева для структурной группы можно записать в виде:

$$W_{гp} = 3 \cdot n_{гp} - 2 \cdot p_{нep} \equiv 0 \quad (4)$$

Здесь $n_{гp}$ - число подвижных звеньев в структурной группе, $p_{нep}$ - число низших кинематических пар в структурной группе.

Из формулы (4) следует, что число звеньев в структурной группе:

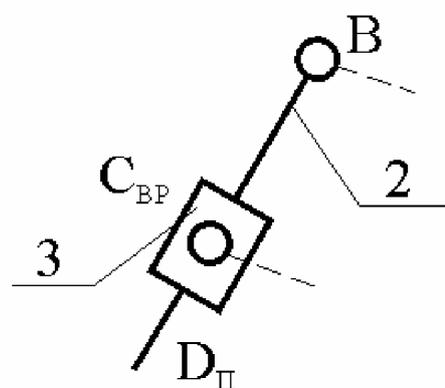
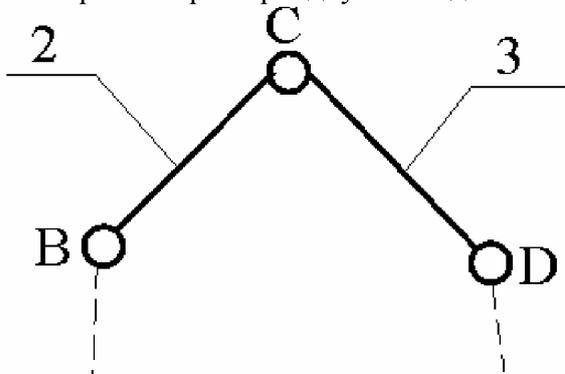
$$n_{гp} = \frac{2}{3} \cdot p_{нep} \quad (5)$$

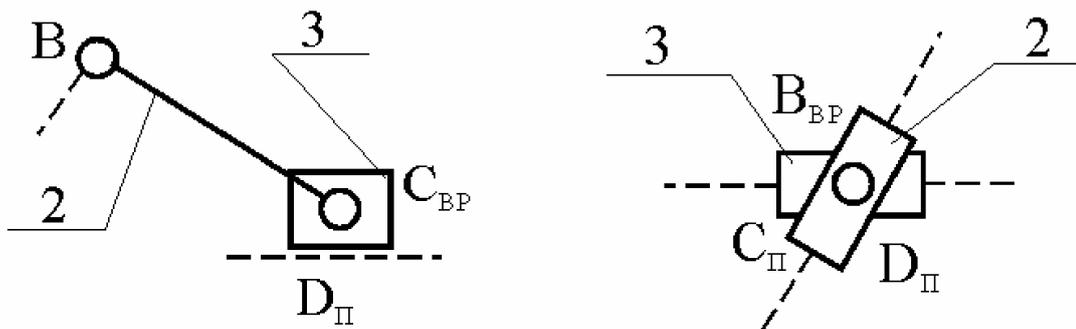
Так как число звеньев в структурной группе Ассура должно быть только целым числом, то число низших кинематических пар структурной группы должно быть кратно трем. Отсюда получают следующие виды структурных групп Ассура:

1. Двухповодковая группа Ассура.

$$p_{нep} = 3, \Rightarrow n_{гp} = 2$$

Изобразим примеры двух поводковых групп:





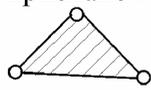
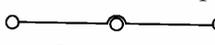
(два звена $n_{зп} = 3$ и три кинематические пары В, С, D т.е. $p_{нзп} = 3$)

