

УДК 621.833

В.П. Прохоров, профессор, канд. техн. наук**Н.И. Прохорова, профессор, канд. техн. наук***Александровский филиал Российского нового университета**ул. Советская 25 а, г. Александров, Россия, 601652**E-mail: afrosnou2009@yandex.ru***КЛАССИФИКАТОР ТРЕХЗВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Предложен алгоритм формирования и перечисления универсального множества классов трехзвенных механизмов, который включает перечисление допустимых классов звеньев, контактных связей, множества моделей конфигуратора, сочетания их входных и выходных переменных (параметров). Множество классов образовано посредством многоуровневой классификации классов переменных моделей и классов их особых значений, как произведение этих множеств. Алгоритм иллюстрируется примером порождения множества классов на основе переменных функциональных моделей.

Ключевые слова: кодовое дерево, перечисление классов, трехзвенный механизм.

Введение

Классификатор описан в рамках системной концепции исследования механизмов произвольной структуры [1-3] и базируется на общей теории зацеплений, изложенной в [4]. Он позволяет осуществить навигацию на множестве классов трехзвенных механизмов для решения классов задач: 1 – перечисления, 2 – моделирования, 3 – анализа, 4 – синтеза и 5 – оптимизации с применением определенной системы моделей – конфигуратора.¹

I. Общие положения

Алгоритм перечисления вариантов механизмов включает в себя ряд этапов.

A. Перечисление допустимых классов звеньев

На 1-м уровне иерархической классификационной схемы звенья разделим по признаку числа взаимодействующих с ним других звеньев (структурная модель) на: 1 – одинарные; 2 – двойные; 3 – тройные и т.д. звенья. На 2-м уровне – по признаку деформативности (динамическая модель): 1 – абсолютно твердые; 2 – упругие; 3 – упруго-пластические; 4 – комбинированные. Тогда число классов для одного звена составляет $T_j = 3 \cdot 4 = 12$, а для двух звеньев получим $T_j^2 = 12^2 = 144$ класса.

B. Перечисление допустимых классов контактных связей

На 1-м уровне связи разделим по признаку геометрического контакта звеньев (структурная модель): 1 – с одноточечным контактом; 2 – двухточечным; 3 – многоточечным контактом в дискретном множестве точек; 4 – линейным; 5 – поверхностным; 6 – с комбинированным контактом. На 2-м уровне связи разделим по характеру трения рабочих поверхностей звеньев (эксплуатационная модель) на: 1 – без трения; 2 – с трением без смазки (сухое трение); 3 – с граничным трением; 4 – с жидкостным трением; 5 – комбинированные. Всего число классов связей составляет $p = 6 \cdot 5 = 30$.

В общем случае классификационная модель связей должна описывать множество контактных, соединительных, ограничивающих, усиливающих, ослабляющих, мгновенных, опережающих, запаздывающих, селектирующих, преобразующих, согласующих, координирующих, сканирующих, положительных и отрицательных обратных и других связей (отношений).

C. Перечисление моделей конфигуратора

На 1-м уровне иерархической классификации моделей разделим их по признаку логической последовательности применения и преемственности представления (описания) механизмов (таблица 1). На 2-ом уровне модели разделим по глубине представления на 1 – концептуальные, 2 – логические, 3 – математические, 4 – алгоритмические и 5 – программные. Таким образом, на 2-м уровне получаем $12 \times 5 = 60$ классов моделей, а с учетом числа классов задач получим $60 \times 5 = 300$ классов решаемых задач, например: «алгоритм функционального анализа», «концептуальный синтез структурных моделей», «динамическое моделирование оптимальных систем», «программное моделирование эволюции технических устройств» и др. На последующих уровнях модели могут быть разделены по аналогии с классификацией классов переменных (см. ниже).

