

$$(\bar{S}_1 + \bar{l}_1) + \bar{l}_3 = \bar{l}_5. \quad (1)$$

$$(\bar{S}_2 + \bar{l}_2) + \bar{l}_3 + \bar{l}_4 = \bar{l}_6. \quad (2)$$

Спроецируем вектора контура  $O_1AO_3O_1$  из уравнения 1 на оси координат

$$\begin{cases} (S_1 + l_1) \cdot \cos \varphi_1 + l_3 \cdot \cos \varphi_3 = l_5 \cdot \cos \alpha, \\ (S_1 + l_1) \cdot \sin \varphi_1 + l_3 \cdot \sin \varphi_3 = l_5 \cdot \sin \alpha. \end{cases} \quad (3)$$

Из системы уравнений (3) можно определить  $\varphi_1$  и  $\varphi_3$  как функции времени.

Найдем зависимость  $\varphi_3(t)$ . Разделим переменные и возведем в квадрат.

$$\begin{cases} ((S_1 + l_1) \cdot \cos \varphi_1)^2 = (l_5 \cdot \cos \alpha - l_3 \cdot \cos \varphi_3)^2, \\ ((S_1 + l_1) \cdot \sin \varphi_1)^2 = (l_5 \cdot \sin \alpha - l_3 \cdot \sin \varphi_3)^2. \end{cases} \quad (4)$$

Упростим и сложим левые и правые части уравнений системы

$$(S_1 + l_1)^2 \cdot (\cos^2 \varphi_1 + \sin^2 \varphi_1) = l_5^2 \cdot (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) + l_3^2 \cdot (\cos^2 \varphi_3 + \sin^2 \varphi_3) - 2 \cdot l_5 \cdot l_3 \cdot (\cos \alpha \cdot \cos \varphi_3 + \sin \alpha \cdot \sin \varphi_3)$$

Используя тригонометрические формулы

$$\begin{aligned} \cos^2 \varphi_1 + \sin^2 \varphi_1 &= 1, \quad \cos^2 \varphi_3 + \sin^2 \varphi_3 = 1, \\ \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha &= 1, \quad \cos \alpha \cdot \cos \varphi_3 + \sin \alpha \cdot \sin \varphi_3 = \cos(\alpha - \varphi_3), \end{aligned}$$

получим

$$(S_1 + l_1)^2 = l_5^2 + l_3^2 - 2 \cdot l_5 \cdot l_3 \cdot \cos(\alpha - \varphi_3).$$

Откуда

$$\cos(\alpha - \varphi_3) = \frac{l_5^2 + l_3^2 - (S_1 + l_1)^2}{2 \cdot l_5 \cdot l_3}. \quad (5)$$

Учитывая, что  $S_1 = V_1 \cdot t$ , получим

$$\varphi_3 = \alpha - \arccos \left( \frac{l_5^2 + l_3^2 - (V_1 \cdot t + l_1)^2}{2 \cdot l_5 \cdot l_3} \right). \quad (6)$$

Проведя аналогичные преобразования, можно найти зависимость  $\varphi_1(t)$ :

$$\varphi_1 = \alpha - \arccos \left( \frac{V_1 \cdot t + l_1}{2 \cdot l_5} + \frac{l_5^2 - l_3^2}{2 \cdot l_5 \cdot (V_1 \cdot t + l_1)} \right) \quad (7)$$

Дифференцируя уравнения 6 и 7 по времени, можно найти угловые скорости и ускорения звеньев 1, 2 и 3.

Проецируя вектора контура  $O_2BAO_3O_2$  из уравнения 2, таким же образом можно найти зависимости  $\varphi_2(t)$  и  $\varphi_4(t)$ .

#### Список литературы

1. Тутынин А.В., Дворников Л.Т. Кинематическое исследование механизма роликового кантователя графо-аналитическим методом // МашинноСтроение: материалы XXI региональной научно-практической конференции по проблемам механики и машиностроения. Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2011. № 21. С. 61-73.

#### О ВОЗМОЖНОСТИ СИНТЕЗА ПРОСТЕЙШИХ ШАРНИРНЫХ МЕХАНИЗМОВ РАЗЛИЧНЫХ СЕМЕЙСТВ

Фомин А.С., Маракулина М.М.

