

СБОРКА ПНЕВМАТИЧЕСКИМ РОБОТОМ С ПОГРЕШНОСТЬЮ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕВЫШАЮЩЕЙ ЗАЗОР МЕЖДУ ДЕТАЛЯМИ

Королёв В.А., Стажков С.М., Воротынцев Б.Н., Цветков В.А.

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург*

Ключевые слова: пневматический робот, погрешность позиционирование, поверхность сопряжения, пневматическая жесткость, сборка, управление.

Аннотация. Пневматические промышленные роботы наряду с преимуществами в сравнении с электромеханическими и гидравлическими имеют не достаточную точность позиционирования в позиционном режиме. В работе рассмотрен процесс сборки деталей роботом с погрешностью позиционирования превышающей зазор между собираемыми деталями. Для решения задачи использовался метод последовательных приближений. Особое внимание уделяется влиянию пневматической жесткости на погрешность позиционирования. Как показали исследования робот с пневматически податливыми вспомогательными или переносными степенями подвижности может быть использован для сборки деталей в позиционном режиме.

THE ASSEMBLY BY A PNEUMATIC ROBOT WITH A POSITIONING ERROR EXCEEDING THE BACKLASH BETWEEN PARTS

Korolev V.A., Stazhkov S.M., Vorotyntsev B.N., Tsvetkov V.A.

Baltic state technical university «VOENMEH», St. Petersburg

Keywords: pneumatic robot, positioning error, interface surface, pneumatic stiffness, assembly, control.

Abstract. Pneumatic industrial robots, along with its advantages in comparison with electromechanical and hydraulic ones, do not have sufficient positioning accuracy in the positional mode. The article considers the process of assembling parts by a robot with a positioning error exceeding the backlash between the assembled parts. The method of successive approximations was applied to solve the problem. Special attention is paid to the influence of pneumatic stiffness on the positioning error. The studies have shown that a robot with pneumatically pliable auxiliary or portable degrees of mobility can be used to assemble parts in positional mode.

Пневматические промышленные роботы (ПР) по стоимости и эксплуатационным характеристикам имеют преимущество в сравнении с электромеханическими и гидравлическими ПР. Однако по точности позиционирования в позиционном режиме они ниже в сравнении с указанными типами ПР [2].

Сборка деталей промышленным роботом с погрешностью позиционирования соответствующей зазору между собираемыми деталями достаточно известна [1]. Для рассмотрения процесса сборки деталей пневматическим ПР с погрешностью позиционирования превышающей зазор между собираемыми деталями на рис. 1а представлена расчётная схема. Сборка осуществляется под действием вертикальной силы направленной вдоль оси втулки и ограничена величиной, при которой поверхности сопряженных деталей могут получить механические повреждения. Начальные значения погрешности

позиционирования центра схвата Δ , радиуса ρ , и угла Θ , определяемые погрешностью позиционирования по повороту $\Delta\varphi$ и выдвигению Δr , будут равны. Принципиальная схема сборки деталей пневматическим роботом представлена на рис. 1.