D. Перечисление классов сочетаний входных и выходных переменных

Классы $V = 1, V_j$ механизмов в зависимости от сочетаний входных и выходных переменных (II) всех моделей из множества моделей конфигуратора определим по формуле

¹ Конфигуратор – минимальное множество моделей для решения задачи.

$$V = f \cdot s \cdot g \cdot k \cdot m \cdot d \cdot t \cdot i \cdot \tau \cdot x \cdot y \cdot z .$$

Таблица 1 – Множество моделей первого уровня

№ п/п	Название модели	Число независимых переменных
1.	Функциональная	f
2.	Структурная	s
3.	Геометрическая	g
4.	Кинематическая	k
5.	Физико-механическая	m
6.	Динамическая	d
7.	Точностная	t
8.	Информационная	i
9.	Технологическая	τ
10.	Эксплуатационная	x
11.	Эволюционная	y
12.	Комбинированная	z

Е. Перечисление классов П

В работе введена следующая классификационная иерархическая система классов П. На 1-м уровне П разделим по типам $\mu = 1, \mu_r$ независимых параметров на: зависящие от времени – вершина 1; 2 – зависящие от одной координаты; 3 – от времени и одной координаты; 4 – от двух координат; 5 – от времени и двух координат; 6 – от трех координат; 7 – от времени и трех координат; 8 – не зависящие ни от времени, ни от координат.

На 2-м уровне П, зависящие от одного аргумента (варианты 1, 2 на 1-м уровне); разделим по классу вариации значения на: 1 – непрерывные, 2 – дискретные, 3 – зонные, 4 – релейные, 5 – с запаздыванием. При непрерывном классе вариации П приводится к любому значению в интервале ее изменения, при дискретном П приводится в любую точку фиксированного дискретного множества, а при зонном П приводится в любую точку фиксированного дискретного множества зон (интервалов). При релейном классе вариации непрерывному изменению аргумента соответствует скачкообразное изменение значения П, а при классе вариации с запаздыванием изменение аргумента приводит к изменению П не сразу, а с некоторой (например, временной) задержкой (временным сдвигом).

На 3-м уровне П разделим по эволюционному признаку на: 1 – стационарные, закон изменения (состояние) которых сохраняется с длительным изменением аргумента (например, с течением времени); 2 – нестационарные, закон изменения которых является функцией не только времени (или координаты) но и функцией положения интервала П на временной (координатной оси).

На 4-м уровне П разделим по степени организованности на: детерминированные – вершина 1, значение которых можно указать на всем интервале изменения аргумента; 2 – стохастические, являющиеся случайными функциями аргументов, с известными вероятностными характеристиками, 3 – стохастически неопределенные, когда распределение вероятностной значений П в принципе существует, но в требуемый момент не может быть получено; 4 – нестохастически неопределенные, когда распределение вероятностей П вообще не существует.

На 5-м уровне П разделим по признаку управляемости на: 1 – управляемые; 2 – неуправляемые; 3 – иницируемые, когда изменения П иницируются, например, включением переключателя.

На 6-м уровне П разделим по признаку достижения требуемого значения: 1 – принимают значение мгновенно; 2 – последовательно проходит все промежуточные значения; 3 – достигает требуемого значения сканированием окрестности П.

На 7-м уровне П разделим по классу функции на: 1 – монотонные линейные; 2 – монотонные нелинейные; 3 – периодические гармонические; 4 – периодические негармонические.

В соответствии с приведенной классификационной схемой число типов (классов) П равно $\mu = 8 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 4 = 11520$. При необходимости повысить адекватность описания механизма число уровней членения П может быть увеличено.

Так, например, дальнейшее членение П на типы (классы) возможно конкретизацией ее функциональных зависимостей.

Е. Перечисление особых значений переменной

Особые значения переменной каждого типа $\theta = 1, \theta_\mu$ определим в виде: 1 – нулевое значение; 2 – константа; 3 – особая константа, 4 – константа, функционально связанная с другими константами. Таким образом, $\theta_\mu = 4$.

Формально число классов механизмов определили как произведение множеств $T \cdot p \cdot \mu \cdot \theta$. Очевидно, что набор входных переменных моделей должен отвечать условию непротиворечивости.

