

# ОСОБЕННОСТИ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КИМ-1000 «ЛАПИК»

*В.А. Плюснин*

КИМ-1000 (рис. 1) имеет нетрадиционную компоновочную схему и относится к классу оборудования с параллельной кинематикой. Для оборудования данного класса характерно использование нескольких кинематических цепей, соединяющих исполнительный орган с основанием.



Рис. 1. Координатно-измерительная машина КИМ-1000 «Лапик»

В основе данного оборудования лежит механизм типа «гексапод» (другое часто используемое название – платформа Стюарта) относится к механизмам «платформенного» типа, так как в его структуре имеется многопарное звено – платформа, которое является выходным звеном, на котором может быть расположен исполнительный орган (рис. 2). Помимо платформы в показанный механизм входят 6 штанг, каждая из которых состоит из двух звеньев, образующих одноподвижную кинематическую пару. Изменение длин штанг ( $L$ -координат) позволяет изменять положение платформы (и исполнительного органа) в пространстве.

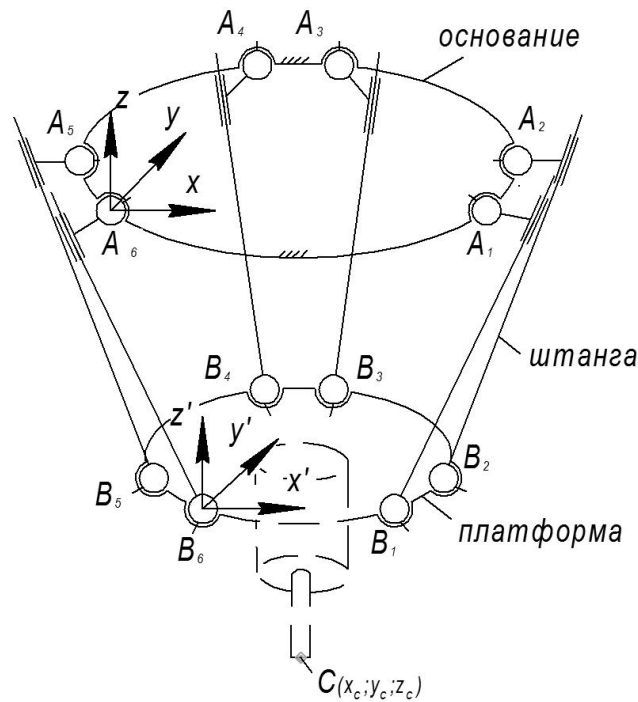


Рис. 2. Кинематическая схема КИМ-1000

Согласно формуле Сомова–Малышева:

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

где  $k$  – общее число звеньев кинематической цепи, включая основание;  $p_i$  – общее число кинематических пар с  $i$ -й степенью свободы; данный механизм обладает шестью степенями свободы ( $H = 6(14 - 1) - 5 \cdot 6 - 4 \cdot 6 - 3 \cdot 6 = 6$ ).

Пусть для КИМ с 6 степенями свободы определено ее начальное положение: определено положение инструмента в пространстве; определены углы поворота платформы. Примем, что в начальном положении платформа горизонтальна, а соответствующие оси систем координат  $A_6XYZ$  и  $B_6X'Y'Z'$  параллельны.

Координаты карданных шарниров  $A_j$  заданы в системе координат  $A_6XYZ$ . Обозначим координаты  $j$ -го шарнира как  $(x_{A_j}, y_{A_j}, z_{A_j})$  координаты этих шарнира были найдены в базе данных системы управления КИМ (табл. 1.)

Таблица 1  
Координат шарниров  $A_j$  в системе координат  $A_6XYZ$

Шарнир	Координаты
$A_1$	(1185,98;0;0)
$A_2$	(1320,98;233,827;0)
$A_3$	(729,99;1260,20;0)
$A_4$	(457,39;1260,96;0)
$A_5$	(-135,233;83,1;0)
$A_6$	(0,0,0)

Если координаты  $(x_{B_j}, y_{B_j}, z_{B_j})$  кардановых шарниров  $B_j$  известны в системе координат  $A_6XYZ$ , то можно получить шесть уравнений, связывающих параметры, определяющие положение платформа механизма со значениями  $L$ -координат:

$$\begin{aligned}
 L_1 &= (x_{A_1} - x_{B_1})^2 + (y_{A_1} - y_{B_1})^2 + (z_{A_1} - z_{B_1})^2; \\
 L_2 &= (x_{A_2} - x_{B_2})^2 + (y_{A_2} - y_{B_2})^2 + (z_{A_2} - z_{B_2})^2; \\
 L_3 &= (x_{A_3} - x_{B_3})^2 + (y_{A_3} - y_{B_3})^2 + (z_{A_3} - z_{B_3})^2; \\
 L_4 &= (x_{A_4} - x_{B_4})^2 + (y_{A_1} - y_{B_4})^2 + (z_{A_1} - z_{A_4})^2; \\
 L_5 &= (x_{A_5} - x_{B_5})^2 + (y_{A_5} - y_{B_5})^2 + (z_{A_5} - z_{B_5})^2; \\
 L_6 &= (x_{A_6} - x_{B_6})^2 + (y_{A_6} - y_{B_6})^2 + (z_{A_6} - z_{B_6})^2.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Выразим значения координат шарниров  $B_j$  в системе координат  $A_6XYZ$  (табл. 2). Расположение  $B_j$  задано в системе координат  $B_6X'Y'Z'$ .

