УДК 621.01

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ И МАНЕВРЕННОСТИ МАНИПУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

©Изюмская Л. Ф., Подоляк О. С.

Украинская инженерно-педагогическая академия

Рассмотренные незамкнутые и замкнутые пространственные кинематические цепи манипуляторов. Показана необходимость расчленения сложной кинематической цепи на простые. Описан способ определения степени подвижности и маневренности манипулятора в соответствии с номером семейства, к которому относится та или иная составная простая цепь.

Ключевые слова: манипулятор, кинематические цепи, степень подвижности.

Ізюмська Л. Ф., Подоляк О. С. «Визначення ступені вільності і маневреності маніпулюванної системи».

Розглянуті незамкнуті і замкнуті просторові кінематичні ланцюги маніпуляторів. Показана необхідність розчленування складного кінематичного ланцюга на прості. Описаний спосіб визначення ступенів вільності і маневреності маніпулятора у відповідності з номером сімейства до якого відноситься той чи інший складний простий ланцюг.

Ключові слова: маніпулятор, кінематичні ланцюги, ступінь вільності.

Izumskaja L. F., Podoliak O. S. “Estimation of the degree of motion and maneuverability of manipulator system”.

Considered unconfined and confined spatial kinematic chain manipulators. The necessity of partition complex to simple kinematic chain. Discloses a method for determining the mobility and maneuverability of the robot arm in accordance with the number of the family, to which one or the other component is a simple chain.

Key words: manipulator, kinematic chains, degree of freedom.

1. Введение

Манипуляторы представляют собой, как правило, незамкнутые пространственные кинематические цепи. По терминологии И. И. Артоболевского, они могут быть отнесены к простым цепям, если каждое звено входит не более чем в две кинематические пары, или к сложным, если имеется хотя бы одно звено, входящее более чем в две кинематические пары [1]. Применяются и манипуляторы с замкнутыми кинематическими цепями, в которых нет звеньев, принадлежащих лишь к одной кинематической паре [2]. Из числа структурных формул, с помощью которых анализируют структуру пространственных кинематических цепей [3], наиболее удобна обобщенная формула В. В. Добровольского

$$W - (6-m)n - \sum_{\kappa=m+1}^{5}(k-m)p_k, \quad (1)$$

где w – степень подвижности кинематической цепи; m – число общих связей, определяющих семейство механизма, оно может быть равным 0, 1, 2, 3, 4; k – класс кинематической пары; p_k – число кинематических пар класса k.

В. В. Добровольский ввел в правую часть выражения (1) также добавочное слагаемое s – число индивидуальных или пассивных связей, обусловленных структурой конкретного механизма. Далее полагаем, что $s = 0$.

2. Основная часть

Проанализируем особенности применения формулы (1) для определения степени подвижности и маневренности манипуляционной системы. Рассмотрим сначала незамкнутые простые пространственные цепи. Одна из таких цепей показана на (рис. 1,а).