II. Перечисление трехзвенных механизмов по классам функциональных моделей

В первом варианте в механизме общего вида (рисунок 1) заданное абсолютное шестимерное движение входного звена 1 с координатами $a_{21}, \alpha_{21}, a_{31}, \alpha_{31}, \dot{u}_1, \dot{\phi}_1$ преобразуется в требуемое абсолютное шестимерное движение выходного звена 2 с координатами $a_{22}, \alpha_{22}, a_{32}, \alpha_{32}, \dot{u}_2, \dot{\phi}_2$

Здесь $\bar{E}_{ij}$ – единичные винты, $i = \overline{1,9}$ – индекс винта, $j = \overline{1,2}$ – индекс звена, $\dot{U}_j = \dot{\phi}_j + \varepsilon \dot{u}_j$, ε – символ Клиффорда. Смыслы других обозначений общеизвестны [4]. На рисунке 2 приведен вариант функциональной модели механизма для преобразования абсолютных координат входных и выходных звеньев, где $r = 1,6$ – число координат входного (выходного) звена, t – время.

Во 2-м варианте шестимерное абсолютное движение входного звена преобразуется в шестимерное относительное движение выходного звена ($a_{42}, \alpha_{42}, a_{52}, \alpha_{52}, \dot{u}_{21}, \dot{\phi}_{21}$).

Аналогично, в 3-м варианте координаты относительного движения $a_{41}, \alpha_{41}, a_{51}, \alpha_{51}, \dot{u}_{12}, \dot{\phi}_{12}$ входного звена преобразуются в координаты абсолютного движения выходного звена.

В общем случае в функциональной модели возможно комплексное (комбинированное) задание координат движений входных и выходных звеньев, как сочетаний независимых абсолютных и относительных координат входного звена, преобразуемых в сочетания абсолютных и относительных координат выходного звена. При этом нужно учитывать, что модули винтов относительных движений тождественны $\bar{U}_{12} = -\bar{U}_{21}$, а сочетания задаваемых координат не противоречивы. Тогда число вариантов функциональных моделей определяется числом вариантов задания абсолютных A_1 и A_2 и относительных O_1 и O_2 координат звеньев. В таблице 2 представлены варианты комбинированного способа задания координат O_1 и O_1 движения 1-го звена.

Идентичную таблицу легко записать и для 2-го звена. Учитывая, что координаты относительных движений звеньев 1 и 2 отличаются только знаками, для суммарного числа вариантов функциональных моделей механизмов получим $924 \times 64 = 59136$ вариантов. Множество этих вариантов отнесем к 1-му уровню иерархической классификационной схемы функциональных моделей.

А. Функциональные модели 1-го варианта

Из геометрической модели трехзвенного механизма общего вида (рисунок 1) получим следующую таблицу способов задания 12 параметров абсолютных движений звеньев 1 и 2 (таблица 3). В ней матрицы 1 и 2 отражают классификацию механизмов по признакам абсолютных движений винтовых осей звеньев, а матрицы 3 и 4 – классификацию по признакам абсолютных движений самих звеньев вокруг и вдоль этих осей.

