

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ I-КООРДИНАТ ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМЫ ГЕКСАПОДА

Яковлев А.С.

Научный руководитель: Малышенко А.М., д.т.н., профессор  
Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30  
E-mail: alexyakovlev90@gmail.com

Параллельная кинематика в современных механизмах находит самое широкое применение, что обусловлено ее преимуществами, в сравнении с разомкнутыми кинематическими цепями механизмов. К таким преимуществам относят, прежде всего, повышенную жесткость, которая обусловлена равномерным распределением усилий в приводах по всей структуре механизма. Параллельная структура также позволяет развивать более высокие скорости перемещения рабочего органа и ускорения, а за счет более компактного исполнения механизма резко снижается его металлоемкость.

Следует отметить, что механизмом параллельной структуры называется такой механизм, основание которого связано с рабочим звеном несколькими приводными или жесткими кинематическими цепями, причем каждая цепь соединяется только с рабочим звеном и с основанием.

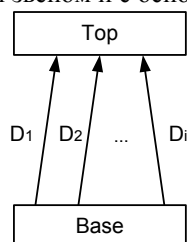


Рис. 1. Структурная схема механизмов с параллельной кинематикой

Из всего многообразия механизмов параллельной структуры особый интерес представляет класс механизмов, в которых все звенья работают только на растяжение-сжатие. В него входят механизмы, все приводы которых линейные, а оси сопряженных звеньев должны пересекаться в одной точке. Общий вид структурной схемы механизма с параллельной кинематикой представлен на рисунке 1.

Одним из перспективных направлений в создании современных мехатронных машин является использование принципов построения машин с параллельной кинематикой, в основе которых лежит метод I-координат [1, 2].

В системе I-координат положение твердого тела в пространстве определяется с помощью шести чисел  $l_1, l_2, \dots, l_6$ , равных длинам отрезков, соединяющих точки тела с точками неподвижной базы таким образом, что при заданных значениях  $l_1, l_2, \dots, l_6$  образуется геометрически неизменяемая фигура.

Большое распространение на сегодняшний день получили I-координатные роботы, в манипуляторах которых выходное звено перемещается приводами, регулирующими расстояние между заданными точками основания и выходного звена. К числу таких механизмов и относится гексапод (в литературе можно встретить также название «платформа Стюарта»). Гексапод имеет две платформы, подвижную и неподвижную, шарнирно соединенные шестью стержнями переменной длины (приводами). Такой механизм имеет шесть степеней свободы.

Несмотря на простоту идеи построения таких машин, имеющих, несомненно, ряд существенных достоинств, при их создании встает ряд задач, таких как структурный анализ и синтез преобразования координат пространственного положения выходного звена в I-координаты управляемых линейных приводов.

Для решения поставленных задач введем следующие системы координат, указанные на рисунке 2: XYZ – система координат неподвижной платформы гексапода, хуz – система координат подвижной платформы.

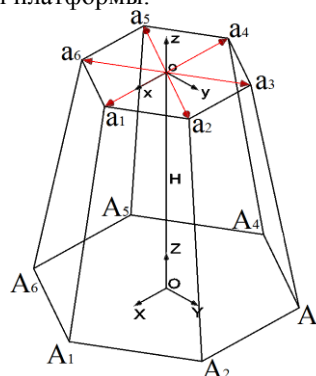


Рис. 2. Схема гексапода

Система координат хуz смещена относительно базовой системы координат XYZ на расстояние, определяемое вектором  $\mathbf{H}$ :

$$\mathbf{H} = \mathbf{Oo} = \mathbf{H}(H_x, H_y, H_z),$$

где  $H_x, H_y, H_z$  – проекции вектора  $\mathbf{H}$  на оси системы координат XYZ.

Будем считать, что известны координаты характеристических точек (шарниров) нижней платформы в базовой системе координат:

$$A_i(X_i, Y_i, Z_i), i = \overline{1, 6}.$$

Координаты шарниров верхней платформы в системе координат хуz обозначим через:

$$a_j(x_j, y_j, z_j), j = \overline{1, 6}.$$

При работе гексапода основание остается неподвижным, поэтому исходное положение шарни-

ров, расположенных на нем, не изменяется.