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Российская Федерация, alexey-nvk@mail.ru

В соответствии с числом общих наложенных на механизм условий связи ( $m$ ), впервые введенным

Артоболовским И.И., все механизмы делятся на пять семейств [1]. Параметр  $m$  может принимать исключительно целые положительные значения от 0 до 4. При введении  $m$  для каждого из семейств в универсальную структурную формулу подвижности Добровольского В.В. [2], записанную в виде

$$W_m = (6 - m)n - \sum_{k=5}^{k=m-1} (k - m)p_k \quad (1)$$

получим аналитические зависимости, описывающие структуру механизмов всех пяти семейств. Приведем ниже эти зависимости для нулевого ( $m=0$ ), первого ( $m=1$ ), второго ( $m=2$ ), третьего ( $m=3$ ) и четвертого ( $m=4$ ) семейств

$$W_0 = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1, \quad (2)$$

$$W_1 = 5n - 4p_5 - 3p_4 - 2p_3 - p_2, \quad (3)$$

$$W_2 = 4n - 3p_5 - 2p_4 - p_3, \quad (4)$$

$$W_3 = 3n - 2p_5 - p_4, \quad (5)$$

$$W_4 = 2n - p_5 \quad (6)$$

в которых  $n$  – числа подвижных звеньев механизмов, а  $p_5, p_4, p_3, p_2$  и  $p_1$  – числа кинематических пар пятого, четвертого, третьего, второго и первого классов.

Обратимся к задаче синтеза кинематических схем простейших шарнирных механизмов всех семейств. Отметим, что в четвертом семействе невозможно создание шарнирных механизмов. Это связано с тем, что звенья таких механизмов имеют только два относительных движения в трехмерном декартовом пространстве (рис. 1).

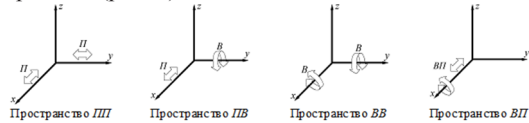


Рис. 1. Трехмерные декартовы пространства, в которых работают механизмы четвертого семейства

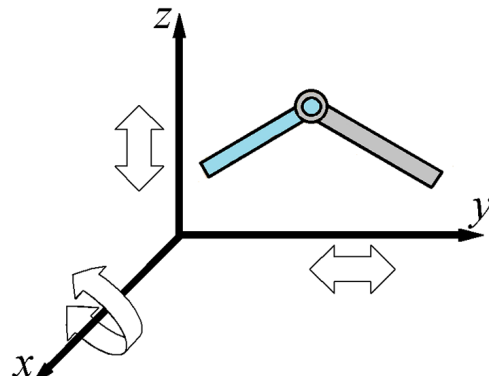


Рис. 2. Относительные движения звеньев, соединенных шарниром

Для звеньев, соединенных шарниром требуется три относительных движения в пространстве, среди которых два смещения вдоль двух осей в плоскости и один поворот в этой же плоскости (рис. 2).

Таким образом, шарнирные механизмы могут быть созданы во всех семействах кроме четвертого.

Для определения структур простейших шарнирных механизмов нулевого, первого, второго и третьего семейств обратимся к поиску параметров чисел звеньев и пар простейших групп нулевой подвижности (ГНП) указанных семейств. Для этого преобразуем формулы подвижности (2)-(5) с учетом использова-

ния в них только шарниров (одноподвижных пар  $p_5$ ), когда  $p_1=0$ ,  $p_2=0$ ,  $p_3=0$  и  $p_4=0$ . Таким образом, запишем формулы (2) - (5) с учетом поставленных условий в виде

$$W_0 = 6n - 5p_5,$$

$$W_1 = 5n - 4p_5,$$

$$W_2 = 4n - 3p_5,$$

$$W_3 = 3n - 2p_5,$$

$$W_4 = 2n - p_5.$$

При введении  $W=0$  в каждое из полученных уравнений определим зависимости между минимальным числом звеньев  $n$  и шарниров  $p_5$  ГНП. Так для нулевого семейства получим  $n = \frac{5p_5}{6}$ , для первого  $n = \frac{4p_5}{5}$ , для второго  $n = \frac{3p_5}{4}$  и для третьего  $n = \frac{2p_5}{3}$ . Тогда из найденных зависимостей минимальными значениями для  $n$  и  $p_5$  будут соответственно в нулевом семействе -  $n=5$  и  $p_5=6$ , в первом семействе -  $n=4$  и  $p_5=5$ , во втором семействе -  $n=3$  и  $p_5=4$  и в третьем семействе -  $n=2$  и  $p_5=3$ . Тогда, при соединении ГНП с ведущим звеном механизма, получим для систем с  $W=1$  в нулевом семействе -  $n=6$  и  $p_5=7$ , в первом семействе -  $n=5$  и  $p_5=6$ , во втором семействе -  $n=4$  и  $p_5=5$ , в третьем семействе -  $n=3$  и  $p_5=4$ .