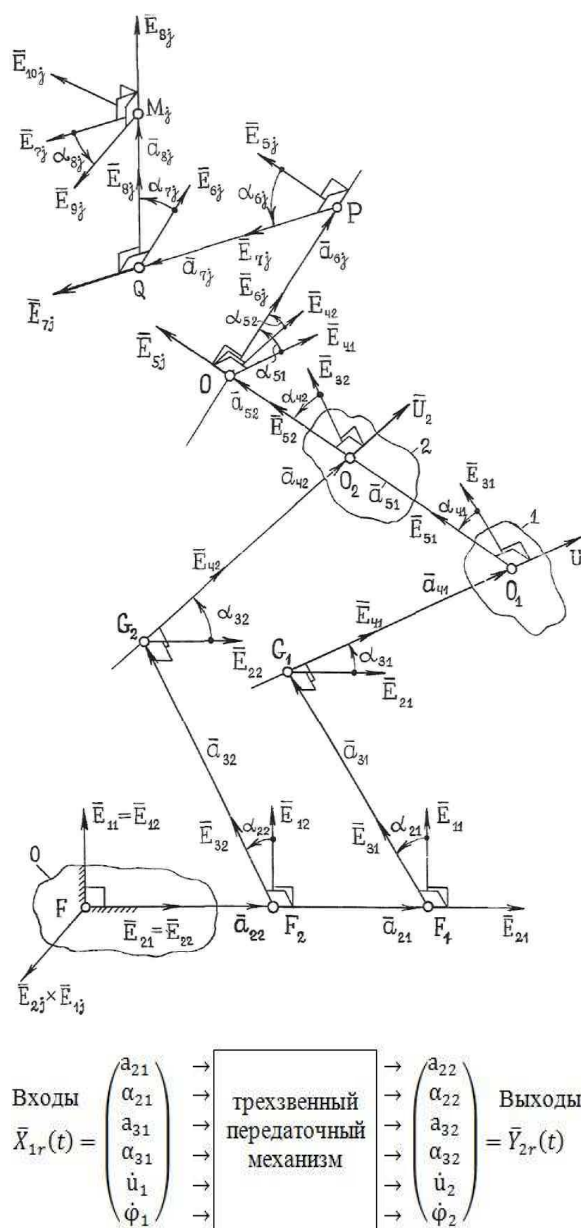


Рисунок 2 – Функциональная модель

Таблица 2 – Варианты комбинированного способа задания абсолютных и относительных координат движения 1-го звена

A_1		O_1		Общее число вариантов
Число координат	Число вариантов	Число координат	Число вариантов	
6	1	0	1	1
5	6	1	6	$6 \times 6 = 36$
4	15	2	15	$15 \times 15 = 225$
3	20	3	20	$20 \times 20 = 400$
2	15	4	15	$15 \times 15 = 225$
1	6	5	6	$6 \times 6 = 36$
0	1	6	1	1
Всего вариантов – 64		Всего вариантов – 64		$64 \times 64 = 924$

Таблица 3 – Задание классов абсолютных движений

1		3		2		4					
$\mathbf{a}_{21}$	$\mathbf{a}_{21}$	$\mathbf{a}_{31}$	$\mathbf{a}_{31}$	$\dot{\varphi}_1$	$\dot{u}_1$	$\mathbf{a}_{22}$	$\mathbf{a}_{22}$	$\mathbf{a}_{32}$	$\mathbf{a}_{32}$	$\dot{\varphi}_2$	$\dot{u}_2$
var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var
const	const	const	const	const	const	const	const	const	const	const	const
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	90°		90°				90°		90°		

В первой классификации получим $3 \times 4 \times 3 \times 4 \times 3 \times 4 \times 3 \times 4 = 144 \times 144 = 20736$ классов механизмов. Во второй классификации имеем $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ классов. Отсюда общее число классов составляет $20736 \times 81 = 1679616$.

Рассмотрим подробнее первую классификацию. Параметры $a_{21}, \alpha_{21}, a_{31}, \alpha_{31}$ представляют собой координаты винтовой оси 1-го звена, а параметры $a_{22}, \alpha_{22}, a_{32}, \alpha_{32}$ – координаты винтовой оси 2-го звена. Для произвольных значений координат мы получим два четырехпараметрических множества положений винтовых осей абсолютных движений для каждого звена. Задание одной координаты или одной связи между ними определяет трехпараметрическое множество положений винтовых осей (комплекс винтовых осей) [5] одного звена. Задание двух координат или двух связей между ними определяет двухпараметрическое множество прямых – конгруэнтно винтовых осей. Задание трех координат или трех связей между ними определяет однопараметрическое множество – линейчатую поверхность винтовых осей, а задание всех четырех координат или четырех связей между ними определяет в каждый момент времени положение винтовой оси j -го звена на этой линейчатой поверхности, а во времени – «размеченную» поверхность винтовых осей.