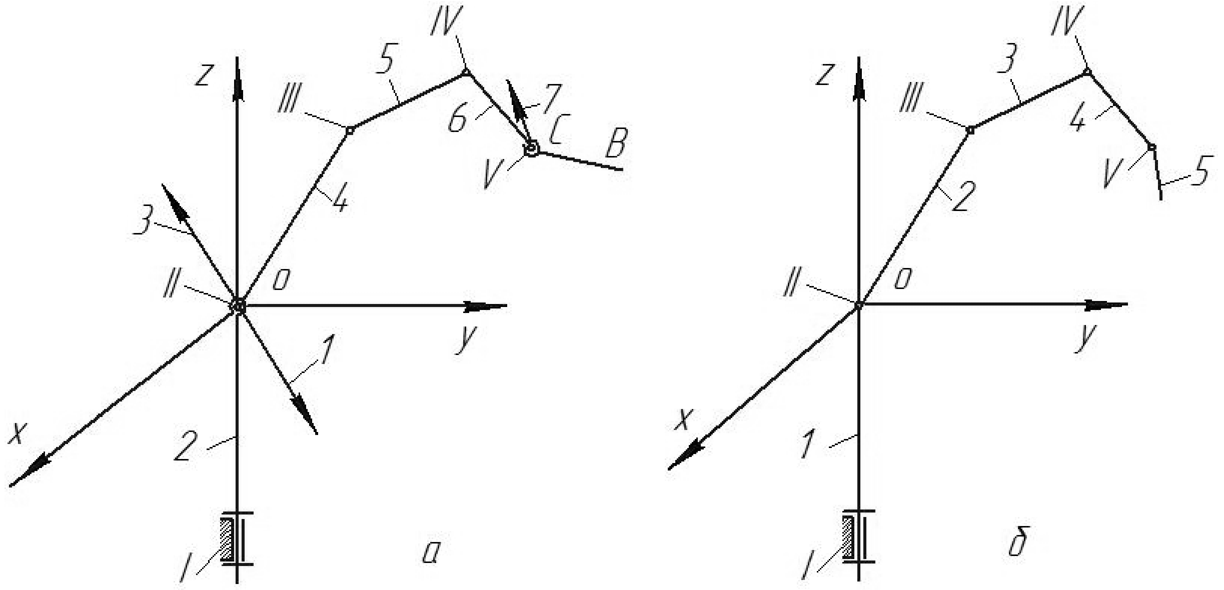

Рис. 1 – Пространственные цепи

Эта цепь содержит две кинематические пары (II,V) третьего класса и три пары (I, III, IV) пятого класса, оси пар III, IV параллельны между собой. Характерная особенность цепи этого вида заключается в том, что количество подвижных звеньев равно числу кинематических пар. Тогда формула (1) примет такой вид

$$W = 6n - \sum_{k=m+1}^{5} kp_k - m\left(\sum_{k=m+1}^{5} p_k - n\right). \tag{2}$$

Так как $\sum_{k=m+1}^{5} p_k = n,\ k > m$, справедливо равенство

$$W = 6n - \sum_{k=1}^{5} kp_k, \tag{3}$$

т. е. степень подвижности не зависит от числа m. Заметим, что выражение (3) представляет собой структурную формулу Сомова-Малышева для механизмов нулевого семейства.

Следовательно, для простой незамкнутой кинематической цепи, независимо от того, к какому семейству m она относится, степень подвижности может быть определена по формуле (1) при любом m. В нашем примере $n = 5, p_3 = 2,\ \ p_5 - 3$, тогда $W = 6 \cdot 5 - 3 \cdot 2 - 5 \cdot 3 = 9$.

Находя маневренность манипулятора, вычисляют степень подвижности кинематической цепи в предположении, что звено, несущее рабочий орган манипулятора, неподвижно. Количество подвижных звеньев уменьшается на единицу, а степень подвижности манипулятора снижается на 6 - m. Поэтому для определения маневренности необходимо знать, чему равно *m* для данной системы. Число общих связей кинематической цепи может быть установлено путем анализа возможных перемещений звеньев, допускаемых каждой из кинематических пар в некотором положении механизма (независимо от того, реализуется перемещение или нет).

Применяя формулу (3) к (рис. 1, а) при условии, что звено 8 неподвижно, записываем $M = 6 \cdot 4 - 3 \cdot 2 - 5 \cdot 2 = 8$, где *M* – маневренность манипулятора. Кинематическая цепь, изображенная на (рис. 1, б) имеет пять подвижных звеньев, образующих пять кинематических пар пятого класса. Оси вращательных пар II, III, IV, V параллельны между собой. Расположим систему координат так, чтобы плоскость *y z* совпала с плоскостью звеньев *2, 3, 4, 5*. Тогда найдем, что для любого звена $\delta\theta_y = 0$ и, следовательно, $m = 2$. По формуле (3) при $n = 4$, $p_5 = 5$ получим $M = (6-2) \cdot 4 - (5-2) \cdot 5 = 1$,в то время как по формуле Сомова – Малышева $M = -1$. Действительная степень подвижности этой цепи при неподвижном звене 5 равна единице.

Рассмотрим сложную пространственную кинематическую цепь (рис.2*)*. Она содержит семь подвижных звеньев и стойку О, образующих восемь кинематических пар пятого класса. Кинематические пары II – VIII имеют оси вращения, параллельные между собой. Звенья 3, 4, 5, 6, 7 образуют замкнутый контур. Эта цепь, как и показанная на (рис.1,*б*) относится ко второму семейству. Степень ее подвижности, что можно установить непосредственно по рисунку, *W* = 5, а маневренность *M* = 1. Определяя же *W* по формуле (1) при $m = 2$, $n = 7$, $p_5 = 8$, имеем $W = (6-2) \cdot 7 - (6-2) \cdot 8 = 4$, а вычисляя маневренность при $n = 6$, $p_5 = 8$, находим $M = (6-2) \cdot 6 - (5-2) \cdot 8 = 0$, что не соответствует действительности.

