УДК 621.01

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ РОБОТОВ И МАНИПУЛЯТОРОВ

© А.И. Смелягин
Кубанский государственный технологический университет, Россия, Краснодар

Аннотация. *Предложенная структурная математическая модель может эффективно использоваться как при структурном синтезе новых роботов и манипуляторов, так и при структурном анализе уже созданных машин.*

Ключевые слова: *структурная математическая модель простых роботов и манипуляторов, структурный синтез.*

С конца 60-х годов прошлого столетия в основных отраслях развитых стран получают широкое распространение промышленные манипуляционные роботы, которые предназначены для выполнения опасных, вредных и монотонных технологических операций. К настоящему времени робототехника находит широкое применение в автомобильной, машиностроительной, станкостроительной, химической, атомной, пищевой промышленности и начинает активно внедряться в быт человека.

Задачи, которые решают современные роботы, разнообразны, а, следовательно, и структура этих устройств также различна и многообразна. Однако, к сожалению, в настоящее время отсутствуют научные рекомендации по рациональному выбору структур вновь разрабатываемых роботов и манипуляторов.

Практика создания новых механизмов и машин показывает, что при разработке новой техники наиболее ответственным этапом является этап, на котором решается задача построения (синтеза) и выбора структурной схемы будущего устройства. Это связано с тем, что в случае выбора нерациональной структурной схемы устройства, дальнейшая работа по расчету и проектированию не позволит создать машину оптимальным образом выполняющую возложенные на нее функции.

Целенаправленный научный синтез рациональных схем механизмов роботов и манипуляторов возможен только тогда, когда будут построены строгие структурные математические модели механизмов с незамкнутыми киенматическими цепями.

Составим структурную математическую модель простых роботов и манипуляторов с незамкнутой кинематической цепью.

Так как структурный синтез предполагает построение кинематической цепи механизма по заданной подвижности, то в основу математической модели должны быть положены структурные формулы.

Структурная формула для механизмов с замкнутыми кинематическими цепями[1] имеет вид

$$W = \Pi n - \sum_{i=1}^{\Pi\text{-}1} (\Pi - i) p_i \ , \tag{1}$$

где: W - подвижность исследуемого (синтезируемого) механизма; Π – подвижность пространства в котором существует исследуемый механизм; n – число подвижных звеньев; i =1,2,3… - целочисленный индекс; p_i - число кинематических пар i – й подвижности.

Преобразуем (1)

$$W = \Pi n - \Pi \sum_{i=1}^{\Pi-1} p_i + \sum_{i=1}^{\Pi-1} i p_i \ . \tag{2}$$

Введем обозначения:

$$\sum_{i=1}^{\Pi-1} p_i = p \ ; \tag{3}$$

$$k = p - n \, , \tag{4}$$

где p – общее число кинематических пар в механизме; k - число независимых замкнутых контуров.

С учетом (3) и (4) формула (2) примет вид

$$W = \sum_{i=1}^{\Pi-1} ip_i - k\Pi \tag{5}$$

Формула (5) так же как и (1) является структурной формулой механизмов с замкнутыми кинематическими цепями.

В простых механизмах [1] с не замкнутыми кинематическими цепями независимых замкнутых контуров нет и, следовательно, у них $k = 0$. Тогда из (4) следует, что в этих механизмах количество подвижных звеньев n равно числу кинематических пар p, то есть

$$n = p \, . \tag{6}$$

С учетом отмеченного, подвижность простых роботов и манипуляторов с незамкнутой кинематической цепью определится

$$W = \sum_{i=1}^{\Pi-1} ip_i \, . \tag{7}$$

Объединяя в систему уравнения (7), (6) и (3), получим структурную математическую модель простых механизмов с разомкнутой кинематической цепью:

$$\begin{cases} W = \sum\limits_{i=1}^{\Pi-1} ip_i; \\ p = n; \\ p = \sum\limits_{i=1}^{\Pi-1} p_i. \end{cases} \tag{8}$$

Система уравнений (8) – *структурная математическая модель* механизмов с простой незамкнутой кинематической цепью.

Анализ модели (8) показывает, что синтез простых роботов и манипуляторов можно проводить, если задаться их подвижностью и пространством, в котором они будут существовать, либо числом звеньев (кинематических пар).

Рассмотрим на примере синтез простых механизмов с разомкнутой кинематической цепью с использованием структурной математической модели (8).

Допустим, необходимо синтезировать манипулятор (робот), который должен иметь пять степеней свободы или обладать подвижностью W=5 и должен иметь три подвижных звена ($n = 3$).

Из второго уравнения (8) следует, что общее число кинематических пар в синтезируемом манипуляторе должно быть равно трем ($p = 3$). С учетом этого первое и третье уравнения (8) примут вид:

$$\begin{cases} p_1 + 2p_2 + 3p_3 + 4p_4 + 5p_5 = 5; \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 = 3. \end{cases} \tag{9}$$

Анализ (9) показывает, что в синтезируемом манипуляторе четырех- и пятиподвижные кинематические пары не могут быть применены, так как даже при условии, что p_1=0, p_2=0 и p_3=0, система (9) не имеет целочисленного решения.

Значит, для синтезируемого механизма систему (9) можно переписать следующим образом:

$$\begin{cases} p_1 + 2p_2 + 3p_3 = 5; \\ p_1 + p_2 + p_3 = 3. \end{cases} \quad (10)$$

Из первого уравнения (10) видно, что одновременно использовать при синтезе манипулятора одно-, двух- и трехподвижные кинематические пары невозможно. Следовательно, синтезируемый манипулятор может состоять только из сочетаний двух различных по подвижности кинематических пар. Найдем эти решения.