С помощью таблицы 3 достаточно просто записать таблицы классов задания координат винтовых осей (по 144 класса) 1-го и 2-го звеньев (таблицы 4, 5). Для экономии места здесь приводится их сокращенная запись. Для унификации и автоматизации процесса классификации номера классов в этих таблицах будем кодировать трехзначными числами в интервале 001–144. Для 81 класса механизмов также построим виртуальную таблицу 6, где номера будем кодировать двузначными числами в интервале 01–81.

Таблица 4 – Классификация трехзвенных механизмов по признакам абсолютных движений винтовой оси 1-го звена

№ класса	a_{21}	α_{21}	a_{31}	α_{31}
001	var	var	var	var
002	var	var	var	const
.....				
039	const	var	0	90°
.....				
144	0	0	0	0

Аналогичную таблицу запишем для 2-го звена.

Таблица 5 – Классификация трехзвенных механизмов по признакам абсолютных движений винтовой оси 2-го звена

№ класса	a_{21}	α_{21}	a_{31}	α_{31}
001	var	var	var	var
002	var	var	var	const
.....				
039	const	var	0	90°
.....				
144	0	0	0	0

Последовательность заполнения таблиц 4, 5 значениями {var, const, 90°, 0} параметров определяется предпочтениями исследователя.

Таблица 6 – Классификация трехзвенных механизмов по признакам абсолютных движений звеньев

№ класса	$\dot{u}_1$	$\dot{\phi}_1$	$\dot{u}_2$	$\dot{\phi}_2$
01	var	var	var	var
02	const	var	var	var
.....				
16	const	const	const	const
.....				
81	0	0	0	0

Последовательность заполнения таблицы 6 значениями {var, const, 90°, 0} параметров также определяется предпочтениями исследователя. Классы таблицы 6 определяют множество функциональных описаний (вербальных моделей-названий) механизмов типа: «механизм для преобразования вращательного и поступательного с переменными скоростями движений входного звена в аналогичные движения выходного звена» и др.

Для сжатия множества классов механизмов перейдем к анализу таблицы 6. Анализ ее данных показывает, что 17 классов не имеют практического смысла, т.к. в них не происходит преобразования движения. Заметим также, что 28 классов легко получаются из других классов таблицы перестановкой номеров звеньев при параметрах движения, что снижает принципиальную различимость этих классов, хотя функционально они имеют самостоятельное значение. Таким образом, число значимых принципиально различных классов механизмов по таблице 6 составляет $81 - 17 - 28 = 36$.

В. Классификация трехзвенных механизмов по признаку взаимного расположения осей

Наряду с приведенными классификационными признаками введем в рассмотрение широко распространенные в практике признаки – межосевое расстояние $a_5 = a_{51} - a_{52}$ и межосевой угол $\alpha_5 = \alpha_{51} - \alpha_{52}$.

Из рисунка 1 легко получить, что

$$a_5 = \frac{1}{s\alpha_5} \{ (a_{21} - a_{22}) s\alpha_{31} s\alpha_{32} s(\alpha_{21} - \alpha_{22}) - a_{31} [c\alpha_{31} c\alpha_{32} c(\alpha_{21} - \alpha_{22}) - s\alpha_{31} c\alpha_{32}] - \quad (1)$$

$$a_{32} [s\alpha_{31} c\alpha_{32} c(\alpha_{21} - \alpha_{22}) - s\alpha_{31} s\alpha_{32}] \} = f(a_{21}, \alpha_{21}, a_{31}, \alpha_{31}, a_{22}, \alpha_{22}, a_{32}, \alpha_{32}),$$

$$c\alpha_5 = c(\alpha_{21} - \alpha_{22}) s\alpha_{31} s\alpha_{32} + c\alpha_{31} c\alpha_{32} = f(a_{21}, \alpha_{21}, a_{22}, \alpha_{32}). \quad (2)$$

Из (1), (2) следует, что a_5 представляет собой 8-параметрическую, а α_5 – 4-параметрическую функции линейных и угловых координат винтовых осей. Они могут скрещиваться, пересекаться, быть ортогональными и неортогональными, параллельными и соосными, т.к. они образуют множества a_5 {var, const, 0}; α_5 {var, const, 90°, 0} и определяют $3 \times 4 = 12$ классов механизмов, отличающихся по признаку взаимного расположения осей (таблица 7). В таблице 7 различные классы механизмов будем нумеровать (кодировать) двузначными цифрами в интервале 01 – 12.

