

## О СТРУКТУРНОМ СИНТЕЗЕ МЕХАНИЗМОВ

Структурный синтез – это первый шаг в создании конструкции механизма. В процессе синтеза формируется его структура, обеспечивающая требуемое число подвижностей, замкнутых контуров, отсутствие избыточных связей, минимум числа звеньев. Основные этапы структурного синтеза: формирование и выбор структурных схем; выбор классов кинематических пар; определение номенклатуры звеньев механизма.

Для различных видов механизмов формирование структурных схем осуществляется разными способами. Например, для плоских рычажных механизмов [1] используется непосредственный синтез на базе математической модели; кинематические цепи Грюблера; формирование механизмов из стойки, входного звена и групп Ассура. Метод синтеза, при котором сразу определяются и классы кинематических пар, приведен в [2].

Если в процессе выполнения первого этапа классы кинематических пар не определены, то эта задача решается на следующем этапе структурного синтеза после выбора варианта механизма, удовлетворяющего требованиям технического задания (ТЗ). На этом этапе определяются классы и виды кинематических пар механизма. Основным критерий – исключение избыточных связей. Для механизмов, в которых используются только кинематические пары 3, 4 и 5-го класса, можно предложить простое соотношение, облегчающее конструктору выбор классов кинематических пар кинематических групп Ассура. Кинематическая группа не вносит избыточных связей при присоединении к механизму, если для нее выполняется соотношение:

$$p_5 + w_m = p_3, \quad (1)$$

где  $p_3$  и  $p_5$  – число кинематических пар третьего и пятого класса группы Ассура;  $w_m$  – число местных подвижностей ее звеньев. Соотношение (1) будет выполняться и в том случае, когда все кинематические пары являются парами четвертого класса, а местные подвижности звеньев отсутствуют.

Зависимость (1) позволяет правильно сориентироваться при выборе классов кинематических пар, проверку структурных свойств полученного механизма можно провести, используя матричный метод, приведенный в [3].

При определении номенклатуры звеньев, обусловленной их соединениями, необходимо стремиться к уменьшению разнообразия звеньев, вызванного различными исполнениями их узлов сопряжения. На рис. 1, а показаны две одинаковые по своим свойствам кинематические цепи с идентичными поступательными кинематическими парами (Р), отличающиеся только номенклатурой звеньев. Звенья, имеющие разные исполнения, обозначены на рис. 1 цифрами I, II, III. В одном случае (правый вариант) используются три одинаковых звена (звено I), в другом, – все три звена различны. Различие между звеньями вызвано различием исполнений узлов сопряжения. Поверхности, образующие узел сопряжения 1 (см. рис. 1, б), являются охватывающими, поверхности другого узла (см. 2 на рис. 1, б) – охватываемые. Каждое из звеньев правой конструкции содержит один и тот же набор узлов сопряжения. Звенья левой кинематической цепи содержат три разных набора узлов сопряжения, что и привело к увеличению номенклатуры (рис. 1, б).

Таким образом, на разнообразие звеньев механизма существенное влияние оказывает выбор исполнений узлов сопряжения. Рациональное распределение вариантов исполнений узлов по звеньям позволит уменьшить их номенклатуру.

В качестве примера рассмотрим процесс определения номенклатуры звеньев рычажного механизма, кинематическая схема которого показана на рис. 2. Вершины, соответствующие узлам сопряжения, образующим кинематическую пару, соединены ребром.

