

## РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ РОБОТА ДЛЯ РАБОТЫ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

А. В. Хихлуха

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. И. Михайлов

Современное машиностроение характеризуется повышенными требованиями к геометрическим параметрам качества изготовления поверхностей деталей – точности получаемых размеров, отклонений формы, взаимного расположения поверхностей, их волнистости и шероховатости [1]–[4]. Для обработки деталей в условиях автоматизированного производства часто используются робототехнические комплексы (РТК). Программирование роботов основывается на решении обратных задач кинематики.

Для решения обратной задачи формировалась структурная схема робота (рис. 1). В каждое сочленение вводились системы координат, составляющие правые тройки.

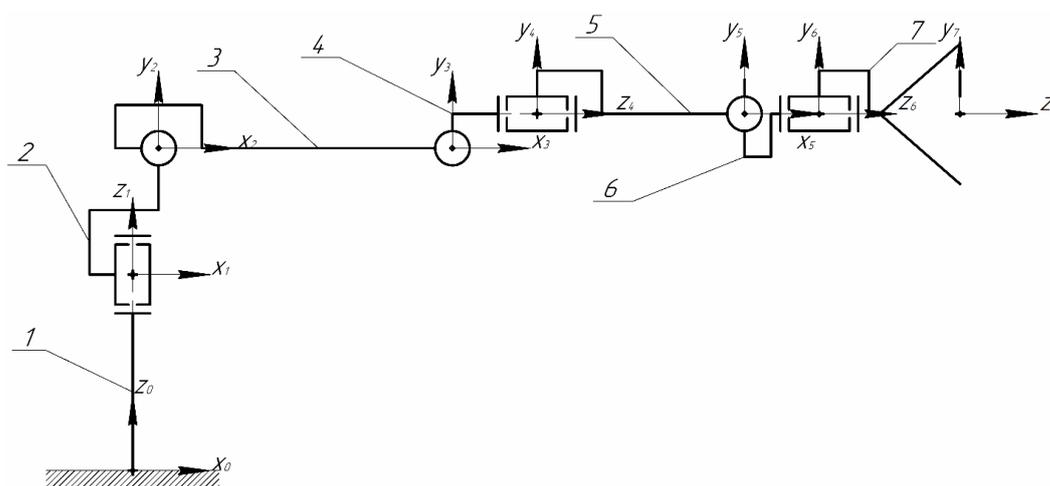


Рис. 1. Расчетная схема

Затем определялись геометрические параметры, отражающие расположения сочленений робота (табл. 1).

Таблица 1

### Геометрические параметры робота

Номер звена	Номер пары	Тип	$x$	$y$	$z$	$a$	$b$	$g$
1	0,1	Качательное	0	0	228	0	0	$g_1$
2	1,2	Качательное	30	0	147	90	0	$g_2$
3	2,3	Качательное	340	0	0	0	0	$g_3$
4	3,4	Качательное	98	40	0	0	90	$g_4$
5	4,5	Качательное	0	0	240	0	-90	$g_5$

Окончание табл. 1

Номер звена	Номер пары	Тип	x	y	z	a	b	g
6	5,6	Вращательное	86,5	0	0	0	90	$g_6$
7	6,7	Схват	0	0	205	0	0	0

Перемножив матрицы связи сочленений в соответствии с табл. 1, получим уравнение для нахождения центра схвата робота:

$$[A_{0,7}] := [A_{0,1}(g_1)][A_{1,2}(g_2)][A_{2,3}(g_3)][A_{3,4}(g_4)][A_{4,5}(g_5)][A_{5,6}(g_6)][A_{6,7}],$$

Дифференцируя полученное уравнение по каждому из обобщенных параметров, запишем систему уравнений:

$$[U_i] := \left( \frac{d}{dg_i} [A_{2,3}(g_i)] \right) [A_{0,1}(g_1)][A_{1,2}(g_2)][A_{2,3}(g_3)][A_{3,4}(g_4)][A_{4,5}(g_5)][A_{5,6}(g_6)][A_{6,7}].$$

Далее составляем систему уравнений, отражающую положение и расположение схвата в зоне обслуживания:

$$[A_x] := [A_{0,7}]_{1,4} + [U_1]_{1,4}(q_{1k} - g_1) + [U_2]_{1,4}(q_{2k} - g_2) + [U_3]_{1,4}(q_{3k} - g_3) + [U_4]_{1,4}(q_{4k} - g_4) + [U_5]_{1,4}(q_{5k} - g_5) + [U_6]_{1,4}(q_{6k} - g_6);$$

$$[A_y] := [A_{0,7}]_{2,4} + [U_1]_{2,4}(q_{1k} - g_1) + [U_2]_{2,4}(q_{2k} - g_2) + [U_3]_{2,4}(q_{3k} - g_3) + [U_4]_{2,4}(q_{4k} - g_4) + [U_5]_{2,4}(q_{5k} - g_5) + [U_6]_{2,4}(q_{6k} - g_6);$$

$$[A_z] := [A_{0,7}]_{3,4} + [U_1]_{3,4}(q_{1k} - g_1) + [U_2]_{3,4}(q_{2k} - g_2) + [U_3]_{3,4}(q_{3k} - g_3) + [U_4]_{3,4}(q_{4k} - g_4) + [U_5]_{3,4}(q_{5k} - g_5) + [U_6]_{3,4}(q_{6k} - g_6);$$

$$[A_a] := [A_{0,7}]_{1,2} + [U_1]_{1,2}(q_{1k} - g_1) + [U_2]_{1,2}(q_{2k} - g_2) + [U_3]_{1,2}(q_{3k} - g_3) + [U_4]_{1,2}(q_{4k} - g_4) + [U_5]_{1,2}(q_{5k} - g_5) + [U_6]_{1,2}(q_{6k} - g_6);$$

$$[A_b] := [A_{0,7}]_{1,3} + [U_1]_{1,3}(q_{1k} - g_1) + [U_2]_{1,3}(q_{2k} - g_2) + [U_3]_{1,3}(q_{3k} - g_3) + [U_4]_{1,3}(q_{4k} - g_4) + [U_5]_{2,3}(q_{5k} - g_5) + [U_6]_{2,3}(q_{6k} - g_6).$$

Задаваясь обобщенными параметрами первого цикла расчетов, получим обобщенные координаты робота.