Множество рассматриваемых классов механизмов можно сжать, если объединить множество только 36 значимых классов таблицы 6 и множество 12 классов таблицы 7, что составляет $36 \times 12 = 432$ класса трехзвенных механизмов, отличающихся только функциональными и конструктивными признаками (переменными). В результате мы приходим к вербальному описанию классов механизмов типа: «механизм с переменным межосевым расстоянием и углом для преобразования вращательного и поступательного с переменными скоростями движений входного звена в аналогичные движения выходного звена»; «ортогональный механизм с постоянным межосевым расстоянием для преобразования

вращательного движения с постоянной скоростью движения входного звена в аналогичное движение выходного звена» (червячные, глобоидные, гипоидные, спироидные и др. передачи); «механизмы с параллельными осями и постоянным межосевым расстоянием для преобразования вращательного с постоянной скоростью движения входного звена во вращательное с переменной скоростью движение выходного звена (зубчатые механизмы с переменным передаточным отношением, кулачковые, мальтийские и др. механизмы); или: «соосный механизм для преобразования вращательного движения входного звена в поступательное с постоянной скоростью и вращательное с переменной скоростью движения выходного звена» и т.д.

Таблица 7 – Классификация трехзвенных механизмов по признакам взаимного расположения осей

№ класса	a_5	α_5	Название механизма
01	var	var	механизм с переменными межосевым расстоянием и углом
02	var	const	неортогональный механизм с переменным межосевым расстоянием и постоянным межосевым углом
03	var	90°	ортогональный механизм с переменным межосевым расстоянием
04	var	0	механизм с переменным межосевым расстоянием и параллельными осями
05	const	var	механизм с постоянным межосевым расстоянием и переменным межосевым углом
06	const	const	неортогональный механизм с постоянными межосевыми расстоянием и углом
07	const	90°	ортогональный механизм с постоянным межосевым расстоянием
08	const	0	механизм с параллельными осями и постоянным межосевым расстоянием
09	0	var	механизм с пересекающимися осями и переменным межосевым углом
10	0	const	неортогональный механизм с пересекающимися осями и постоянным межосевым углом
11	0	90°	ортогональный механизм с пересекающимися осями
12	0	0	соосный механизм

Как следует из (1), (2), межосевое расстояние зависит от восьми, а межосевой угол – от четырех переменных. Поэтому отнесение механизма из множества 432 к какому-либо классу виртуальных таблиц 4, 5 является неоднозначным, т.е. переменные, постоянные и нулевые межосевое расстояние и угол можно задать различными классами этих таблиц.

С. Снижение неопределенности в задании классов механизмов

Для снижения неопределенности в задании классов механизмов из множества 432 предположим, что $a_{21}, \alpha_{21}, a_{31}, \alpha_{31} = 0$. Это соответствует неподвижной оси 1-го звена и выводит из рассмотрения таблицу 4. Тогда различные классы задания взаимного расположения осей определяются только параметрами $a_{22}, \alpha_{22}, a_{32}, \alpha_{32}$ положения оси 2-го звена. Как следует из (1), (2) в этом случае $a_5 = a_{32}$, $\alpha_5 = \alpha_{32}$. Тогда одно из сочетаний a_5, α_5 определяется только значениями множеств $a_{22} \{var, const, 0\}$, $\alpha_{22} \{var, const, 90^\circ, 0\}$, т.е. определяются 12 классами таблицы 5. Таким образом, каждому классу таблицы 7 можно поставить в соответствие по 12 классов таблицы 5 и легко записать таблицу соответствий (в тексте не приводится). В результате мы приходим к возможности однозначного задания конкретного класса механизмов из имеющегося множества. Очевидно, что такие механизмы составят $432 \times 12 = 5184$ класса и, следовательно, столько же частных конфигураторов.