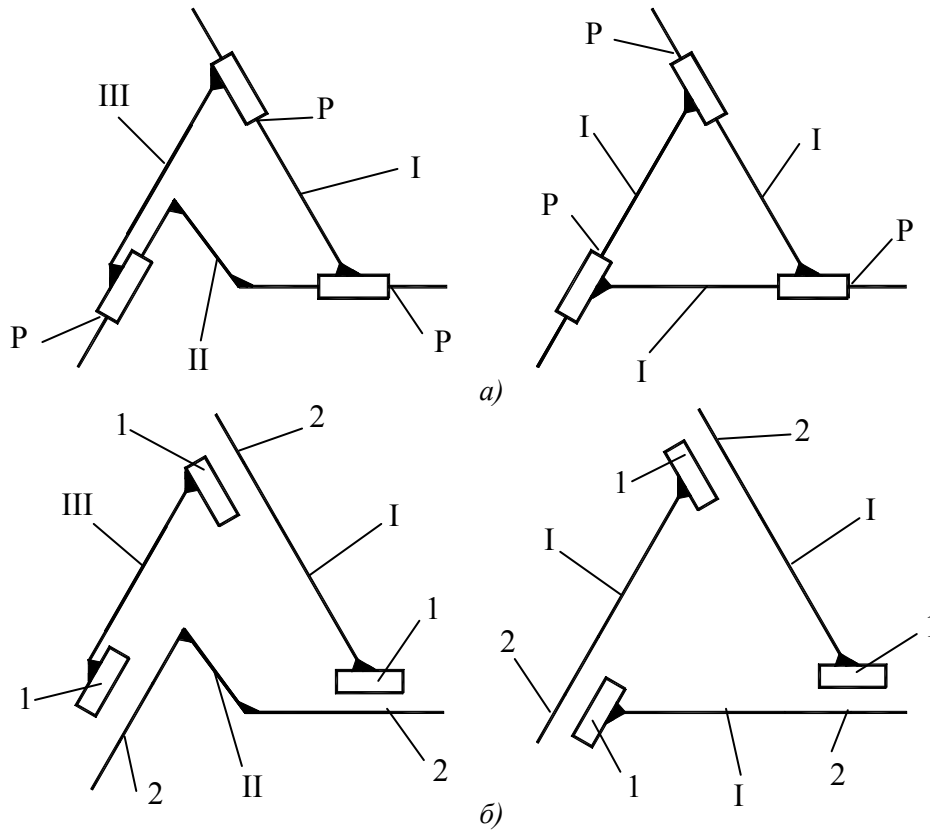


Рис. 1. Одинаковые по свойствам кинематические цепи, имеющие разную номенклатуру звеньев: а – кинематические схемы; б – номенклатура звеньев

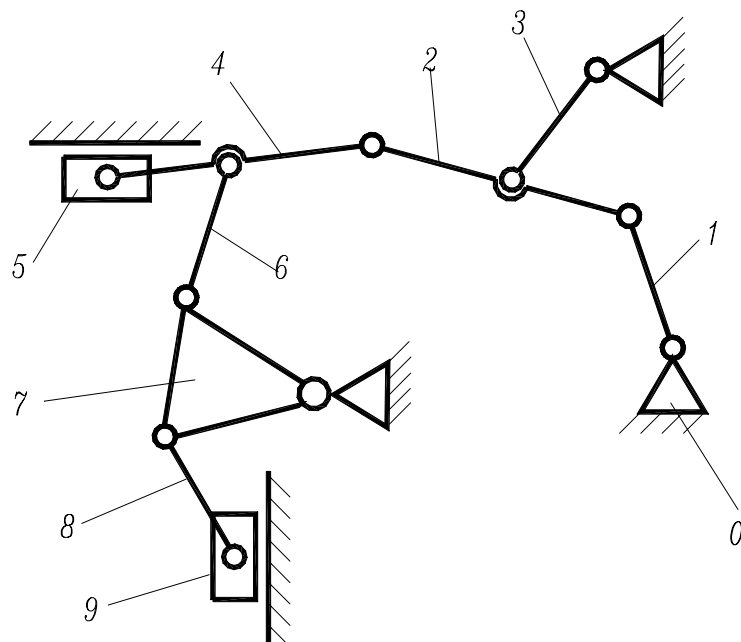


Рис. 2. Кинематическая схема проектируемого рычажного механизма и основные классы его звеньев: 0 – стойка; 1- входное звено; 2, 4, 7 – двухплечие рычаги; 3, 6, 8 – одноплечие рычаги; 5, 9 – ползуны

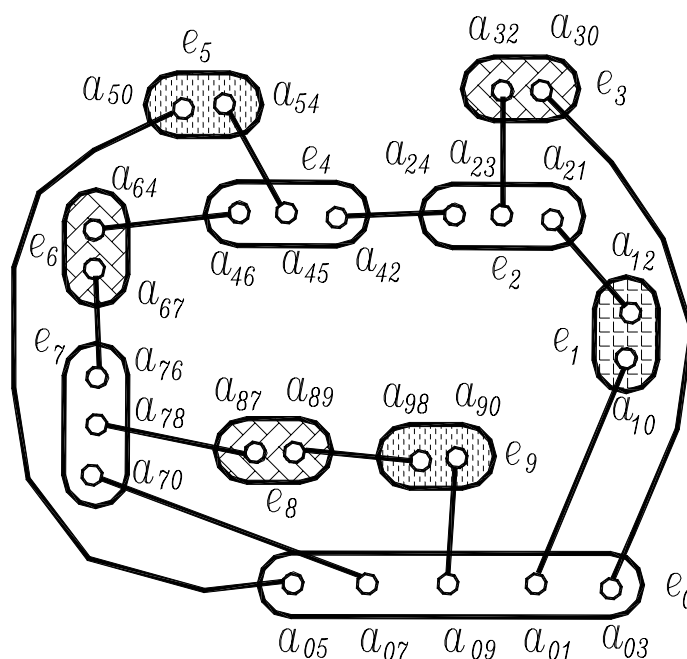


Рис. 3. Структурная схема проектируемого рычажного механизма

Обозначения, используемые на рис. 3:  $e_i$  -  $i$ -ое звено,  $a_{ij}$  - узел сопряжения  $i$ -го звена, используемый для соединения с  $j$ -ым звеном. В свою очередь, узел  $a_{ji}$   $j$ -го звена используется для соединения с узлом  $a_{ij}$   $i$ -го звена. Модели звеньев, которые желательно унифицировать по исполнениям узлов сопряжения, выделены на рисунке одинаковой штриховкой.

