УДК 621.01

Р. А. Мирзаев, Н. А. Смирнов, А. Н. Смирнов

# РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПРИВОДОВ МЕХАНИЗМА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

*Выполнен расчет положения выходного звена в механизме параллельной кинематики. Создана компьютерная модель для анализа движения дельта-механизма. Получены данные о крайних положениях устройства параллельной структуры. Найдена система уравнений, описывающая зависимость координат выходного звена от обобщенных координат.*

*Ключевые слова: приводы механизмов, устройства параллельной кинематики, кинематические цепи, мехатроника.*

В настоящее время в таких перспективных отраслях промышленности, как ракетно-космическая техника и станкостроение, актуальной является задача увеличения точности приводов ориентирующих устройств. Обычно для решения этой задачи используются многозвенные рычажные или гибкие манипуляторы [1; 2].

Серьезным недостатком таких манипуляторов является их небольшая жесткость, снижающая точность отработки заданных перемещений и затрудняющая управление приводами. Для устранения указанных недостатков разработаны механизмы с параллельной структурой (дельта-механизмы). Однако применение таких механизмов невозможно без решения прямой и обратной задачи кинематики манипуляторов, которое усложняется наличием нескольких кинематических цепей, налагающих ограничения на перемещения выходного звена [3].

Для решения прямой и обратной задачи кинематики манипуляторов применяются два подхода: компьютерное моделирование (рис. 1) и аналитический расчет [4].

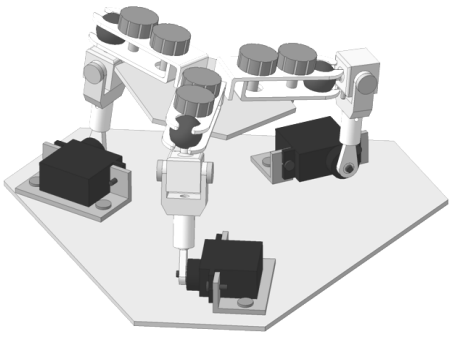


Рис. 1. Компьютерная модель дельта-механизма

Рассмотрим дельта-механизм, содержащий три кинематические цепи, каждая из которых состоит из цилиндрического и сферического шарниров (рис. 2).

Для кинематического анализа дельта-механизмов применяется формула Сомова–Малышева [6]. Общее число $H$ степеней подвижности механизма относительно неподвижного звена (основания) для пространственной кинематической структуры определяется по формуле

$$H = 6\cdot(k-1) - 5p_1 - 4p_2 - 3p_3 - 2p_4 - p_5,$$

где $k$ – общее число звеньев кинематической цепи; $p_i$ – число пар с $i$ степенями свободы.

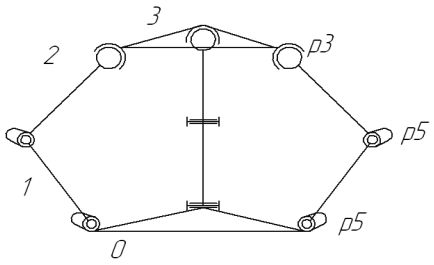



Рис. 2. Схема дельта-механизма [5]:
*0*, *1*, *2*, *3* – звенья кинематической цепи; *p*3 – сферический шарнир; *p*5 – цилиндрический шарнир

Число степеней свободы для модели дельта-механизма, изображенной на рис. 4, равно трем: две вращательные и одна поступательная.

После определения степеней подвижности дельта-механизма, при помощи компьютерного моделирования была решена задача нахождения крайних положений выходного звена.

При применении устройств параллельной кинематики для ориентации антенн и телескопов космической техники главным параметром является угол наклона выходного звена Ω с координатами $X_1$, $Y_1$, $Z_1$ относительно координат основания $X_0$, $Y_0$, $Z_0$. Графики углового перемещения, полученные при компьютерном моделировании движения дельта-механизма, приведены ниже (рис. 3–5).

Задача определения положения выходного звена манипулятора может быть решена не только при помощи компьютерного моделирования, но и аналитически (рис. 6).

Прямая задача кинематики манипуляторов сначала решается для одной кинематической цепи ($l_1$, $l_2$, $l_3$), при этом другие кинематические цепи, состоящие из звеньев $l'_1$, $l'_2$, приняты статичными. Затем аналогичный расчет проводится и для остальных кинематических цепей.

