

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР ОБУЧЕНИЯ РОБОТОВ СЕМЕЙСТВА «PUMA»

Г. А. ЦЫБУЛЬКИН, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Предложен алгоритм, позволяющий автоматизировать некоторые процедуры обучения робота. В основу построения алгоритма положена аппроксимация элементов траектории в виртуальных системах координат. Приведены результаты эксперимента.

*Ключевые слова:* траектория движения, алгоритмы, обучение, программирование, автоматизация обучения, манипуляционные роботы

Программирование траекторий движения сварочных роботов чаще всего осуществляется путем показа или так называемого обучения [1, 2], когда оператор с помощью пульта ручного управления перемещает сварочную горелку из одной точки программируемой траектории в другую. Установив горелку в очередную точку траектории и ориентируя ее определенным образом, оператор фиксирует с помощью запоминающего устройства координаты положения горелки, после чего горелка перемещается в новую точку и процедура обучения повторяется.

Затраты времени на обучение напрямую зависят от сложности заготовки и составляют от нескольких минут до 10...20 ч [1]. Они особенно велики, если система управления роботом из-за весьма ограниченного объема памяти, как, например, у робота PUMA-560 (PM 01), не обеспечивает круговую интерполяцию. Поскольку значительная часть роботов, работающих до сих пор, относится как раз к такому типу, весьма актуальным представляется решение задачи, направленной на расширение функциональных возможностей этих роботов с целью повышения эффективности их обучения.

В настоящей работе предложен один из алгоритмов, расширяющих возможности обучения манипуляционных роботов семейства «PUMA» при программировании траекторий движения сварочной горелки, включающих элементы дуг окружности. Идея построения алгоритма основана на аппроксимации этих элементов в некоторых виртуальных системах координат. При этом активно используются заложенные в языке VAL процедуры ортогонального преобразования, с помощью которых устанавливается связь между виртуальными системами и базовой системой координат робота.

**Синтез алгоритма обучения.** Для простоты изложения рассмотрим случай, когда требуется

запрограммировать фрагмент дуги длиной  $L$  и радиусом  $R$ , расположенной на некоторой плоскости в рабочем пространстве робота. Выберем на этой плоскости декартовую систему координат  $Oxy$  таким образом, чтобы центр окружности совпадал с началом координат  $O$ , а ось  $x$  проходила через начальную точку дуги  $A$  (рисунок). Тогда координаты  $x_B$ ,  $y_B$  точки  $B$  и приращения координат  $\Delta x = x_B - x_A$  и  $\Delta y = y_B - y_A$  связаны соотношениями

$$x_B = R - \Delta x, \quad y_B = \Delta y. \quad (1)$$

Приращения  $\Delta x$  и  $\Delta y$  можно определить по формулам

$$\Delta x = R(1 - \cos \alpha), \quad \Delta y = R \sin \alpha. \quad (2)$$

Угол  $\alpha$  выберем исходя из требований к точности аппроксимации дуги:

$$\alpha \leq 2 \arccos(1 - \delta R)^{-1}, \quad (3)$$

где  $\delta$  — допустимая погрешность аппроксимации.

Зададим теперь новую систему декартовых координат  $Ox'y'$ , в которой ось  $x'$  проходит через точку  $B$ . Используя соотношения (1) и предварительно вычисленные по формулам (2) значения приращений  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , найдем координаты следующей точки  $C$ , но уже в системе координат  $Ox'y'$ :

$$x_C = R - \Delta x, \quad y_C = \Delta y.$$

Продолжая таким образом задавать новые виртуальные системы координат и вычисляя координаты последующих точек по формулам (1), получаем в результате координаты всех равноотстоящих друг от друга точек  $n$  на программируемой дуге, число которых  $n \leq L/\alpha R$ .

Следует обратить внимание на один очень важный момент: при определении координат точек дуги нам не нужно каждый раз вычислять значения приращений  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , поскольку они согласно (2) при  $\alpha = \text{const}$  являются постоянными. Именно эта особенность предлагаемого алгоритма позволяет в условиях достаточно ограниченных