По полученным параметрам приведем на рис. 3-6 шарнирные механизмы нулевого, первого, второго и третьего семейств.

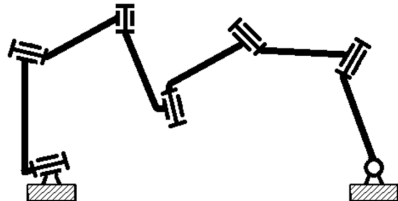


Рис. 3. Пространственный семизвеньный механизм нулевого семейства

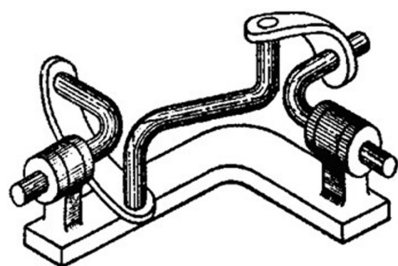


Рис. 4. Механизм двойного универсального шарнира первого семейства [3]

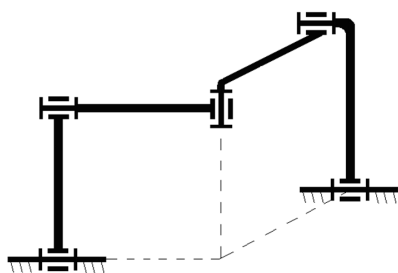


Рис. 5. Пространственный пятизвеновик второго семейства [4]

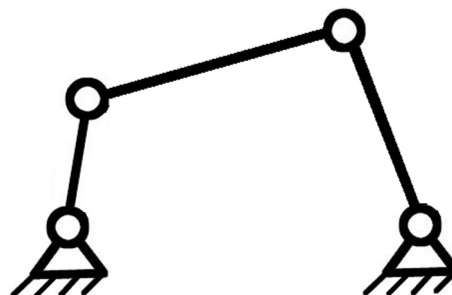


Рис. 6. Шарнирный четырехзвеновик третьего семейства

Таким образом, шарнирные механизмы могут быть созданы во всех семействах кроме четвертого. Простейшими механизмами являются в нулевом семействе – семизвеньный, в первом – шестизвеньный, во втором – пятизвеньный и в третьем – четырехзвеньный. Более сложные механизмы могут быть синтезированы путем последовательного наложения ГНП. При этом могут быть созданы и неодносемейственные шарнирные механизмы при соединении цепей разных семейств.

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

**Список литературы**

1. Артоболевский, И.И. Основы единой классификации механизмов / И.И. Артоболевский // Известия АН СССР. ОТН. 1939. Вып. 10. С. 27-40.
2. Добровольский, В.В. Основные принципы рациональной классификации механизмов / В.В. Добровольский // Структура и классификация механизмов. М.; Л.: Издательство АН СССР. 1939. С. 5-48.
3. Артоболевский, И.И. Механизмы в современной технике: Справочное пособие. В 7 томах. Т.П: Рычажные механизмы [Текст] / И.И. Артоболевский. 2-е изд., перераб. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1971. 1008 с.
4. Фомин, А.С. Разработка методов структурного синтеза, кинематического и кинестатического анализа механизмов второго семейства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.18 / Фомин Алексей Сергеевич; Омский гос. техн. ун-т. Омск, 2013. 20 с.

**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ НЕОДНОСЕМЕЙСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА**

Фомин А.С., Парамонов М.Е.

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Российская Федерация, alexey-nvkz@mail.ru

В настоящей работе обосновывается устройство и принцип действия пятизвенового винто-рычажного механизма [1], показанного на рис. 1.

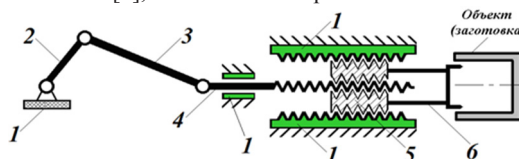


Рис. 1. Кинематическая схема пятизвенового винто-рычажного механизма

Механизм состоит из стойки 1, кривошипа 2, шатуна 3, винта 4 и гайки 5, выполненной за одно целое со схватом 6. Принцип работы механизма заключается в следующем. Задавая вращение кривошипу 2 (входное звено), шатун 3 передаст движение винту 4, который, накручивая на себя гайку 5 (выходное звено), приведет ее в движение. Схват 6, жестко установленный на гайке 5, служит для перемещения или поворота объекта (заготовки) на требуемый угол, который всегда может быть определен через шаг резьбы винта. Винто-рычажный пятизвеновый механизм может быть также приме-