

УДК 658.012.2

К ВОПРОСУ О ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Бурков Е. В., студент гр. РТм-211, I курс,
Курышкин Н. П., к.т.н., доцент, Любимов О. В., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва
г. Кемерово

Точность промышленных роботов (ПР) характеризуется погрешностью позиционирования. Как известно, под погрешностью позиционирования понимается отклонение главной точки инструмента (*tool center point – TCP*), находящейся в центре рабочего органа (захвата), от положения, заданного управляющей программой [1, 2]. Погрешность позиционирования является важнейшей технической характеристикой ПР, которая совместно с рядом других функциональных параметров определяет возможность применения робота для автоматизации той или иной технологической операции [3]. Точность позиционирования зависит от множества факторов: ошибки приводов при отработке заданных значений обобщённых координат; ошибки изготовления деталей механизмов манипулятора; ошибки, обусловленные податливостью звеньев. Каждая из этих ошибок может играть основную роль в зависимости от типа робота, его грузоподъёмности и условий функционирования [1].

Экспериментальное определение погрешности позиционирования ПР представляет собой довольно сложную практическую задачу, обусловленную несколькими объективными причинами. Во-первых, необходимо иметь внутри рабочего пространства в абсолютной системе координат ПР фиксированные точки с их точными координатами. Во-вторых, необходимо точно измерить положение *TCP* после отработки роботом программных значений обобщённых координат с выходом в заданную фиксированную точку.

Решение этой задачи для современных ПР теряет свою практическую актуальность. Широко используемый в настоящее время метод программирования ПР – метод обучения – предполагает «ручную» эталонную отработку положения *TCP* с выходом в конкретную точку внутри рабочего пространства. Затем робот в автоматическом режиме многократно выполняет эту отработку. В этих условиях важно, чтобы при многократной отработке ПР стабильно выходил в эту точку. Параметр, характеризующий точность этого процесса называется *повторяемостью* (Δ). Именно этот параметр, характеризующий точность работы ПР, представлен в техническом паспорте любого современного ПР. И именно этот параметр определяет стабильность качества выполнения роботизированной операции.

Очевидно, что повторяемость для различных точек внутри рабочего пространства ПР имеет разное значение. Поэтому её необходимо определять

для различных точек на периферии, в центре и в глубине рабочего пространства. При этом в каждой точке необходимо измерять отклонение по каждой из осей абсолютной системы координат и вычислять по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2}, \text{ где} \quad (1)$$

$\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ – отклонения по осям x , y , и z абсолютной системы координат, связанной со стойкой манипулятора, соответственно.

В качестве объекта исследования использовался промышленный сварочный робот *KR 8 R1620 1* (рис. 1) немецкой компании *KUKA*, оснащённый сварочным оборудованием компании *ESAB* и сварочным столом *3D-Weld Profi D16* (поз. 2). Паспортное значение повторяемости робота $\Delta = \pm 0,04$ мм.

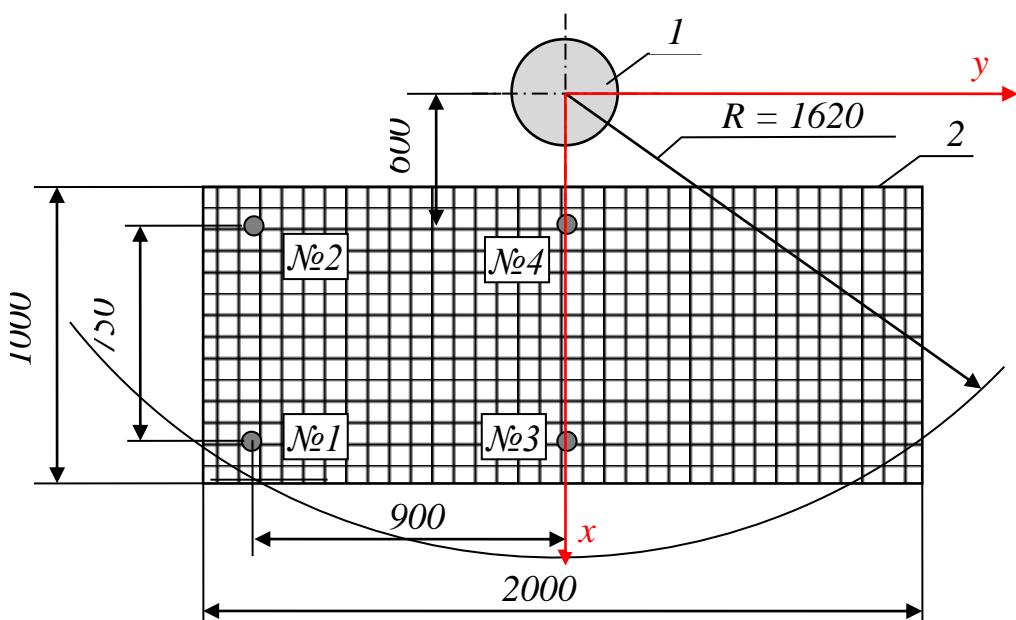


Рис. 1 Расчёчная схема измерений

Четыре позиции измерения повторяемости пронумерованы в порядке удаления от границы рабочего пространства радиуса R . В указанных позициях устанавливался жёсткий измерительный штатив с индикатором часового типа ИЧ ГОСТ 577-68 с ценой деления 0,01 мм. В процессе измерений наконечник индикатора ориентировался поочерёдно вдоль осей x , y и z (ось z направлена от чертежа). В каждой позиции выполнялось по десять измерений вдоль каждой оси. Показания первого измерения обнулялись, а последующие выполнялись относительно первого с учётом знака.

