

## ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ПЛОСКИХ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Ч.О.ТОЛОШОВ  
*E.mail. ksucta@elcat.kg*

*Бул жумушта тегиздикте жайгашкан механизмдерди структуралык синтездөө методдору жана универсалдуу структуралык формуланы аныктоо каралды.*

*В статье рассматриваются методы структурного синтеза механизмов для определения универсальной структурной формулы в плоском механизме.*

*This article discusses methods of structural synthesis of mechanisms for the determination of the universal structural formula in the planar mechanism.*

Структурный, кинематический, динамический анализ механизмов и их классификация рассматриваются в работах И.И.Артоболевского, В.В.Добровольского, С.Н.Кожевникова, К.В.Фролова, В.А.Зиновьева, Н.И.Левитского, М.М.Машнева, В.А.Юдина, Л.Б.Левинсона, Г.Г.Баранова, И.П.Филонова, П.П.Анципоровича, В.К.Акулича и других ученых.

Структурный синтез и анализ механизмов подробно исследованы в трудах И.И.Артоболевского, С.Н.Кожевникова, В.В.Добровольского, К.В.Фролова, Л.Т.Дворникова /1, 4/. В этих работах сообщается, что впервые П.Л.Чебышев (1821-1894) опубликовал около 15 работ по структуре и синтезу рычажных механизмов и разработал структурную формулу плоских механизмов.

В работах немецкого ученого Ф.Рело, а также работах И.И.Артоболевского, Л.Т.Дворникова, В.В.Добровольского, К.В.Фролова отмечается понятие о кинематических парах, кинематических цепях, о структуре механизма. Исследовал плоские рычажные механизмы и сформулировал условия проворачиваемости звеньев в виде математической формулы немецкий ученый Ф.Грасгоф (1826-1893).

В основах работе П.Л.Чебышева дается методика структурного синтеза механизмов, он же предложил методику определения подвижности механизма. В докладе «О параллелограммах» на Втором съезде русских естествоиспытателей (сентябрь 1869 г.), приводится формула

$$3m - 2(n + \nu) = 1, \quad (1)$$

где  $m$  – число звеньев;  $n$  – число подвижных шарниров;  $\nu$  – число неподвижных шарниров.

Формула устанавливает соотношение между числами  $n$  подвижных и числом  $m$  звеньев параллелограмма (числом подвижных звеньев механизма),  $\nu$  неподвижных шарниров, при которых точки звеньев описывают определенные траектории. При этом предполагается, что система обладает одной степенью свободы и начала структурного синтеза.

Д.Сильвестер (1814-1897) открыл свойства диады типа **ВВВ** с нулевой подвижностью – при насаивании на механизм этой диады подвижность механизма не изменяется. Аналогичным свойством обладает трехповодковая группа Бурместера и четырехповодковая группа М.Грюблера.

В работе С.Н.Кожевникова отмечается, что М.Грюблер установил соотношения между числом звеньев и числом кинематических пар. В этом методе описывается разделение звеньев по числу кинематических пар, в которые они входят. Такое различие

дает возможность составить следующие соотношения: для цепи с одной степенью изменчивости, дающей начало механизму, при обращении одного из ее звеньев в стойку:

$$2p - 4 = \sum_{i=2}^v (2i - 3)n_i, \quad v \geq 2; \quad (2)$$

для статически определимой фермы

$$2p - 3 = \sum_{i=2}^v (2i - 3)n_i, \quad v \geq 2, \quad (3)$$

где  $p$  – общее число одноподвижных пар или цилиндрических шарниров;  $i$  – число звеньев, с которыми данное звено входит в состав кинематических пар;  $n_i$  – число  $i$ - парных звеньев.

Л.В.Ассур (1878-1920) открыл общую закономерность в структуре многозвенных плоских механизмов, применяемую и сейчас при их анализе и синтезе. Он же разработал метод «особых точек» для кинематического анализа сложных рычажных механизмов. А.П.Малышев (1879-1962) предложил теорию структурного анализа и синтеза применительно к сложным плоским и пространственным механизмам [2].

Академик И.И.Артоболевский (1905-1977) внес весомый вклад в становление механики машин как цельной теории машиностроения и организовал русскую школу теории механизмов и машин; им написаны многочисленные труды по структуре, кинематике и синтезу механизмов, динамике машин и теории машин-автоматов, а также учебники, получившие всеобщее признание.

А.П.Малышев, развивая теорию анализа механизмов П.Л.Чебышева, предложил более усовершенствованную формулу для плоских механизмов, которая называется обобщенной формулой Чебышева:

$$W = 3n - 2P_5 - P_4, \quad (4)$$

где  $W$  – степень подвижности механизма;  $n$  – количество подвижных звеньев;  $P_5$  – количество одноподвижных кинематических пар.

Формула А.П.Малышева для плоских механизмов:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4, \quad (5)$$

где  $n$  – число подвижных звеньев;  $p_5$  – число кинематических пар пятого класса;  $p_4$  – число кинематических пар четвертого класса.