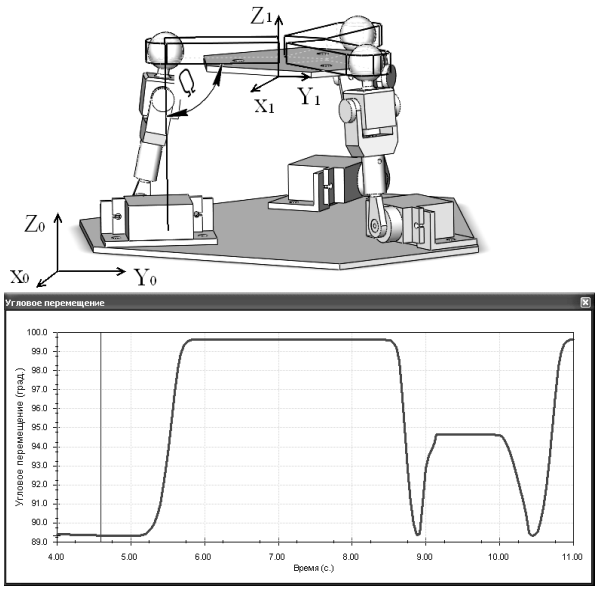



Рис. 3. Крайнее верхнее положение выходного звена дельта-механизма

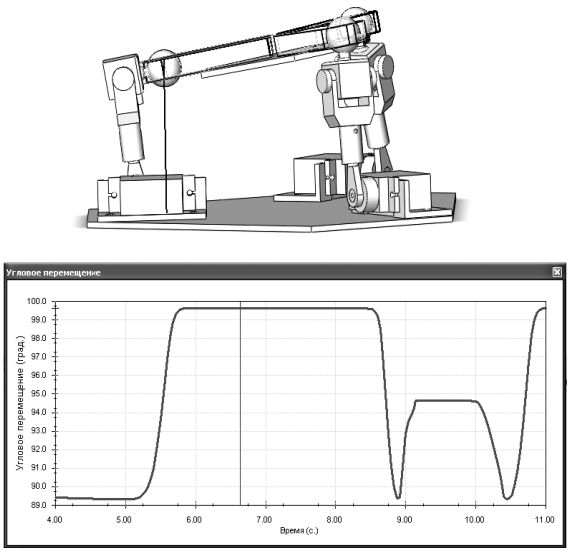



Рис. 4. Промежуточное положение выходного звена

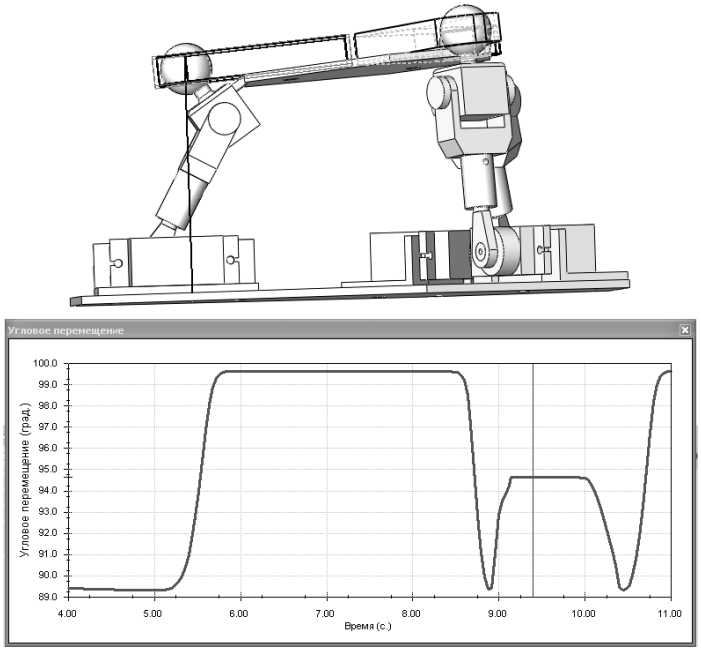



Рис. 5. Крайнее нижнее положение выходного звена

В результате будут получены функции зависимости координаты выходного звена Ω от обобщенных координат кинематической цепи $\varphi_1$, $\varphi_2$, $\varphi_3$, находящейся в плоскости *ZOY*:

$$\begin{cases} y: B - l_1 \cdot \cos(\varphi_1) - l_2 \cdot \cos(\varphi_2 - \frac{3}{2}\pi + \varphi_1) - l_3 \cdot \sin(\Omega) = 0, \\ z: l_1 \cdot \sin(\varphi_1) + l_2 \cdot \sin(\varphi_2 - \frac{3}{2}\pi + \varphi_1) - l_3 \cdot \cos(\Omega) = H, \\ 3\pi - \frac{1}{2}\pi - \varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_3 = \Omega. \end{cases}$$

Для нахождения координат в крайних положениях механизма целесообразно перестроить механизм так, как показано на рис. 7.