В качестве идентификаторов возможных исполнений узлов сопряжения звеньев используются цифры, которые являются номерами исполнений узлов [4]. Для обозначения соединяемых узлов можно использовать цифры, отличающиеся только знаком. Если считать буквенное обозначение узла неизвестной, а номера исполнений узлов (с учетом знаков) - множеством значений этих неизвестных, то условие возможности соединения двух узлов в механизме может быть выражено алгебраическим уравнением, содержащим два слагаемых, сумма которых равна нулю. Эти уравнения, отражающие соединения узлов сопряжения звеньев проектируемого механизма, имеют вид:

$$a_{23} + a_{32} = 0; a_{24} + a_{42} = 0; a_{45} + a_{54} = 0; a_{46} + a_{64} = 0; a_{67} + a_{76} = 0;$$

$$a_{78} + a_{87} = 0; a_{89} + a_{98} = 0; a_{90} + a_{09} = 0; a_{30} + a_{03} = 0; a_{70} + a_{07} = 0; a_{50} + a_{05} = 0.$$

Каждому ребру графа по рис. 3 соответствует уравнение данного вида. В уравнениях соединений узлов не учитываются соединения, образованные входным звеном  $e_1$  со стойкой  $e_0$  и звеном  $e_2$ .

Уравнения, унифицирующие узлы сопряжения звеньев механизма:

1. Унификация узлов ползунов  $e_5$  и  $e_9$ :

$$a_{90} - a_{50} = 0; a_{54} - a_{98} = 0.$$

2. Полная унификация узлов одноплечих рычагов  $e_3$ ,  $e_6$  и  $e_8$  (все узлы сопряжения должны быть одинаковы):

$$a_{30} - a_{67} = 0; a_{32} - a_{64} = 0; a_{30} - a_{32} = 0; a_{67} - a_{89} = 0; a_{64} - a_{87} = 0.$$

3. Унификация узлов двухплечих рычагов  $e_2$ ,  $e_4$  и  $e_7$ :

$$a_{23} - a_{46} = 0; a_{21} - a_{42} = 0; a_{24} - a_{45} = 0; a_{46} - a_{76} = 0; a_{42} - a_{78} = 0;$$

$$a_{45} - a_{70} = 0.$$

В результате решения системы уравнений с помощью программы «Эврика» (версия 3.1) получена следующая совокупность значений переменных, соответствующих узлам сопряжения звеньев механизма:

$$a_{03} = 1,05; a_{05} = 0,97; a_{07} = 1,05; a_{09} = 0,97; a_{21} = 1,05; a_{23} = 1,05;$$

$$a_{24} = -1,05; a_{30} = -1,05; a_{32} = -1,05; a_{42} = 1,05; a_{45} = -1,05;$$

$$a_{46} = 1,05; a_{50} = -0,97; a_{54} = 1,05; a_{64} = -1,05; a_{67} = -1,05; a_{70} = -1,05; a_{76} = 1,05;$$

$$a_{78} = 1,05; a_{87} = -1,05; a_{89} = -1,05; a_{90} = -0,97; a_{98} = 1,05.$$

Будем считать, что числу 1,05 соответствует исполнение узла сопряжения «2» вращательной кинематической пары, а числу -1,05 – исполнение «-2» (рис. 4, а). Числу 0,97 соответствует исполнение узла сопряжения «1» поступательной кинематической пары, а числу -0,97 – исполнение «-1». Результаты такой интерпретации полученных данных приведены в таблице исполнений узлов сопряжения звеньев.

