

нен при обработке внутренних поверхностей, где обрабатываемому элементу должно быть задано движение по винтовой траектории. В этом случае вместо схвата 6 на гайке должен быть установлен резец.

Рассматриваемый механизм относится к неодносемейственным [2]. В нем звенья 1, 2, 3 и 4 образуют кривошипно-ползунный механизм третьего семейства, подвижность которого определится по формуле [3, стр. 85, формула (3.8)], как

$$W_3 = 3n - 2p_5 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 9 - 8 = 1.$$

Звено 5 образует однозвенную группу нулевой подвижности ( $W_4 = 0$ ) четвертого семейства, которая через винтовую пару 4-5 присоединяется к кривошипно-ползунному механизму, а через пару 5-1 – к стойке.

Подвижность этой группы найдем по формуле [3, стр. 85, формула (3.9)]

$$W_4 = 2n - p_5 = 2 \cdot 1 - 1 \cdot 2 = 0.$$

Таким образом, общая подвижность механизма оказывается равной

$$W = W_3 + W_4 = 1 + 0 = 1.$$

Полученный результат гарантирует достаточность задания движения любому из звеньев механизма, чтобы вся система начала двигаться определенно.

В системе автоматизированного проектирования T-FLEX-CAD 3D была разработана трехмерная параметрическая модель механизма, представленная на рис. 2.

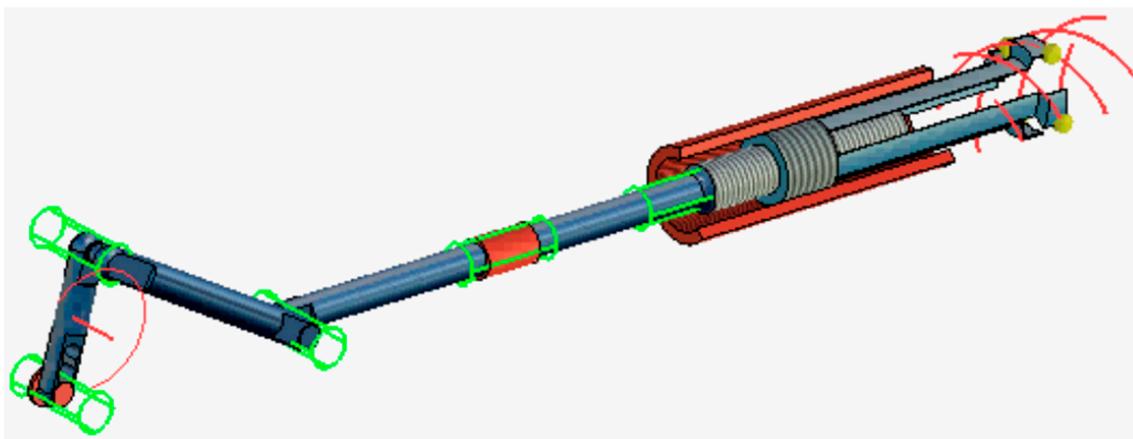


Рис. 2. Трехмерная модель пятизвенного винто-рычажного механизма

Разработанная трехмерная модель позволяет не только подобрать параметры механизма и выявить траекторию движения выходного звена, но и решить другую важную задачу, а именно, по заданному движению выходного звена подобрать параметры механизма. Угол поворота выходного звена может регулироваться путем изменения шага резьбы винта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ и Германской службы академических обменов DAAD в рамках программы «Михаил Ломоносов»

#### Список литературы

1. Пат. № 141622 U1 Российская Федерация, МПК F16H21/00, F16H21/46. Винто-рычажный пятизвенный механизм / Фомин А.С., Пармонов М.Е., Фомин М.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». № 2013141739; заяв. 10.09.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16 – 1 с.; 1 ил.
2. Дворников Л.Т. Проблемы исследования неодносемейственных механизмов / Л.Т. Дворников // Материалы шестой научно-практической конференции по проблемам машиностроения металлургических и горных машин / Сибирская государственная горно-металлургическая академия. Новокузнецк, 1997. 127 с. С. 14-19.
3. Артоболевский И.И. Теория механизмов [Текст] / И.И. Артоболевский. Изд-во «Наука», гл. редакция физ.-мат. лит.-ры, 1965, 776 с.