Таблица 2  
Координат шарниров  $B_j$  в системе координат  $B_6X'Y'Z'$

Шарнир	Координаты
$B_1$	(34,22;0;0)
$B_2$	(148,81;198,48;0)
$B_3$	(131,7;228,11;0)
$B_4$	(-97,48;228,11;0)
$B_5$	(-114,59;198,48,0)
$B_6$	(0;0;0)

Для связи значений координат шарниров  $B_j$  с координатами полюса  $C$   $(x_C, y_C, z_C)$ , которые определяются в процессе калибровки инструмента (щупа). Необходимо сложить соответствующие координаты полюса с координатами каждого шарнира.

$$\begin{aligned}
 x_{B_j B_6 X'Y'Z'} &= x_B + x_C; \\
 x_{B_j B_6 X'Y'Z'} &= x_B + x_C; \\
 y_{B_j B_6 X'Y'Z'} &= y_B + y_C; \\
 z_{B_j B_6 X'Y'Z'} &= z_B + z_C,
 \end{aligned} \tag{3}$$

где  $j = 1 \dots 6$ .

Так как известно положение  $B_6$  в системе координат  $A_6XYZ$  известно, для пересчета координат шарниров  $B_j$  из системы координат  $B_6X'Y'Z'$  в систему координат  $A_6XYZ$  необходимо координаты шарниров сложить с соответствующими координатами той системы, в которой они определены:

$$\begin{aligned}
 x_{B_j A_6 XYZ} &= x_{B_j B_6 X'Y'Z'} + x_{B_6 A_6}; \\
 y_{B_j A_6 XYZ} &= y_{B_j B_6 X'Y'Z'} + y_{B_6 A_6}; \\
 z_{B_j A_6 XYZ} &= z_{B_j B_6 X'Y'Z'} + z_{B_6 A_6},
 \end{aligned} \tag{4}$$

где  $i = 1 \dots 6$ .

Таким образом, если в процессе движения не происходит никаких разворотов платформы, используя результаты выражений (3), (4) можно записать шесть уравнений, связывающих координаты выходного звена (точка С) с входными  $L$ -координатами:

$$L_1 = \left(x_{A_1} - x_{B_{1B_6X'Y'Z'}} - x_{B_6A_6} - x_c\right)^2 + \left(y_{A_1} - y_{B_{1B_6X'Y'Z'}} - y_{B_6A_6} - y_c\right)^2 + (z_{A_1} - z_{B_{1B_6X'Y'Z'}} - z_{B_6A_6} - z_c)^2;$$

$$L_2 = \left(x_{A_2} - x_{B_{2B_6X'Y'Z'}} - x_{B_6A_6} - x_c\right)^2 + \left(y_{A_2} - y_{B_{2B_6X'Y'Z'}} - y_{B_6A_6} - y_c\right)^2 + (z_{A_2} - z_{B_{2B_6X'Y'Z'}} - z_{B_6A_6} - z_c)^2;$$

$$L_3 = \left(x_{A_3} - x_{B_{3B_6X'Y'Z'}} - x_{B_6A_6} - x_c\right)^2 + \left(y_{A_3} - y_{B_{3B_6X'Y'Z'}} - y_{B_6A_6} - y_c\right)^2 + (z_{A_3} - z_{B_{3B_6X'Y'Z'}} - z_{B_6A_6} - z_c)^2;$$

$$L_4 = \left(x_{A_4} - x_{B_{4B_6X'Y'Z'}} - x_{B_6A_6} - x_c\right)^2 + \left(y_{A_4} - y_{B_{4B_6X'Y'Z'}} - y_{B_6A_6} - y_c\right)^2 + (z_{A_4} - z_{B_{4B_6X'Y'Z'}} - z_{B_6A_6} - z_c)^2;$$

$$L_5 = \left(x_{A_5} - x_{B_{5B_6X'Y'Z'}} - x_{B_6A_6} - x_c\right)^2 + \left(y_{A_5} - y_{B_{5B_6X'Y'Z'}} - y_{B_6A_6} - y_c\right)^2 + (z_{A_5} - z_{B_{5B_6X'Y'Z'}} - z_{B_6A_6} - z_c)^2;$$

$$L_6 = \left(x_{A_6} - x_{B_{6B_6X'Y'Z'}} - x_{B_6A_6} - x_c\right)^2 + \left(y_{A_6} - y_{B_{6B_6X'Y'Z'}} - y_{B_6A_6} - y_c\right)^2 + (z_{A_6} - z_{B_{6B_6X'Y'Z'}} - z_{B_6A_6} - z_c)^2.$$

Полученные уравнения связывают выходные линейные (без учета разворотов платформы) координаты рабочей точки инструмента со значениями  $L$ -координат.

Следующий этап работы над математической моделью КИМ-1000 будет сводиться к описанию движения выходного звена (платформы) в зависимости от состояния шести выходных координат механизма: трех линейных и трех углов поворота платформы, относительно соответствующих осей.

#### Библиографический список

1. Смирнов, В.А. Научные основы и алгоритмы управления оборудованием с параллельными приводами: моног. / В.А. Смирнов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 163 с.
2. Координатно-измерительная машина «Лапик». – <http://www.lapik.ru>