С. Е. Карпович, А. Ю. Войтов, Н. И. Кекиш
г. Минск, БГУИР

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ТРЕХКООРДИНАТНЫМ ГИБРИДНЫМ ПРИВОДОМ

Системы перемещений на многокоординатных приводах и механизмах параллельной кинематики [1] находят всё большее применение в спецтехнологическом оборудовании микро- и наноэлектроники, включая сборочное и оптико-механическое. Они представляют собой механо-аппаратно-программные комплексы, относящиеся к классу мехатронных систем перемещений [2]. Структурно их можно разделить на две функциональные составляющие: многокоординатный привод и исполнительный механизм параллельной кинематики. Многокоординатный привод может быть построен как на параллельном сочетании необходимого количества однокоординатных управляемых двигателей линейного или поворотного типов, либо на использовании одного гибридного многокоординатного двигателя, в котором управление всеми отдельными сегментами происходит через специальный контроллер от программы верхнего уровня управляющей ЭВМ. Для прецизионного оборудования микроэлектроники характерны технологические операции, связанные с перемещением объектов обработки или инструмента в трёхмерном пространстве с двумя и более степенями свободы. Реализация этого наиболее эффективно, по нашему мнению, может быть осуществлена именно на сочетании специального гибридного многокоординатного привода и соответствующего механизма параллельной кинематики.

В отличие от традиционных схем построения многокоординатного привода, когда каждая координата представляет собой отдельный механо-аппаратный модуль, в используемых нами гибридных приводах реализована конструктивная интеграция необходимых степеней свободы в одном многокоординатном приводе с общим аппаратным и программным интерфейсом для всех задействованных обобщённых координат [2].

В настоящей статье рассматривается система перемещений с тремя степенями свободы (рисунок 1), построенная на кольцевом гибридном приводе и механизме параллельной кинематики на основе пространственной группы Ассура 3-го класса [1,3]. Эта система перемещений может быть использована для реализации лазерных технологий в оборудовании производства изделий электронной техники. Представлена разработанная алгоритмизация математических моделей позиционирования выходного звена (рабочей платформы) в зависимости от положения трёх автономноуправляемых сегментных модулей движения на кольцевой направляющей гибридного трехкоординатного привода.

Структурно-кинематическая схема исполнительного механизма параллельной кинематики с трехкоординатным системным приводом представлена на рисунке 2.