Для каждой позиции и оси составлялась программа движения манипулятора робота, включающая перемещение сварочной горелки из «домашнего» положения в точку, находящуюся на линии измерения по команде *SPTP* (от точки к точке). Далее по команде *SLIN* (движение по линии) сварочная горелка боковой поверхностью сопла утапливалась измерительный наконечник индикатора. Задержка в течение 5 секунд позволяла фиксировать показание индикатора, после которого манипулятор возвращался в «домашнее» положение по обратной траектории.

На рис. 2 показан общий вид манипулятора в процессе измерения повторяемости в позиции №4 по оси у.

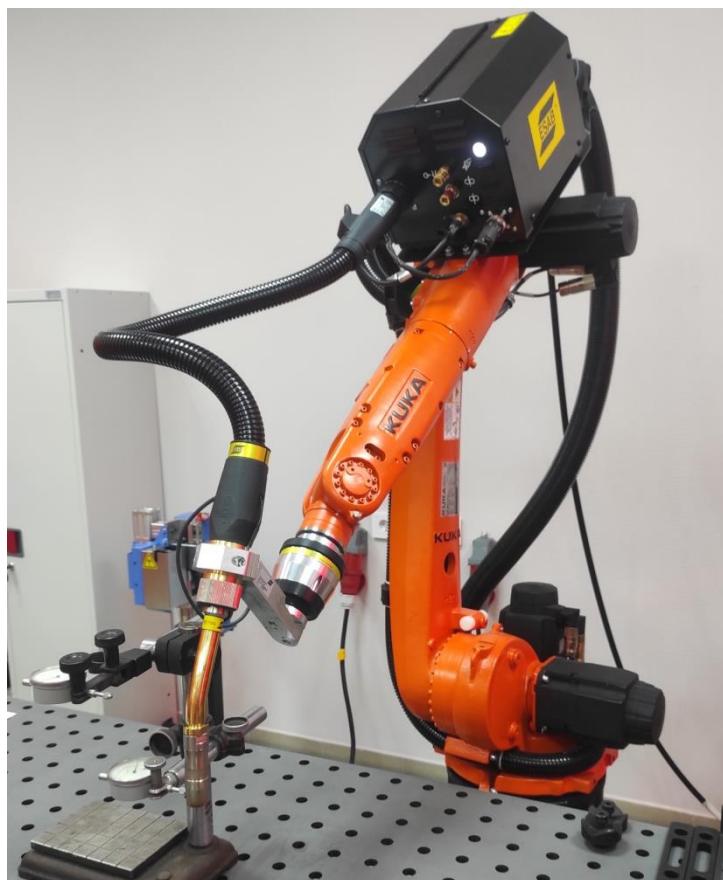


Рис. 2 Общий вид измерительной позиции №4

Результаты измерений сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерения повторяемости по позициям и осям, $\times 10^{-2}$, мм

№ позиции	1			2			3			4			
	Оси	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>									
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-1	-0,5	-1	0	0	0	0	1,5	-0,5	1	0	0	0
3	-0,5	-0,5	-1,5	0	0	2	0	1,5	-1	1,5	0	0	0
4	-1	0,5	-2	0	0	0	0	1,5	-1,5	2	0	0	0
5	-1	-0,5	-1,5	0	0	0	0	-0,5	-1,5	3	0	0	0
6	-1,5	-0,5	-2	0	1	1	0	-1	-1,5	4	0	0	0
7	-1	-1	-1	0	1	1	0	-0,5	-1,5	3	0	0	0
8	-1	-1	-2	0	1	0	-0,5	-1	-1,5	5,5	0	0	0
9	-1	-1	-2	0	1	1	-0,5	-1,5	-0,5	5	0	0	0
10	-0,5	-0,5	-2	0	1	1	-0,5	-0,5	-0,5	6	-0,5	0	0

После статистической обработки полученных результатов измерений, вычисления повторяемости в каждой позиции по формуле (1), они сведены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты расчёта повторяемости, $\times 10^{-2}$, мм

№ позиции	1			2			3			4		
	$\bar{\Delta_x}$	$\bar{\Delta_y}$	$\bar{\Delta_z}$									
Среднее по осям, $\bar{\Delta}_l$	-0,944	-0,556	1,667	0,0	0,556	0,667	-0,167	0,056	-1,111	3,444	0,056	0,0
Среднее по позициям, $\bar{\Delta}$	1,96			0,87			1,13			3,44		

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Фактическая повторяемость промышленного робота *KR 8 R1620* не превышает паспортное значение ни в одной из позиций измерения.
2. Значение повторяемости зависит от положения позиции измерения и увеличивается по мере её приближения к границе (внешней и внутренней) рабочего пространства манипулятора.
3. Программная скорость движения инструмента практически не влияет на величину повторяемости. Это объясняется реализацией оптимального алгоритма с замедлением движения при подходе к позиции измерения.

Список литературы:

1. Механика промышленных роботов: В 3 кн. Кн. 1. Кинематика и динамика: Учеб. пособие для втузов / Е. И. Воробьёв, С. А. Попов, Г. И. Шевелёва; Под ред. К. В. Фролова. М.: Высш. шк., 1988. – 304 с.
2. Курышкин, Н. П. Основы робототехники : учеб. пособ. / Н. П. Курышкин ; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачёва», – Кемерово : Издательство КузГТУ, 2012. – 168 с.
3. Баланев Н. В., Янов Р. А. Анализ факторов, влияющих на точность позиционирования промышленного робота и методы обеспечения заданной точности // Достижения науки и образования. 2016. №1 (2). С. 11-14.