Случай 1. Пусть, синтезируемый манипулятор должен содержать только одно- и двухподвижные кинематические пары, т. е. $p_1 \neq 0$, $p_2 \neq 0$, $p_3 = 0$. Тогда (10) для исследуемого случая примет вид:

$$\begin{cases} p_1 + 2p_2 = 5; \\ p_1 + p_2 = 3. \end{cases} \quad (11)$$

Целочисленными корнями системы (11) будут следующие решения: $p_1 = 1$, $p_2 = 2$.

На рис. 1, *а*, *б*, *в* приведены некоторые возможные структурные схемы манипуляторов, отвечающие этим условиям.

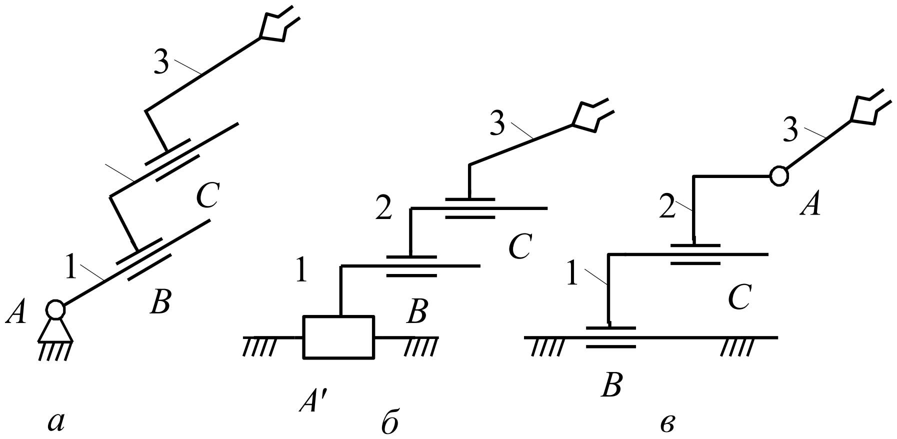

Рис. 1. Структурные схемы манипуляторов, отвечающих условиям: W=5, n=3, p_1=1, p_2=2:
A – вращательная кинематическая пара;
A' –поступательная кинематическая пара;
B, *C* – двухподвижные кинематические пары; *1*, *2*, *3* – подвижные звенья.

Случай 2. Пусть, синтезируемый манипулятор не должен иметь двухподвижные кинематические пары, т. е. $p_1 \neq 0$, $p_2 = 0$, $p_3 \neq 0$.

Структурная математическая модель (10) в этом случае примет вид

$$\begin{cases} p_1 + 3p_3 = 5; \\ p_1 + p_3 = 3. \end{cases} \quad (12)$$

Решая (12), найдем, что $p_1 = 2$, а $p_3 = 1$.

На рис. 2, *а, б, в* приведены некоторые структурные схемы манипуляторов, соответствующие этим условиям.

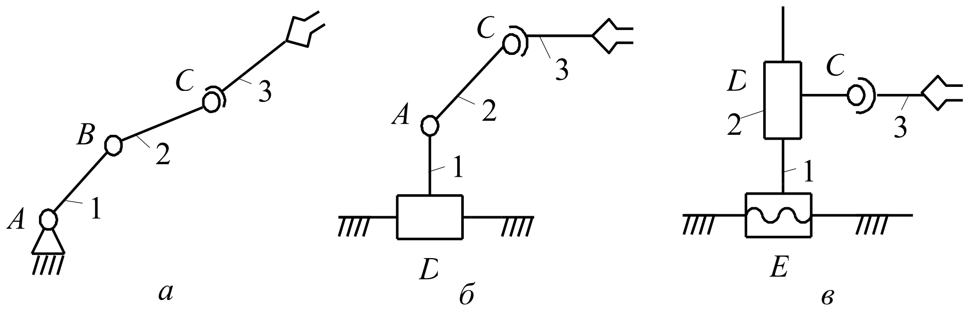

Рис. 2. Структурные схемы манипуляторов, отвечающих условиям:
$W = 5$, $n = 3$, $p_1 = 1$, $p_2 = 3$:
A, B – вращательные кинематические пары;
D – поступательная кинематическая пара;
E – винтовая кинематическая пара;
C – сферическая кинематическая пара; *1*, *2*, *3* – подвижные звенья

Случай 3. Пусть синтезируемый манипулятор может иметь только двух и трехподвижные кинематические пары, т. е. $p_1 = 0$, $p_2 \neq 0$, $p_3 \neq 0$.

Структурная математическая модель (10) в этом случае примет вид:

$$\begin{cases} 2p_2 + 3p_3 = 5; \\ p_2 + p_3 = 3. \end{cases} \qquad (13)$$

Анализ (13) показывает, что положительных целочисленных решений эта система не имеет. Значит, создать манипулятор, соответствующий сформулированным выше начальным условиям с использованием только двух- и трехподвижных кинематических пар, нелвозможно.

Перебирая все возможные сочетания одно-, двух- и трехподвижных кинематических пар, можно построить различные структурные схемы манипуляторов, отвечающие начальному условию (W=5, n=3).

Окончательный выбор перспективной структурной схемы манипулятора можно сделать только с учетом его кинематических, динамических, потребительских и технологических свойств.

Поступая аналогичным образом, можно синтезировать любые механизмы с простыми разомкнутыми кинематическими цепями.

Структурная математическая модель (8) может эффективно использоваться как при структурном синтезе новых роботов и манипуляторов, так и при структурном анализе уже созданных машин.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-01-99015).

Литература

1. Смелягин А.И. Структура механизмов и машин. – Москва: Высш. шк., 2006. – 304 с.

Поступила: 20.04.10.