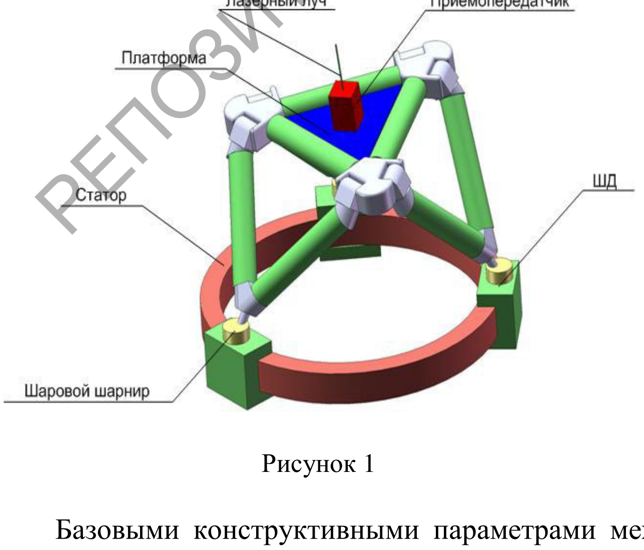

Рисунок 1

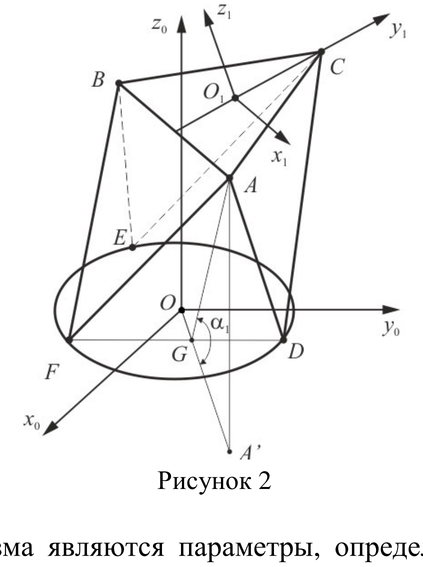

Рисунок 2

Базовыми конструктивными параметрами механизма являются параметры, определяющие его геометрическую конфигурацию: R – средний радиус кольцевого привода, длины сторон, подвижных треугольных звеньев AFB, ADC и CEB, принятые в статье равными между собой и равными a. Функции положения ведущих звеньев, определяющие положение во времени каждого из трех подвижных сегментов, в работе задаются текущими значениями углов β_1, β_2 и β_3 положения точек, соответственно D, E и F на кольцевой направляющей и углами γ_1, γ_2, γ_3, вычисляемые через соответствующие угла β_i (i=1, 2, 3). Изменение этих углов в процессе работы системы перемещений в конечном итоге приводит к изменению пространственного положения точек A, C и B подвижного треугольного звена ACB (рабочей платформы), предназначенного для выполнения технологических перемещений в рабочем трёхмерном пространстве. При необходимости, по текущим координатам точек A, C и B могут быть получены функции положения платформы в виде трёх линейных и трёх угловых координат, определяющих текущее положение системы координат $S_1(x_1,y_1,z_1)$ в неподвижной системе координат $S_0(x_0,y_0,z_0)$.

В качестве линейных координат могут быть приняты координаты точки O_1 начало системы координат $S_1(x_1,y_1,z_1)$ в неподвижной системе координат $S_0(x_0,y_0,z_0)$, а в качестве угловых координат могут быть приняты углы Эйлера φ, θ, ψ [2], выражаемые через координаты точек A, C и B подвижной треугольной платформы.

Целью настоящей статьи является алгоритмизация задачи позиционирования для рассматриваемой пространственной системы перемещений (рисунок 1), заключающаяся в нахождении в системе координат S_0 текущих координат точек A, C и B в зависимости от положения ведущих точек D, E и F, задаваемых переменными углами β_1, β_2 и β_3, параметрическое представление которых во времени позволяет находить в общем случае функции положения всех точек и звеньев исполнительного механизма, координаты положения и ориентации рабочей платформы. Такая задача в аналитической механике мехатронных систем перемещений и робототехнике называется прямой задачей кинематики [3].

Рассмотрим формирование математической модели решения прямой задачи кинематики исполнительного манипуляционного механизма, представленного на рисунке 2. Так как этот механизм относится к классу механизмов параллельной кинематики, то при выводе математической модели он допускает фрагментацию по отдельным параллельным кинематическим цепям, в данном случае в виде трёх подвижных треугольников: DAF, DCE, EBF. Аналитическое описание любого из этих фрагментов может быть интерпретировано как рекуррентное аналитическое представление и для двух других, не нарушая общности, рассмотрим фрагмент механизма DAF (рисунок 2). Здесь DA и AF стороны соседних подвижных треугольных звеньев ADC и AFB. При изменении положения точек D и F подвижных сегментов привода на направляющей окружности статора меняется положение и ориентация треугольника DAF. В качестве обобщённой координаты, определяющей его положение в переносном движении, выберем угол α_1 наклона треугольника DAF к плоскости направляющей окружности. На основании такой расчётной геометро-кинематической модели окончательно получим аналитическое представление пересчёта координат x_A, y_A, z_A точки A в систему координат $S_0(x_0,y_0,z_0)$:

$$\begin{cases} x_A = \dfrac{R}{2}(\cos\beta_1 + \cos\beta_3) + \sqrt{a^2 + \dfrac{R^2}{2}(\sin\beta_1 \sin\beta_3 + \cos\beta_1 \cos\beta_3 - 1)}\cos\alpha_1 \cos\gamma_1; \\ y_A = \dfrac{R}{2}(\sin\beta_1 + \sin\beta_3) + \sqrt{a^2 + \dfrac{R^2}{2}(\sin\beta_1 \sin\beta_3 + \cos\beta_1 \cos\beta_3 - 1)}\cos\alpha_1 \sin\gamma_1; \\ z_A = \sqrt{a^2 + \dfrac{R^2}{2}(\sin\beta_1 \sin\beta_3 + \cos\beta_1 \cos\beta_3 - 1)}\sin\alpha_1. \end{cases} \quad (1)$$