#### ВЫВОД ФОРМУЛЫ ДОБРОВОЛЬСКОГО ДЛЯ СВОБОДНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Яскевич О.М.

Сибирский государственный индустриальный университет  
Новокузнецк, Россия, yaskevich\_omt@mail.ru

Универсальная формула определения подвижности кинематической цепи, выведенная Добровольским в 1936 г. [1], имеет вид

$$W = (6 - m)n - \sum (k - m)p_k, \quad (1)$$

где  $W$  – подвижность механической цепи,  $n$  – число подвижных звеньев цепи,  $k$  – класс кинематических пар,  $k = 1, 2, 3, 4, 5$  (пары 5 класса – одноподвижные).

В формуле (1) Добровольским введен параметр  $m$  в виде целого положительного числа, которое определяет количество общих накладываемых на всю механическую систему связей. Этот параметр может изменяться от  $m = 0$  до  $m = 4$  и быть только целочисленным и положительным. По предложению академика Артоболевского И.И. в зависимости от  $m$  механизмы различаются по семействам. Всего семейств механизмов пять: нулевое семейство ( $m = 0$ ), первое ( $m = 1$ ), второе ( $m = 2$ ), третье ( $m = 3$ ), и четвертое семейство ( $m = 4$ ).

Формула подвижности (1) составлена для случая, когда движение звеньев рассматривается относительно неподвижного звена – стойки.

В случае, когда стойка не определена и входит в общее число звеньев, известен метод синтеза свободных замкнутых цепей, предложенный М. Грюблером [2, 3], который применяется при проектировании плоских рычажных механизмов. Подвижность таких цепей записана Грюблером в виде

$$3n - 2p_5 = 4, \quad (2)$$

здесь  $n$  – общее число звеньев, соотносится с  $n$  по Добровольскому как  $n = n + 1$ .

Четверка, стоящая в правой части формулы (2) определяет возможность трех движений всей цепи в плоском пространстве ППВ и дополнительное независимое относительное движение звеньев цепи. Остановка любого из звеньев свободной замкнутой цепи организует одноподвижный механизм.

Описанный выше метод Грюблера может быть развит на механизмы всех пяти семейств. Для этого, рассматриваемую кинематическую цепь освободим от неподвижной стойки, т.е. включим её – стойку в состав звеньев формулы (1). Тогда изменится число

звеньев ( $n$ ), а именно их станет  $(n + 1)$ . Цепь станет свободной в пространстве  $m$ . Подвижность свободной цепи  $W_C$  примет вид

$$(6 - m)(n + 1) - \sum (k - m)p_k = W_C. \quad (3)$$

Раскроем в (3) скобки и получим

$$[(6 - m)n - \sum (k - m)p_k] + (6 - m) = W_C, \quad (4)$$

откуда с учетом (1) найдем, что

$$W_C = W + (6 - m) \quad (5)$$

При синтезе одноподвижных механизмов, т.е. для кинематических цепей с  $W = 1$ , в свободном состоянии эти цепи (5) будут иметь подвижность

$$W_C = 1 + (6 - m) \quad (6)$$

В зависимости от параметра  $m$  формула (6) описывает свободные цепи соответственно нулевого семейства

$$m = 0, 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1 = 7, \quad (7)$$

первого семейства

$$m = 1, 5n - 4p_5 - 3p_4 - 2p_3 - p_2 = 6, \quad (8)$$

второго семейства

$$m = 2, 4n - 3p_5 - 2p_4 - p_3 = 5, \quad (9)$$

третьего семейства

$$m = 3, 3n - 2p_5 - p_4 = 4, \quad (10)$$

и четвертого семейства

$$m = 4, 2n - p_5 = 3. \quad (11)$$

Таким образом, формулой (5) можно пользоваться как универсальной при определении подвижности

свободных замкнутых кинематических цепей любого семейства. Взятый за основу метод Грюблера позволяет при синтезе схем механизмов в качестве неподвижного звена (стойки) использовать любое звено свободной замкнутой цепи.