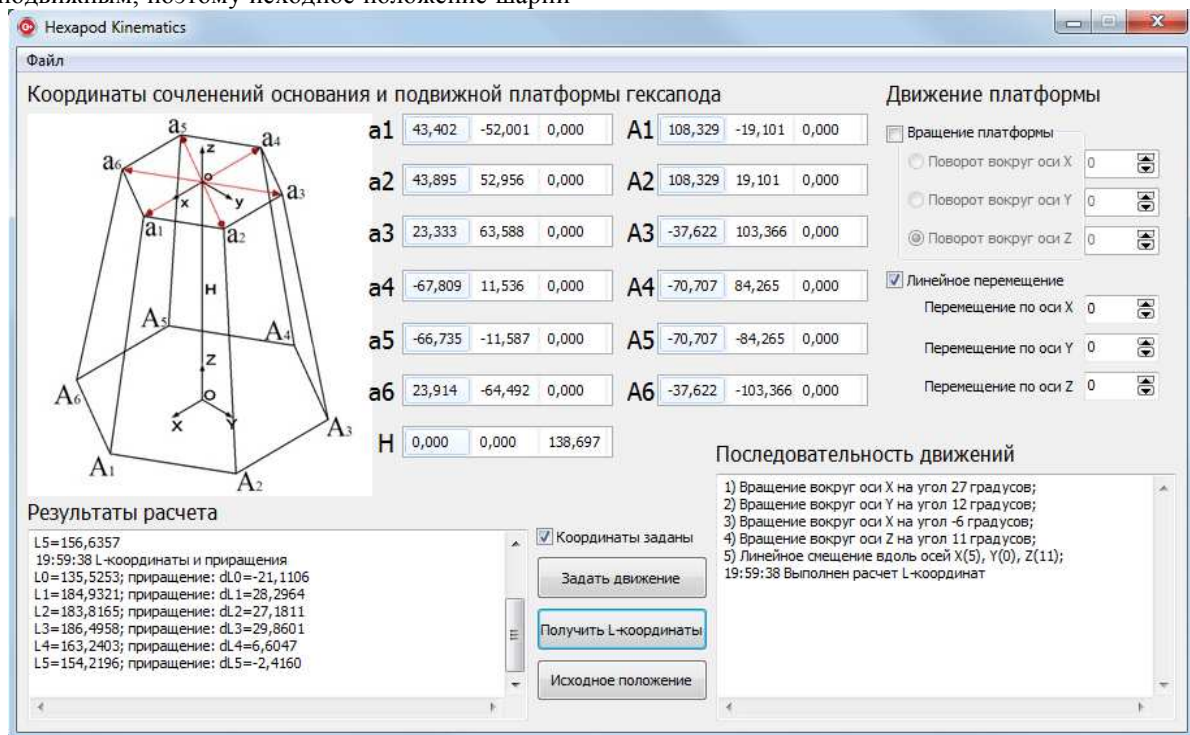


Рис. 3. Главная форма приложения для вычисления l-координат

Шарниры верхней платформы изменяют свое положение в базовой системе координат при перемещении верхней платформы. Для определения этого положения ( $a$  в дальнейшем и длин приводных звеньев) необходимо задать движения подвижной платформы. Таким образом, исходными данными в программном приложении, помимо конфигурации механизма, являются:

1. Угловое положение верхней платформы гексапода в системе координат  $x_0y_0z_0$ , которое определяется с помощью углов вращения платформы вокруг осей  $xyz$ . Причем результирующий угол поворота будет являться произведением матриц элементарных поворотов.

2. Значение параллельного переноса подвижной платформы, определяемое вектором:

$$\mathbf{M} = (M_x, M_y, M_z),$$

где  $M_x, M_y, M_z$  – проекции вектора  $\mathbf{M}$  на оси подвижной системы координат  $xyz$ .

Перечисленные исходные данные заданного движения позволяют выполнять последовательные повороты подвижной платформы гексапода вокруг осей  $xyz$  с параллельным смещением вдоль этих же осей

Радиус-векторы конечных положений шарниров  $\mathbf{a}'_{i\_конец}$ ,  $i = \overline{1,6}$  в базовой системе координат XYZ после последовательного поворота подвижной платформы вокруг осей  $xyz$  и параллельного переноса на вектор  $\mathbf{M} = (M_x, M_y, M_z)$  определяются выражением:

$$\mathbf{a}'_{i\_конец} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{a}_i + \mathbf{H} + \mathbf{M}, \quad i = \overline{1,6},$$

где  $\mathbf{a}_i(x_{a_i}, y_{a_i}, z_{a_i})$  – положения шарниров в системе координат  $xyz$ .

Вычислив координаты шарниров подвижной платформы можно без труда определить l-координаты робота:

$$\begin{cases} (x_{a_1} - x_{A_1})^2 + (y_{a_1} - y_{A_1})^2 + (z_{a_1} - z_{A_1})^2 = l_1^2; \\ (x_{a_2} - x_{A_2})^2 + (y_{a_2} - y_{A_2})^2 + (z_{a_2} - z_{A_2})^2 = l_2^2; \\ (x_{a_3} - x_{A_3})^2 + (y_{a_3} - y_{A_3})^2 + (z_{a_3} - z_{A_3})^2 = l_3^2; \\ (x_{a_4} - x_{A_4})^2 + (y_{a_4} - y_{A_4})^2 + (z_{a_4} - z_{A_4})^2 = l_4^2; \\ (x_{a_5} - x_{A_5})^2 + (y_{a_5} - y_{A_5})^2 + (z_{a_5} - z_{A_5})^2 = l_5^2; \\ (x_{a_6} - x_{A_6})^2 + (y_{a_6} - y_{A_6})^2 + (z_{a_6} - z_{A_6})^2 = l_6^2. \end{cases}$$

Получив значения l-координат манипулятора при совершении произвольных поворотов вокруг осей  $xyz$  и параллельного переноса подвижной платформы, можно также вычислить приращение по каждой координате, чтобы в дальнейшем посылать управляющие сигналы на управляемые приводы линейных перемещений.