Формула (5), приведенная А.П.Малышевым, отличается от формулы П.Л.Чебышева (1), так как он в свою формулу добавляет кинематические пары четвертого класса  $p_4$ , что не учел Чебышев.

И для пространственных механизмов

$$W = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1, \quad (6)$$

где  $W$  – степень подвижности механизма;  $n$  – количество подвижных звеньев;  $P_5$  – количество одноподвижных кинематических пар пятого класса;  $P_4$  – количество двухподвижных кинематических пар четвертого класса;  $P_3$  – количество трехподвижных кинематических пар третьего класса;  $P_2$  – количество четырехподвижных кинематических пар второго класса;  $P_1$  – количество пятиподвижных кинематических пар первого класса.

В.В.Добровольский предложил универсальную структурную формулу механизмов, зависящую от числа общих связей, он подразделяет механизмы на пять семейств. При

этом номер семейства (0, 1, 2, 3, 4) соответствует числу общих связей (приведены в табл. 1) /2/.

Таблица 1

Структурные формулы для механизмов всех семейств по В.В.Добровольскому

Семейство механизма	Структурная формула
0	$W = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1$
1	$W = 5n - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1$
2	$W = 4n - 3P_3 - 2P_2 - P_1$
3	$W = 3n - 2P_2 - P_1$
4	$W = 2n - P_1$

По синтезу механизмов Л.Т.Дворниковым разработана структурная формула, которая имеет вид:

$$\begin{cases} \delta = \tau + (\tau - 1)n_{\tau-1} + \dots + in_i + \dots + 2n_2 + n_1 \\ n = 1 + n_{\tau-1} + \dots + n_i + \dots + n_2 + n_1 + n_0 \\ W = (6 - m)n - \sum (k - m)p_k; (k - m) > 0, \end{cases} \quad (7)$$

где  $\delta$  – общее число кинематических пар кинематической цепи;  $\tau$  – количество кинематических пар наиболее сложного – базисного звена цепи;  $n_i$  – число звеньев, добавляющих в цепь по  $i$  кинематических пар;  $m$  – число общих наложенных на механизм связей,  $m = 0, 1, 2, 3, 4$  (параметр В.В.Добровольского);  $n$  – число подвижных звеньев;  $W$  – подвижность цепи;  $k$  – номер класса кинематических пар ( $k = 5, 4, 3, 2, 1$ );  $p_k$  – число кинематических пар  $k$ -того класса.

Уравнение 7 позволяет синтезировать механизмы любой сложности и описывает кинематическую цепь.

В работах /2/ обобщены научно-методические основы создания прессов с МПС. Предложена новая концепция структурного синтеза плоских рычажных механизмов, по которой можно создавать механизмы с  $n$  подвижными звеньями тремя путями сборки звеньев:

а) последовательное соединение (с одним звеном соединяются не более двух звеньев с двух сторон, включая неподвижное звено – стойку) – в этом случае получается минимально возможное количество кинематических пар и максимальная степень подвижности механизма;

б) параллельное соединение звеньев (к одному звену присоединяется более трех звеньев) – в этом случае получается минимальная степень подвижности механизма;

в) смешанное, последовательно-параллельное соединение звеньев – в этом случае получается степень подвижности механизма между минимальной и максимальной.

А.А.Абдираимов /3/, используя универсальную структуру системы Л.Т.Дворникова, разработал методику для создания числа возможных комбинации  $\hat{E} \hat{e}$  и количества создаваемых вариантов  $\hat{E} \hat{A}$  создания механизмов при  $\tau = 2$  и степени подвижности плоских рычажных механизмов. Им созданы номограммы при модернизации и конструировании новых машин.

Формула для определения возможных комбинаций:

$$\hat{E}_{\hat{E}} = 2^{n+1},$$

(8)

где  $n$  – количество подвижных звеньев.

**Выводы.** Обзор и анализ показывают, что, обобщив концепцию структурного синтеза плоских рычажных механизмов подвижных звеньев, кинематических пар и методику для создания механизмов, используя универсальную структуру системы Л.Т.Дворникова, возможно создание новых механизмов при  $\tau = 3$ .

### Список литературы

1. Дворников Л.Т. Начала теории структуры механизмов. – Новокузнецк: СИБГГМА, 1994. – 102 с.
2. Алмаматов М.З. Научно-методические основы создания прессов с механизмами переменной структуры: Дис. ... докт. техн. наук: 05.02.18. – Бишкек, 2005. – 302 с.
3. Абдираимов А.А. Структурный синтез механизмов с использованием универсальной структурной системы Дворникова Л.Т. // Известия КГТУ им. И.Раззакова. – Бишкек, 2007. – № 11. – С. 60-64.
4. Дворников Л.Т. Универсальная структурная классификация механизмов: Метод.указ. – Новокузнецк: СИБГИУ, 2012. – 39 с.