Рассматривая уравнения, полученные в (1), как рекуррентные легко определить координаты двух других точек B и C подвижного в трёхмерном пространстве треугольника ABC. Для точки C координаты x_C, y_C, z_C будут определяться по выражениям (1) при замене обозначений α_1 на α_2, β_3 на β_2. Для точки B координаты x_B, y_B, z_B будут также определяться по выражению (1) при замене обозначений α_1 на α_3, β_1 на β_2.

Таким образом, формируется математическая модель расчёта координат точек A, C и B подвижного треугольника ACB в неподвижной системе S_0 в зависимости от обобщённых угловых координат α_1, α_2 и α_3, которые могут быть найдены из условия замыкания механизма параллельной кинематики (рисунок 2) на жесткое треугольное звено ACB, неизменное в процессе движения. Условие замыкания записывается в виде системы нелинейных уравнений выражающих каждую из сторон, равную длине a, треугольника ACB через координаты точек A, C и B:

$$\begin{cases}(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2 = a^2;\\(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2 + (z_C - z_B)^2 = a^2;\\(x_A - x_C)^2 + (y_A - y_C)^2 + (z_A - z_C)^2 = a^2.\end{cases} \qquad (2)$$

Система (2) представляет собой нелинейную трансцендентную систему, решение которой возможно только численными методами. Особенность нахождения состоит в том, что в данном случае мы располагаем хорошим первым приближением, определяемым известной начальной конфигурацией механизма. Поэтому выбор метода оптимизации не является критическим. Для численного решения системы (2) нами был использован пакет оптимизации программной среды Matlab. В результате компьютерного численного решения были получены текущие значения углов α_1, α_2 и α_3 однозначно соответствующие текущим положениям точек *D*, *E* и *F*, определяющих входные позиционные характеристики управляемых сегментов на кольцевом приводе. Используя найденные значения углов α_1, α_2, α_3 по уравнениям аналогичным уравнению (1) получим текущие координаты точек *A*, *C* и *B* подвижного выходного звена управляемой платформы, которые полностью характеризуют положение и ориентацию плоского звена *ABC* в трёхмерном пространстве.

Таким образом, в работе предложена алгоритмизация прямой задачи кинематики, как задачи позиционирования для системы перемещений на механизме параллельной кинематики с треугольными подвижными звеньями, приводимыми в движение трехкоординатным гибридным приводом кольцевого типа. Получены вычислительные алгоритмы, позволяющие находить параметрические функции положения точек *A*, *C* и *C* треугольной подвижной платформы в зависимости от задаваемых законов перемещений ведущих сегментов привода. Последующее компьютерное моделирование предложенной системы перемещений в среде Matlab по разработанным алгоритмам решения прямой задачи кинематики позволяет получать все необходимые для её разработки геометрокинематической характеристики, включая: функции положения всех подвижных звеньев, рабочую область перемещений конечного звена, интерактивную визуализацию системы перемещений.

Список использованных источников

1 Карпович, С. Е. Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования / С. Е. Карпович, В. В. Жарский, И. В. Дайняк, Е. А. Литвинов. – Минск : Беспринт, 2013. – 208 с.

2 Аналитическая механика и мехатронные системы перемещения / С. Е. Карпович [и др.] ; под ред. С. Е. Карповича. – Минск : Технопринт, 2004. – 187 с.

3 Heimann, B. Mechatronika. Komponenty, metody, przyklady / B. Heimann, W. Gerth, K. Popp. – Warzawa : PWN, 2001. – 351 s.