Например, для обслуживания РТК необходимо найти обобщенные параметры 21 позиции робота:

$$g_1 := 70 \frac{\pi}{180}; \quad g_2 := 15 \frac{\pi}{180}; \quad g_3 := 20 \frac{\pi}{180}; \quad g_4 := 0 \frac{\pi}{180}; \quad g_5 := 60 \frac{\pi}{180}; \quad g_6 := 0 \frac{\pi}{180}.$$

$$a := \text{find}(q_{1k}, q_{2k}, q_{3k}, q_{4k}, q_{5k}, q_{6k}) = 1.365; 0.125; 0.418; 0.047; 1.241; 0.047;$$

$$q_1 := a_{1,1} \frac{180}{\pi} = 78,185; \quad q_4 := a_{4,1} \frac{180}{\pi} = 2,681;$$

$$q_2 := a_{2,1} \frac{180}{\pi} = 7,146; \quad q_5 := a_{5,1} \frac{180}{\pi} = 71,116; \quad q_3 := a_{3,1} \frac{180}{\pi} = 23,965;$$

$$q_6 := a_{6,1} \frac{180}{\pi} = 2,681.$$

Проверка полученных результатов производилась путем подстановки их в уравнение прямой задачи:

$$g_1 := 90.017; \quad g_4 := 0.043; \quad g_2 := 11.618; \quad g_5 := 59.137;$$

$$g_3 := 19.312; \quad g_6 := 0.043.$$

$$A_{0,7} \begin{bmatrix} -1 & 0.001 & 0.001 & 0 \\ -0.001 & -1 & -0.001 & 632.069 \\ 0.001 & -0.001 & 1 & 943.011 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Аналогичным образом выполняем расчет для всех заданных позиций. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Углы поворота манипулятора в каждом из сочленений

Номер позиции схвата	Обобщенные координаты, град					
	$q1$	$q2$	$q3$	$q4$	$q5$	$q6$
Позиция 0	0	0	-20,94	0	0	0
Позиция 1	90	11,38	19,56	0	59,06	0
Позиция 2	90	26,011	-3,556	0	67,545	0
Позиция 3	90	115,521	-43,643	0	-71,878	0
Позиция 4	90	113,573	-45,249	0	-68,324	0
Позиция 5	90	115,521	-43,643	0	-71,878	0
Позиция 6	-65,547	63,064	-64,13	0	91,066	0
Позиция 7	-65,547	62,709	-58,304	0	85,595	0
Позиция 8	0	97,724	-38,153	0	-59,571	0
Позиция 9	-65,547	97,724	-38,153	0	-59,571	0
Позиция 10	-65,547	83,503	-24,307	0	-59,196	0
Позиция 11	-65,547	101,655	-64,661	0	-36,994	0

Окончание табл. 2

Номер позиции схвата	Обобщенные координаты, град					
	$q1$	$q2$	$q3$	$q4$	$q5$	$q6$
Позиция 12	90	11,38	19,56	0	59,06	0
Позиция 13	90	26,011	-3,556	0	67,545	0
Позиция 14	90	73,793	-13,234	90	-90	90
Позиция 15	81,149	71,03	-8,201	90	-81,149	90
Позиция 16	75,293	95,085	-39,357	90	-75,292	90
Позиция 17	-136,343	100,149	-119,594	0	109,445	0
Позиция 18	-136,343	101,365	-103,238	0	91,873	0
Позиция 19	-61,074	73,851	-10,122	90	-118,926	0
Позиция 20	-70,731	80,798	-21,205	90	-109,269	0
Позиция 21	-70,731	98,358	-60,036	90	-109,269	0

## Литература

1. Автоматизация и управление в технологических комплексах / А. М. Русецкий [и др.] ; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларус. навука, 2014. – 375 с.
2. Фельдштейн, Е. Э. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск : Новое знание ; М. : Инфа-М, 2011. – 263 с.
3. Основы автоматизации машиностроительного производства / Ковальчук [и др.] ; под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Высш. шк., 1999. – 312 с.
4. Базров, Б. М. Расчет точности машин на ЭВМ / Б. М. Базров. – М. : Машиностроение, 1984. – 256 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ФАСОННЫХ ОТВЕРСТИЙ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

С. И. Воробей

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель М. И. Михайлов

Анализ литературы по обработке поверхностей [1]–[5] позволяет заключить, что все авторы выделяют схемы резания, которые классифицируют в основном для обработки протягиванием.

Целью данной работы является повышение точности обработки сложных поверхностей.

Характер номинальной обрабатываемой поверхности детали позволил заключить, что для формообразования необходима согласованность двух движений – перемещения суппорта с инструментом в продольном и поперечном направлениях (рис. 1).