Минимальное значение угла Ω (рис. 7, *а*) рассчитывается с помощью системы

$$\begin{cases} y: B - l_1 \cdot \cos(\varphi_1) - (l_2 + l_3) \cdot \sin(\Omega_{\min}) = 0, \\ z: l_1 \cdot \sin(\varphi_1) - (l_2 + l_3) \cdot \cos(\Omega_{\min}) = H, \\ 2\pi - \frac{1}{2}\pi - \varphi_1 - \varphi_2 = \Omega_{\min}. \end{cases}$$

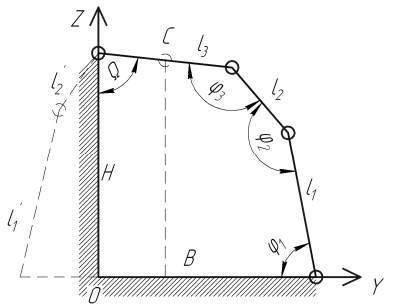
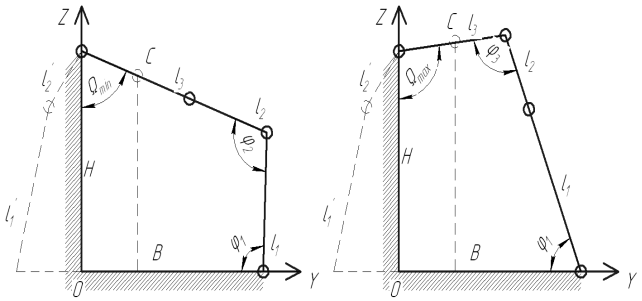



Рис. 6. Расчетная схема дельта-механизма:
$l_1$, $l_2$, $l_3$ – подвижные звенья кинематической цепи; $l'_1$, $l'_2$ – зафиксированные звенья; $\varphi_1$, $\varphi_2$, $\varphi_3$ – углы поворота звеньев; $\Omega$ – угол поворота выходного звена; C – центр выходного звена




*а* *б*

Рис. 7. Расчетная схема дельта-механизма в крайних положениях:
*а* – $\Omega_{min}$; *б* – $\Omega_{max}$

Максимальное значение угла $\Omega$ (рис. 7, *б*) определяется решением системы

$$\begin{cases} y: B-\left(l_1+l_2\right)\cdot\cos(\varphi_1)-l_3\cdot\sin(\Omega_{\max})=0, \\ z:\left(l_1+l_2\right)\cdot\sin(\varphi_1)-l_3\cdot\cos(\Omega_{\max})=H, \\ 2\pi-\dfrac{1}{2}\pi-\varphi_1-\varphi_3=\Omega_{\max}. \end{cases}$$

Таким образом, нами выполнен расчет положения выходного звена в механизме параллельной кинематики. Создана компьютерная модель для анализа движения дельта-механизма. Получены данные о крайних положениях устройства параллельной структуры. Найдена система уравнений, описывающая зависимость координат выходного звена от обобщенных координат кинематической цепи.

**Библиографические ссылки**

1. Крайнев А. Ф. Идеология конструирования. М. : Машиностроение, 2003.

2. Яблонский А. А. Курс теоретической механики : учебник для вузов. 8-е изд. СПб. : Лань, 2001.

3. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. М. : Машиностроение, 2007.

4. Pashkevich A. Stiffness Analysis of Overconstrained Parallel Manipulators [Electronic resource]. URL: http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0904/0904.0052.pdf (date of visit: 02.11.2011).

5. Мирзаев Р. А. Кинематика подвижной платформы на основе дельта-механизма // Решетневские чтения : материалы XV Междунар. науч. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2011. Ч. 1. С. 239–240.

6. Глазунов В. А. Определение положений выходного звена *l*-координатных механизмов // Машиноведение. 1989. № 3. С. 49–53.

R. A. Mirzaev, N. A. Smirnov, A. N. Smirnov

**CALCULATION OF MOTION DRIVE OF PARALLEL MECHANISM**

*The authors present the solution of a problem of calculation of the output link in a mechanism of parallel kinematics and developed a computer model for analysis of motion of delta mechanism. Data on the limit positions of the device of parallel structure are achieved and the system of equations, describing the correlation between the output links of the main coordinates, is found.*

*Keywords: accessory drive, devices of parallel kinematics, kinematic chains, mechatronics.*

© Мирзаев Р. А., Смирнов Н. А., Смирнов А. Н., 2011