а) расчётная схема

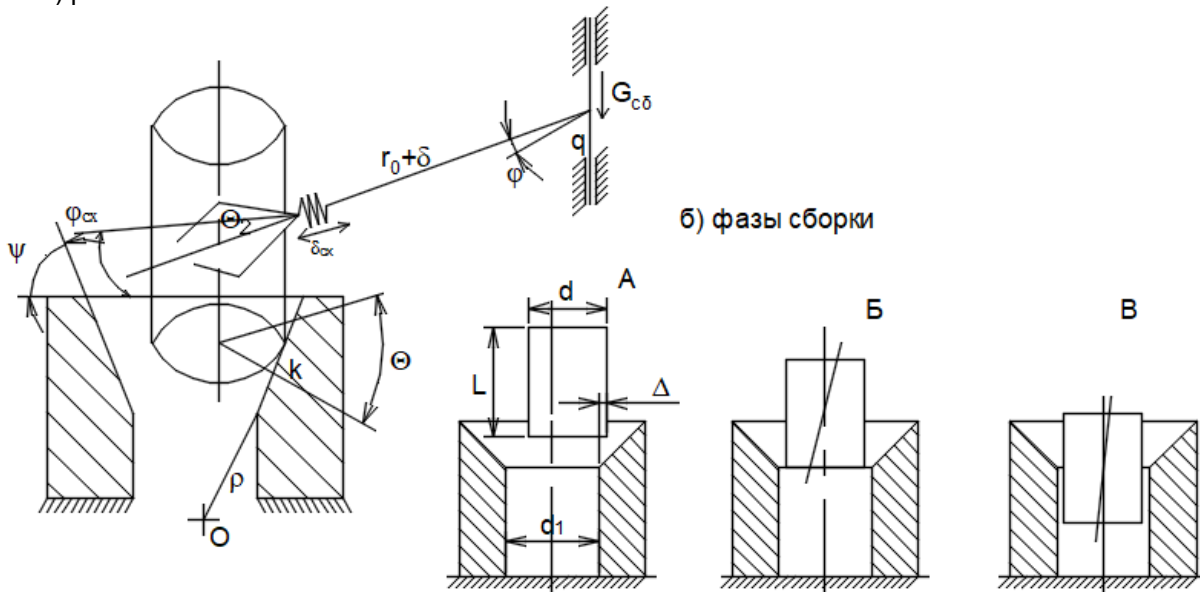


Рис. 1.

$$\rho_0 = \frac{\sqrt{\Delta r^2 + \Delta\varphi^2 R_0^2} + 0.5d}{\sin \psi_0}; \quad \Theta_0 = \arctg \frac{\Delta r}{\Delta\varphi R_0}$$

$$\Delta = \sqrt{\Delta r^2 + \Delta\varphi^2 R_0^2} + \frac{d - d_1}{2},$$

где R_0 – начальная длина манипулятора; ψ_0 – половина угла конуса; ρ – расстояние от вершины конуса до точки контакта вала со втулкой; Θ – угол, образованный проекцией радиус-вектора ОК и горизонтальной осью ОО. При $\Delta \leq 0$ обеспечивается безусловная сборка деталей. Если $\Delta > 0$, то в этом случае, представив движение вала по поверхности втулки как скольжение с трением, выделим три фазы сборки (рис. 1, б); А – движение по поверхности фаски втулки; Б – боковая поверхность вала скользит по внутренней кромке фаски; В – боковая поверхность вала скользит по внутренней кромки фаски, а кромка основания вала по внутренней поверхности втулки. С учётом принятых условий, система уравнений, описывающая движение вала относительно втулки, будет иметь вид:

$$\begin{cases} m(\ddot{\rho} - \rho \sin^2 \psi \dot{\Theta}^2) = \\ = [G_{\delta} \sin(\Theta - \varphi) + \cos(\Theta - \varphi) G_{\varphi}] \sin \psi - G_{c\delta} \cos \psi - \frac{N_R f}{\sqrt{\rho^2 + \rho^2 \dot{\Theta}^2 \sin^2 \psi}} \dot{\rho}; \\ m(\ddot{\Theta} \rho + 2\dot{\rho} \dot{\Theta}) \sin \psi = G_{c\delta} \cos(\Theta - \varphi) - G_{\varphi} \sin(\Theta - \varphi) - \frac{N_R f \sin \psi}{\sqrt{\rho^2 + \rho^2 \dot{\Theta}^2 \sin^2 \psi}} \dot{\Theta}; \\ m\dot{\Theta}^2 \rho \sin \psi \cos \psi = G_{c\delta} \sin \psi + [G_{c\delta} \sin(\Theta - \varphi) - G_{\varphi} \cos(\Theta - \varphi)] \cos \psi - N_R \end{cases} \quad (1)$$

где f – коэффициент трения; $G_{c\delta}$ – усилие сборки; N_R – величина реакции; m – приведённая к точке «0» масса манипулятора и вала; $G_{\delta} G_{\varphi}$ – величины упругих сил, равные $G_{\delta} = K_{ж\delta} \delta$, $G_{\varphi} = K_{ж\varphi} \varphi$.

Значения δ и φ определяются по формулам:

$$\delta = \sqrt{r_p^2 + C^2 - 2r_p C \cos \theta}; \varphi = \frac{r_p \sin \theta - (r_0 + \delta) \sin \Delta \varphi}{(r_0 + \delta) \cos \Delta \varphi},$$

где r_p – расстояние от центра втулки до точки касания её с валом, равное $r_p = \rho \sin \psi$, C – расстояние между центром втулки и осью вращения манипулятора; r_0 – начальное расстояние между центром вала и вертикальной осью.