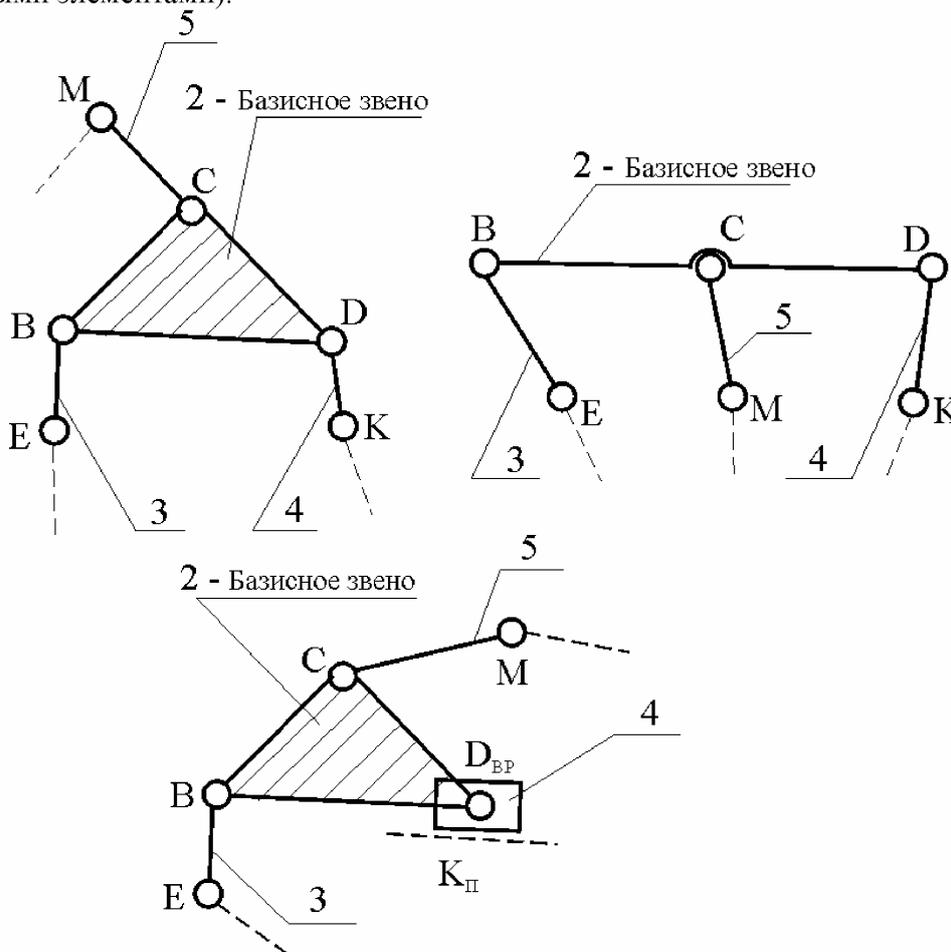
Пунктиром обозначены кинематические пары (называемые свободный элемент звена), которыми группа может присоединяться к другим группам или звеньям.

2. Трех поводковая группа Ассура.

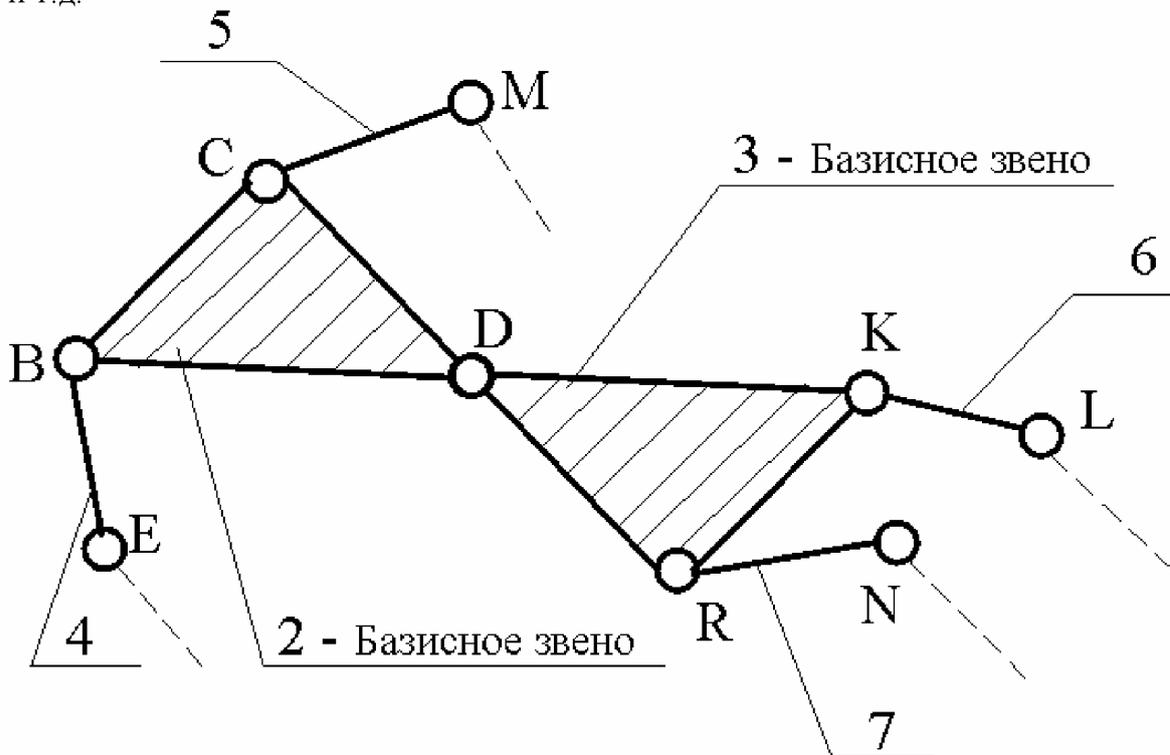
$p_{нзп} = 6, \Rightarrow n_{зп} = 4$ (по формуле 5)

Изобразим примеры трех поводковых групп. Первым признаком трех

поводковой группы является базисное звено (звено вида  или , к которому присоединяются три поводка (три звена со свободными элементами).