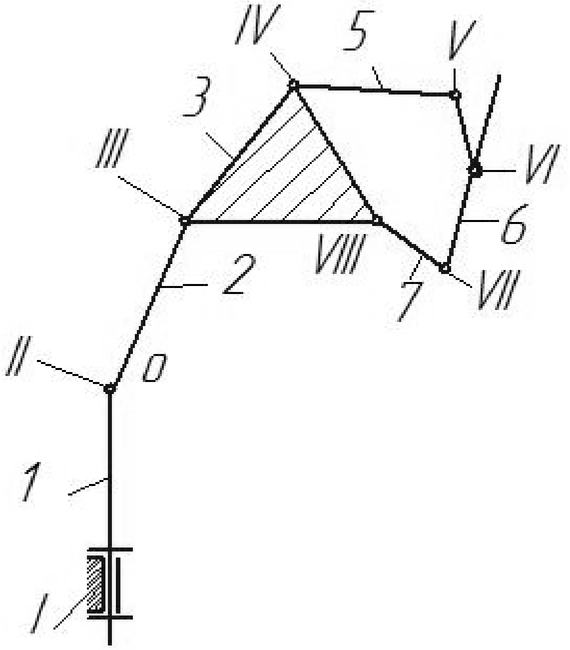

Рис. 2 – Сложная пространственная кинематическая цепь

Представим рассматриваемую сложную кинематическую цепь как результат наслоения на простую незамкнутую цепь 0-1-2-3-7-6, включающую в себя стойку и исполнительное звено, диады *4 – 5*. В соответствии с этим степень подвижности *W* сложной цепи разобьем на два слагаемых: $W = W_1 + W_2$ (3). Здесь W_1- степень подвижности простой цепи; W_2- число степеней свободы кинематической цепи 4 – 5 относительно звеньев 3, 6, рассматриваемых при таком условии, как жестко соединенные друг с другом, или, что равноценно, W_2 – это степень подвижности цепи *4 – 5,* условно наслоенной на стойку. Так как цепь *4 – 5* входит в состав замкнутого контура *3, 4, 5, 6, 7,* семейство, к которому она принадлежит, определяется числом *m* этого контура, в котором одно из звеньев условно принимается неподвижным.

Для первой цепи, относящейся ко второму семейству, $m - 2$, $n = 5$, p_5; $W_1 = (6-2)\cdot 5 - (5-2)\cdot 5 = 5$, а для второй, составляющей часть плоского замкнутого контура, $m = 3$, $n = 2$, $p_5 = 3$, $W_2 = 0$. В итоге найдем по равенству (3), что $W = 5$. При определении мобильности имеем $W = M_1 + W_2$, (4) где M_1 – мобильность незамкнутой кинематической цепи, $M_1 = (6-2)\cdot 4 - (5-2)\cdot 5 = 1$, а $W_2 - 0$. Таким образом, $M = 1$. Результаты полученные по формулам (2), (3), соответствуют истинным значениям W, M.

Приведенный пример показывает, что применение ко всей сложной кинематической цепи некоторого семейства m структурной формулы (1) дает ошибочный результат, если простые цепи, на которые она может быть расчленена, относятся к различным семействам. В данном примере наслоенная диада не влияет на общую степень подвижности, и в этом смысле ее можно исключить при структурном анализе. В данном примере наслоенная диада не влияет на общую степень подвижности, и в этом смысле ее можно исключить при структурном анализе. Однако в общем случае наслоенные цепи могут быть более сложные, с числом степеней свободы, отличным от нуля, т. е. их необходимо учитывать.

Выводы

Таким образом, определяя степень подвижности сложной кинематической цепи, нужно расчленить ее на последовательно наслаиваемые простые кинематические цепи. Установив семейство, к которому относится каждая из этих цепей, и воспользовавшись структурной формулой (1), можно вычислить общую степень подвижности как сумму парциальных. При этом, если та или иная рассматриваемая кинематическая цепь входит в состав замкнутого контура, содержащего также звенья предыдущей цепи, номер ее семейства находится по числу общих связей простой замкнутой цепи, образующей этот контур, в системе координат, жестко связанной с одним из звеньев контура.

Список использованных источников:

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин : учеб. для втузов / И. И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1988. – 640 с.

2. Промышленная робототехника / Л. С. Ямпольский, В. А. Яхимович, Е. Г. Вайсман [и др.] ; под. ред. Л. С. Ямпольского. – К. : Техніка, 1984. – 264 с.

3. Кожевников С. Н Теория механизмов и машин : учеб. пособие для машиностроит. вузов / С. Н. Кожевников. – 4-е изд., испр. – М. : Машиностроение, 1973. – 591 с.

Стаття надійшла до редакції 19 лютого 2014 р.