Интерфейс разработанного программного приложения для расчета l-координат представлен на рисунке 3. Данное приложение проводит расчеты, основываясь на рассмотренном методе определения положения подвижной платформы гексапода. Программа имеет простой и интуитивно понятный интерфейс, что позволит без труда разобраться в нем пользователю. Разработка приложения производилась в среде программирования Embarcadero

C++ Builder XE 2, новой версии Borland C++ Builder.

2. Cortes J. Motion Planning Algorithms for General Closed-Chain Mechanisms. – Toulouse, 2003. – 170 p.

#### Литература

1. Merlet J.-P. Parallel Robots. – Netherlands: Springer, 2006. – 417 p.

## СИНТЕЗ МЕХАНИЗМА ОРИЕНТАЦИИ РЕФЛЕКТОРА АНТЕННЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С УДАЛЕННЫМ ОБЛУЧАТЕЛЕМ

Яковлев А.С.

Научный руководитель: Малышенко А.М., д.т.н., профессор  
Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30  
E-mail: alexyakovlev90@gmail.com

В настоящее время, для приема и передачи сигналов на космических аппаратах (КА) используются антенны самых различных типов. В зависимости от длины излучаемых или принимаемых волн, назначения антенны, а также способов ее развертывания в космосе существуют разнообразные варианты исполнения антенн имеющих различную конструкцию, размеры и даже форму. Наиболее распространёнными антеннами КА являются антенны параболической формы, из-за относительно высокого коэффициента усиления в диапазоне сантиметровых волн. В общем случае, такие антенны содержат отражатель (или рефлектор) и облучатель. Рефлектор выполнен в виде параболоида вращения для того, чтобы иметь возможность фокусировать все падающие на его поверхность (апертуру) лучи, параллельные оси параболоида, в одной точку (фокус параболоида), в которой должен быть размещен облучатель.

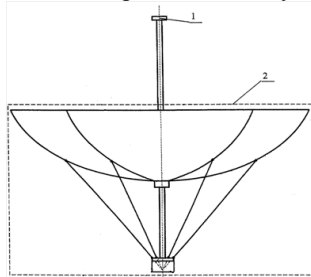


Рис. 1. Типовая схема зонтичной антенны КА: 1 – облучатель и 2 – рефлектор

Проведя анализ всевозможных конструкций и механизмов размещения антенн КА можно выделить общепринятый способ исполнения, т. к. в большинстве случаев они выполнены в виде зонта и состоят из вынесенного облучателя и раскрываемого рефлектора. Типовая схема антенны представлена на рисунке 1.

В отечественной базе патентов и изобретений, зарегистрированных в РФ и СССР, можно найти множество предложенных конструкций зонтичных антенн КА [1,2,3]. Однако, для всех предложенных изобретений характерно жесткое соединение облучателя с рефлектором. Такая конструкция является наиболее удобной, если отсутствуют

проблемы размещения такого устройства в открытом космосе.

В 2013 г. компанией ОАО Информационные спутниковые системы (ИСС) имени академика М.Ф. Решетнёва был предложен механизм размещения антенны КА таким образом, чтобы облучатель и рефлектор были размещены на отдельных штангах, закрепленных на КА. Необходимость использования такой конструкции возникла с уменьшением массогабаритных размеров КА, в результате чего начали возникать трудности с компактным размещением целевой аппаратуры (полезной нагрузки) КА. Кинематическая схема антенны представлена на рисунке 2. Очевидно, что для совмещения точки облучателя и фокуса параболоида необходимо стабилизировать положения рефлектора учитывая, что штанга облучателя подвержена динамическим возмущающим воздействиям. С этой целью было предложено использовать две кинематических пары (вращательное сочленение и карданный шарнир) для системы ориентации рефлектора.

Система функционирует следующим образом: сигнал передается от облучателя (точка  $O_0$ ), расположенного на конце штанги, к отражателю (точка  $O_{70}$ ) для его дальнейшей передачи к наземному приемному пункту. Необходимо выполнение следующих условий:

1. Сигнал от передатчика должен передаваться точно в центр рефлектора (точка приема).
2. Плоскость тарелки-приемника должна быть перпендикулярна принимаемому сигналу.

В свою очередь, штанга источника сигнала подвержена нежелательным воздействиям извне, в ходе которых она может изгибаться (угол изгиба  $\varphi_u$ ) и/или скручиваться (угол закрутки  $\varphi_z$ ). При указанных возмущающих воздействиях подвижность приемника должна обеспечивать выполнение упомянутых условий.

Необходимо выполнение следующих задач:

1. Необходимо определить конфигурацию рефлектора, чтобы после развертывания всех частей КА выполнялись требуемые условия передачи сигнала.