III. Иерархическое классификационное кодовое дерево классов трехзвенных механизмов

Для автоматического перечисления и решения задач моделирования, анализа, синтеза и оптимизации, каждый отдельный класс механизма из множества 5184 пронумеруем отдельным кодовым числом, составленным из трехзначного номера классов таблицы 4, двузначного номера классов таблицы 7, соответствующего 12 трехзначным номерам классов таблицы 5, и двузначного номера классов таблицы 6, например, в виде: 144.01.001.01.

Для наглядного представления и эффективного использования классификационного алгоритма на рисунке 3 приведено классификационное иерархическое кодовое дерево (граф) трехзвенных механизмов. В соответствии с изложенной выше схемой кодирования на 1-м уровне дерева классы механизмов разделены по признаку абсолютных движений оси 1-го звена (таблица 4) и расположены в 144 узлах графа. На 2-м уровне дерева механизмы разделены по признаку относительного расположения осей звеньев (таблица 6) и содержат по 12 узлов для каждого узла 1-го уровня, т.е. получим $144 \times 12 = 1728$ классов механизмов.

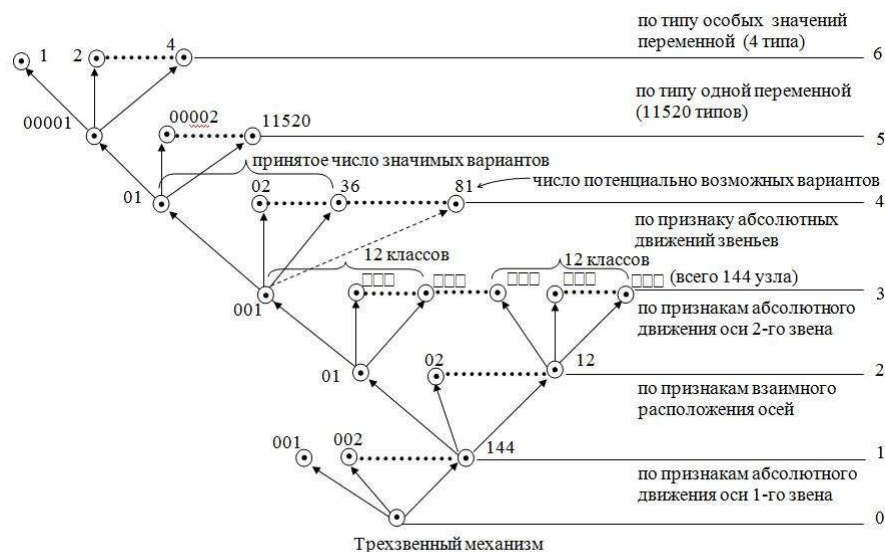


Рисунок 3 – Классификационное иерархическое дерево трехзвенных механизмов

На 3-м уровне кодового дерева механизмы разделены по признаку абсолютного движения оси 2-го звена и содержат на основании таблицы соответствий для каждого узла 2-го уровня также по 12 узлов, что соответствует $1728 \times 12 = 20736$ узлам (классам). Напомним, что таблица соответствий устанавливает отношения (зависимость) между координатами абсолютных и относительных положений осей по формулам (1), (2).

На 4-м уровне кодового дерева механизмы разделены по признаку абсолютных движений самих звеньев (по классу преобразования движения) на 36 значимых узлов для каждого узла 3-го уровня. Таким образом, классификационное кодовое дерево на 4-м уровне задает $V = 144 \times 12 \times 12 \times 36 = 746496$ кодов значимых классов механизмов, а число потенциально возможных классов составляет $144 \times 144 \times 81 = 1679616$.

Дальнейшее кодирование на следующих уровнях дерева осуществим за счет выбора классов переменных функциональной модели. На 5-м уровне каждый узел 4-го уровня будет содержать $746496 \times 11520 = 8599633920$ узлов. На 6-м уровне формально каждый узел 5-го уровня может включать те особые значения $\theta_{\mu} = 4$ функциональных П, которые не включены в таблицы 4-7.