Четырех поводковая группа Ассура образуется путем присоединения к трех поводковой группе еще одного базисного звена. Добавив к четырех поводковой группе еще одно базисное звено, получим пяти поводковую группу и т.д.



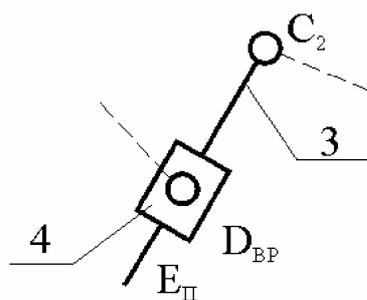
Произведем структурный анализ механизма, изображенного на рис. 1.

Оценим все возможные варианты наличия двух и трех поводковых групп Ассура.

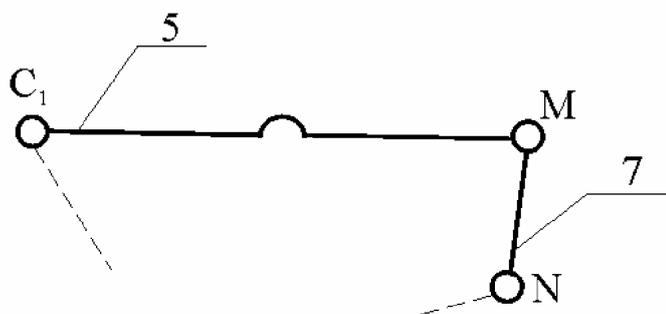
Итак, наш механизм имеет число степеней свободы $W=1$. Следовательно мы имеем один первичный механизм, состоящий из входного звена 1 и стойки 8. Всего звеньев, включая стойку восемь. Два звена- стойка и звено 1 образуют первичный механизм. Следовательно, на образование структурных групп остается $8 - 2 = 6$ звеньев. «8»- общее число звеньев включая стойку, «2»- число звеньев входящих в первичный механизм.

Из шести звеньев можно составить три двухпроводковые группы (каждая трех поводковая группа имеет 2 звена- см. выше), или одну трех поводковую группу Ассура (четыре звена) и одну двух поводковую (два звена).

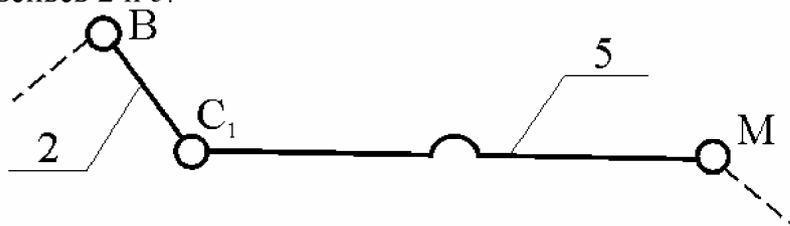
Мысленно начнем отсоединять от механизма самые простые – двух поводковые группы. Так, чтобы оставшийся механизм мог бы быть работоспособным, то есть к оставшимся звеньям движение от входного звена могло бы передаваться и дальше. Отсоединим мысленно звено 3 и звено 4, которые образуют двух поводковую группу (2 звена и 3 кинематические пары). Шарниры C_2 и $D_{вр}$ стали свободны (не присоединены к другим звеньям) и около них поставлен пунктир - свободный элемент звена.



Остались звенья 2, 5, 6, 7. Если создать двух поводковую группу из звеньев 5 и 7,

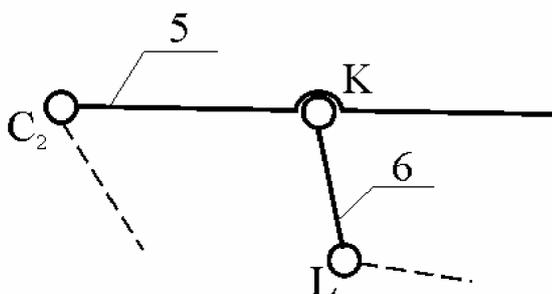


то не будет передаваться движение на звено 6 и механизм будет не работоспособным. Такие же выводы следуют, если двух поводковую группу создать из звеньев 2 и 5.