**Список литературы**

1. Добровольский В.В. Основные принципы рациональной классификации механизмов // Структура и классификация механизмов. М.; Л.: Издательство АН СССР, 1939. С. 5-48.
2. Grubler, M. Allgemeine Eigenschaften der zwanglaufigen ebenen kinematischen Ketten // Civilingenieur. Leipzig. 1883. No 29. pp. 167-200.
3. Дворников Л.Т. Жуковский Н.С. Адаптированный перевод с немецкого языка статьи: «Martin Grübler Allgemeine Eigenschaften der zwanglaufigen ebenen kinematischen Ketten» изданной в Лейпциге в 1883 г. // Теория механизмов и машин, 2011. №1 т. 9. с. 44-61.

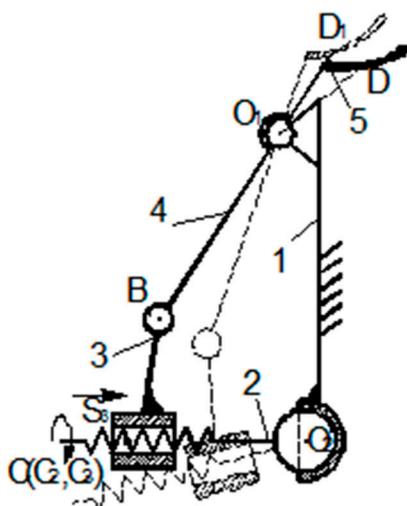
**ОПИСАНИЕ И КИНЕМАТИКА  
ВИНТО-РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА**

Яскевич О.М.

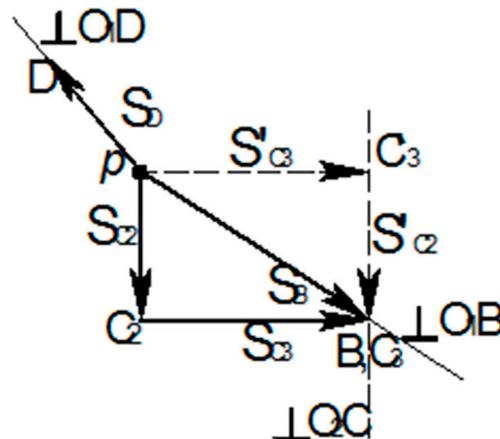
*Сибирский государственный индустриальный университет  
Новокузнецк, Россия, yaskevich\_omm@mail.ru*

Создание и исследование новых рычажных механизмов является актуальной проблемой, так как они широко применяются для решения различных технических задач. В частности, такие механизмы могут использоваться в медицине. На рисунке а. изображена кинематическая схема четырехзвенного винто-рычажного механизма, спроектированного для преобразования вращательного движения винта в угловое перемещение рычага.

Механизм выполнен стойке 1. Он состоит из трех подвижных частей – винта 2, гайки 3 и рычага 4. Винт 2 входит в трехподвижную сферическую кинематическую пару со стойкой 1, и со стороны гайки 3 в винтовое соединение. Рычаг 4 со стороны гайки 3 и стойки 1 входит в одноподвижные вращательные кинематические пары (шарниры). Ложка 5 – рабочий орган приведенного механизма.



а – кинематическая схема



б – план смещений

Четырехзвенный винто-рычажный механизм

Механизм выполнен стойке 1. Он состоит из трех подвижных частей – винта 2, гайки 3 и рычага 4. Винт 2 входит в трехподвижную сферическую кинематическую пару со стойкой 1, и со стороны гайки 3 в винтовое соединение. Рычаг 4 со стороны гайки 3 и стойки 1 входит в одноподвижные вращательные кинематические пары (шарниры). Ложка 5 – рабочий орган приведенного механизма.

Смещения точек и звеньев определены при помощи графо-аналитического метода [1]. План смещений изображен на рисунке б.

При повороте винта 2 вокруг собственной оси, гайка 3 получит смещение  $S_3 = S_{C3}$ . Величина  $S_{C3}$  известна, а направление совпадает с направлением звена 3 (отрезок  $O_2C$ ), т.к. движение звена 3 параллельно звену 2. На плане это смещение показано век-