Заключение

1. Универсальное множество (разнообразие) свойств механизмов, признаков этих свойств, и операторных представлений этих признаков – переменных, а также универсальное множество классов переменных и классов их особых значений в различных моделях конфигулятора определяют класс механизма и, соответственно, класс его моделей, как системы, формируя универсальное множество классов трехзвенных механизмов и их моделей.

2. Разработанный в данной статье алгоритм порождения множества классов функциональных моделей трехзвенных механизмов легко адаптируется и к порождению множеств классов других моделей конфигулятора (следующие уровни моделей в таблице 1).

3. Предложенная нами система кодирования трехзвенных механизмов позволяет достаточно эффективно автоматизировать (компьютеризировать) процесс порождения различных классов (генерирования альтернатив) механизмов из универсального множества и формирования для них системы частных моделей из имеющихся в наличии общих моделей конфигулятора (таблица 1), а также формирование алгоритмов анализа, синтеза и оптимизации. При решении множества задач отдельные классы механизмов могут быть представлены в такой последовательности: 1 – название механизма, 2 – код механизма, 3 – концептуальные, логические и математические модели по таблицам 1, 4 – критерии эффективности, 5 – алгоритмы и программы для решения задач анализа, синтеза и оптимизации.

4. В настоящей статье с необходимой степенью подробности рассмотрена классификация функциональных моделей. Структурная, геометрическая и кинематическая модели трехзвенного механизма общего вида изложены в [4].

Разработанная автором динамическая модель трехзвенного механизма общего вида находится в процессе опубликования. Другие модели конфигулятора (таблица 1) находятся в стадии концептуальной, логической, математической, алгоритмической и программной разработок.

Библиографический список использованной литературы

1. Фролов К.В. Системная концепция и алгоритмы проектирования механизмов произвольной структуры / К.В. Фролов, В.П. Прохоров // Труды Всемирного Конгресса по ТММ; Оулу, Финляндия. — 1999. — Т. 2. — С. 689–694.
2. Frolov K.V. Structurization of the Basis of Knowledge in the Mechanisms of Machines and the Choice of Optimal Strategies of Research / K.V. Frolov, V.P. Prohorov // Proceedings of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science, Tianjin, China. — 2004. — P. 308–311.
3. Frolov K.V. Systems Engineering Frame Concept / K.V. Frolov, V.P. Prohorov // Proceedings of the 12th IFToMM World Congress, Besancon, France. — Vol. 6. — P. 388–393.
4. Прохоров В.П. Аналитическая модель системы твердых тел произвольной структуры / В.П. Прохоров // Известия Академии Наук. Серия: Механика твердого тела. — 1986. — № 2. — С. 94–98.
5. Фиников С.П. Теория конгруэнций / С.П. Финников. — М.–Л.: Гос. изд-во техн.-теор. литер., 1950. — 216 с.

Поступила в редакцию 27.06.2011 г.

Прохоров В.П., Прохорова Н.І. Класифікатор триланкових механізмів

Запропоновано алгоритм формування та перерахування універсальної множини класів триланкових механізмів, який включає перерахування допустимих класів ланок, контактних зв'язків, множини моделей конфігуратора, поєднання їх вхідних і вихідних змінних (параметрів). Множина класів утворена за допомогою багаторівневої класифікації класів змінних моделей і класів їх особливих значень, як добуток цих множин. Алгоритм ілюструється прикладом породження множини класів на основі змінних функціональних моделей.

Ключові слова: кодове дерево, перелік класів, триланковий механізм, багаторівнева класифікація.

Prokhorov V.P., Prokhorova N.I. A three-link mechanism classifier

The paper deals with an algorithm of creation and enumeration of the universal set of classes of three-link mechanisms. The algorithm includes the enumeration of allowable classes of links, contact ties, set of configurator models, combination of their input and output variables (characteristics). The set of classes is formed by means of multi-level classification of model variables classes and classes of their specific values as the product of these sets. The algorithm can be illustrated by the instance of the classes set creation on the basis of the functional model variables.

Keywords: code tree, enumeration of classes, three-link mechanism, multi-level classification.