Для решения системы (1), позволяющей определить на фазе «А» траекторию движения точки контакта вала и втулки, можно использовать метод последовательных приближений. При переходе сборки в фазу «Б» процесс описывается системой уравнений (1), но с условием, что реакция N_r нормальна к поверхности вала, а расстояние от центра схвата до точки контакта изменяется. Процесс сборки завершается на фазе «В». В этом случае вал попадёт в отверстие втулки, контактируя боковой поверхностью и кромкой основания. Допускаемая погрешность позиционирования при сборке в зависимости от коэффициента пневматической жесткости приведена на рис.2.

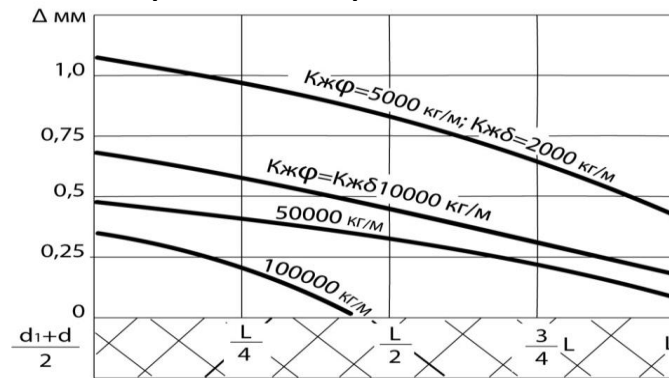


Рис. 2.

Условия заклинивания определяются углом q между направлением воздействия схвата ПР и осью втулки. На основании принятой расчётной схемы имеем:

$$\operatorname{tg} q = \frac{\left[\Delta - C_1 l_c - \frac{d}{2} C_2 + \frac{d_1}{2} \right] [K_{ж\delta} \cos(\theta + \varphi) + K_{ж\varphi} \sin(\theta + \varphi)]}{G_{с\delta}},$$

где l_c – глубина установки вала, а C_1 и C_2 соответственно равны:

$$C_1 = \frac{d_1 l_c - \sqrt{d^2 l_c^2 - (d_1^2 - d^2)(l_c^2 + d)}}{l_c^2 + d};$$

$$C_2 = \frac{d_1 - l_c C_1}{d}.$$

$K_{ж\delta}$, $K_{ж\varphi}$ – коэффициенты жёсткости жидкости пневматического звена.

Условие заклинивания вала может быть выражено неравенством $q > q^*$, где

$$q^* = \operatorname{arctg} \frac{\mu_1 - f C_1 + C_2}{f \mu_1 + C_1 + f C_2}$$

$$\text{при } \mu_1 = \frac{d - l_c - f \frac{d}{2}}{lC_1 - f \frac{d}{2} C_2}.$$

Значение коэффициентов пневматической жесткости $K_{ж\delta}$, $K_{ж\varphi}$, зависит от конструктивных параметров пневмоцилиндра, давления в поршневой и штоковой полостях, а также координаты положения поршня. Величина пневматической жесткости может находиться в диапазоне от 2000 до 100000 кг/м. Зависимость допустимой погрешности позиционирования при сборке от коэффициентов пневматической жесткости представлена на рис 2.

Как показали наши исследования для пневматических позиционных роботов разработанных в ЦНИИ РТК грузоподъемностью 15 – 20 кГс при значении $K_{ж\delta}$ и $K_{ж\varphi}$ равных 10000 кг/м при допустимой погрешности 0,5 – 0,9 мм обеспечивается сборка деталей с зазором между ними равным 0,1 мм.

Таким образом пневматический ПР с пневматически податливыми вспомогательными или переносными степенями подвижности может быть использован для установки (сборки) деталей, имеющих зазор между сопрягаемыми поверхностями в несколько раз меньше, чем погрешность позиционирования робота, что существенно расширяет возможности пневматических роботов с позиционным управлением.

Список литературы

1. Механика промышленных роботов: Учеб. пособие для вузов в 3-х книгах / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. – М.: Высш. шк., 1988. –304 с.
2. Королёв В.А. Пневматические приводы роботов: учеб. пособие. – Л.: Изд. ЛПЧ, 1986. – 80с.

Сведения об авторах:

Королев Владимир Александрович – д.т.н., профессор БГТУ, г.Санкт-Петербург;
Стажков Сергей Михайлович – д.т.н., профессор БГТУ, г.Санкт-Петербург;
Воротынцев Борис Николаевич – старший преподаватель БГТУ, г.Санкт-Петербург;
Цветков Владимир Александрович – доцент БГТУ, г.Санкт-Петербург.