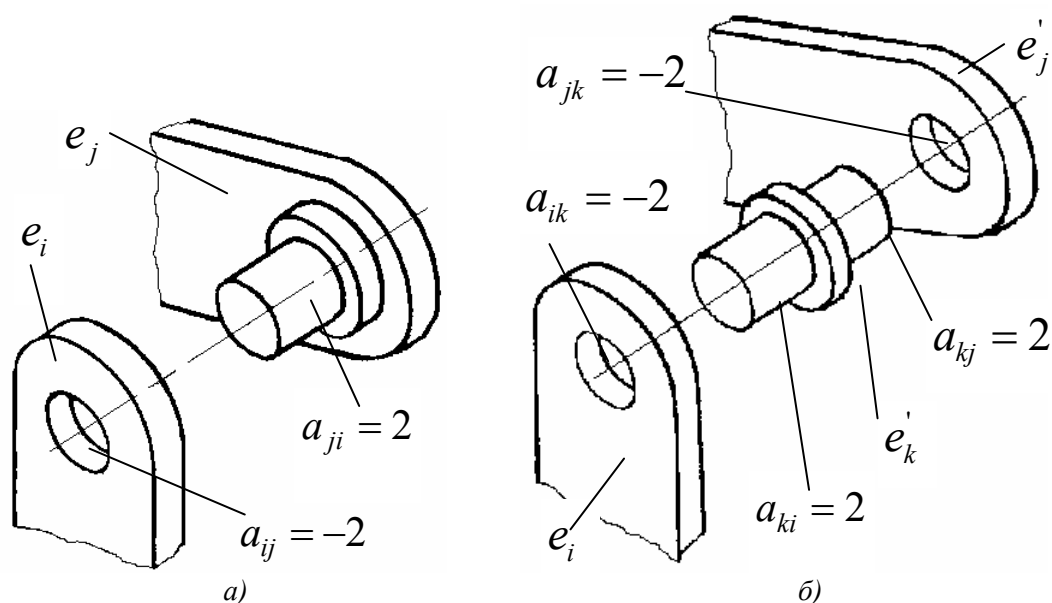


Рис. 4. Исполнения узлов сопряжения, образующих вращательные кинематические пары, и их обозначения: а) исполнения узлов, полученные в результате расчета; б) исполнения узлов сопряжения в случае применения дополнительного звена

Из таблицы видно, что, исходя из исполнений узлов сопряжения, ползуны, двухплечие и одноплечие рычаги имеют по одной модификации. Таким образом, механизм может быть построен за счет использования звеньев пяти наименований, включая входное звено и стойку. Возможные модификации одноплечих и двухплечих рычагов связаны с различными расстояниями между их узлами.

Таблица исполнений узлов сопряжения звеньев механизма

Стойка $e_0$		Входное звено $e_1$	
$a_{01} = -a_{10}$ $a_{03} = 2$ $a_{05} = 1$ $a_{07} = 2$ $a_{09} = 1$		$a_{10} = -a_{01}$ $a_{12} = -a_{21} = -2$	
Одноплечие рычаги			
$e_3$	$e_6$	$e_8$	
$a_{30} = -2$	$a_{64} = -2$	$a_{87} = -2$	
$a_{32} = -2$	$a_{67} = -2$	$a_{89} = -2$	
Двухплечие рычаги			
$e_2$	$e_4$	$e_7$	
$a_{21} = 2$	$a_{42} = 2$	$a_{70} = -2$	
$a_{23} = 2$	$a_{45} = -2$	$a_{76} = 2$	
$a_{24} = -2$	$a_{46} = 2$	$a_{78} = 2$	
Ползуны			
$e_5$		$e_9$	
$a_{50} = -1$		$a_{90} = -1$	
$a_{54} = 2$		$a_{98} = 2$	

Если в каждую вращательную кинематическую пару механизма ввести дополнительное звено, обозначенное на рис. 4, б как  $e'_k$ , то все узлы основных звеньев, образующие вращательные кинематические пары, будут иметь исполнение  $-2$ . Примеры показаны на рис. 4, б.

### Выводы

Структурный синтез механизма содержит три этапа: формирование и выбор структуры механизма, определение классов кинематических пар, определение номенклатуры звеньев.

Структурные модели, учитывающие узлы сопряжения, можно использовать для формализации первого и третьего этапов структурного синтеза.

Рациональное распределение исполнений узлов сопряжения по звеньям позволяет уменьшить их номенклатуру. Решение задачи определения номенклатуры звеньев может быть сведено к составлению и решению системы алгебраических уравнений, отражающих соединения составных частей, требования к исполнениям их узлов сопряжения и унификации узлов и звеньев.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пейсах Э.Е.** О структурном синтезе рычажных механизмов. // Теория механизмов и машин, 2005, №1(3), С. 77-80.
2. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов / **К.В.Фролов, С.А.Попов, А.К.Мусатов** и др.; Под ред. К.В.Фролова. – М.: Высш. шк., 1987. – 486 с.
3. **Третьяков В.М.** Матричный метод определения избыточных связей и подвижностей в механизмах // Известия вузов. Машиностроение. – 1996. - №10-12. С.3-8.
4. **Третьяков В.М.** Основы проектирования семейства изделий // Приложение. Справочник. Инженерный журнал. - 2004. - №6. – 24 с.