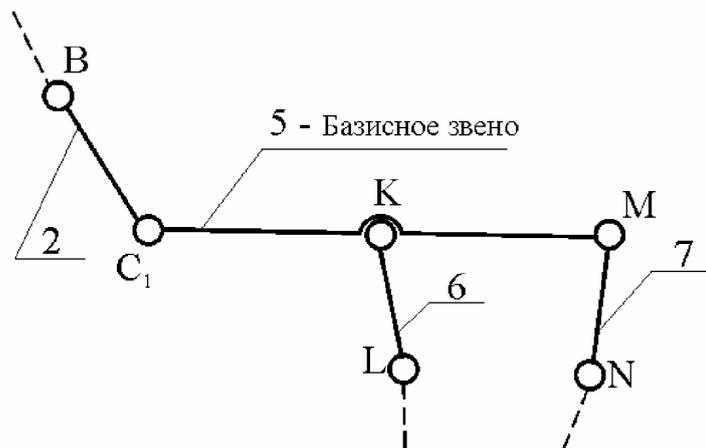


(Тогда не будет передаваться движение на звенья 6 и 7).

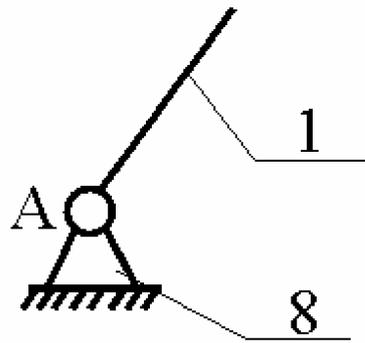
Или же из звеньев 5 и 6 (не передается движение на звено 7 и болтается звено 2)



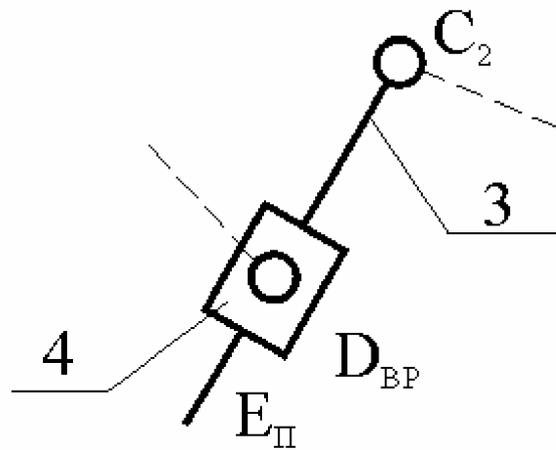
Остается только один вариант - звенья 2, 5, 6, 7 – образуют трех поводковую группу Ассур, где звено 5- является базисным звеном.



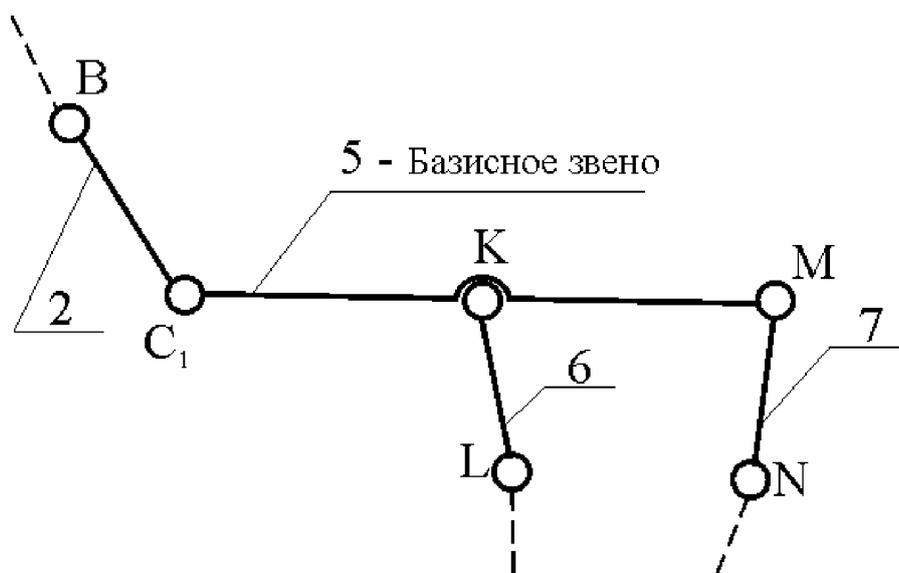
И остался первичный механизм- звено 1 и 8. Таким образом механизм состоит из:



первичный механизм



Двух поводковая группа Ассура



Трех поводковая группа Ассура