

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПНЕВМАТИЧЕСКОМУ РОБОТУ С КОНТУРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ СБОРОЧНЫХ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЙ

*Королёв В.А., Воротынцев Б.Н., Осипов В.И., Цветков В.А.
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург*

Ключевые слова: пневматический робот, контурное управление, позиционирование, конвейер, пневмодвигатель, сборка, жесткость пневмопривода.

Аннотация. В работе рассмотрено влияние на погрешность позиционирования робота с контурным управлением изменение жесткости модулей звеньев, нагрузки и массы перемещающихся деталей. Данная тема актуальна при применении контурного управления роботами на подвижных сборочных конвейерных линиях. Приведены результаты зависимости динамической погрешности позиционирования от конструктивных параметров пневматического привода, параметров движения конвейера и зазора между сопрягаемыми поверхностями собираемых деталей. Полученные требования позволяют использовать пневматические роботы с контурным управлением при обслуживании сборочных конвейерных линий.

DETERMINATION OF THE REQUIREMENTS FOR PNEUMATIC OPERATION WITH CONTOUR CONTROL FOR ASSEMBLY LINES

*Korolev V.A., Vorotyntsev B.N., Osipov V.I., Tsvetkov V.A.
Baltic State Technical University “VOENMEH”, Saint-Petersburg*

Keywords: pneumatic robot, contour control, positioning, conveyor, pneumatic motor, assembly, pneumatic drive rigidity.

Abstract. The paper considers the influence of changes in the stiffness of the link modules, the load and mass of the moving parts on the positioning error of the contour-controlled robot. This topic is relevant when using the contour control of robots on mobile assembly lines. The results of the dependence of the dynamic positioning error on the design parameters of the pneumatic drive, the parameters of the conveyor movement and the gap between the mating surfaces of the assembled parts are presented. The resulting requirements allow the use of pneumatic robots with contour control in the maintenance of assembly lines.

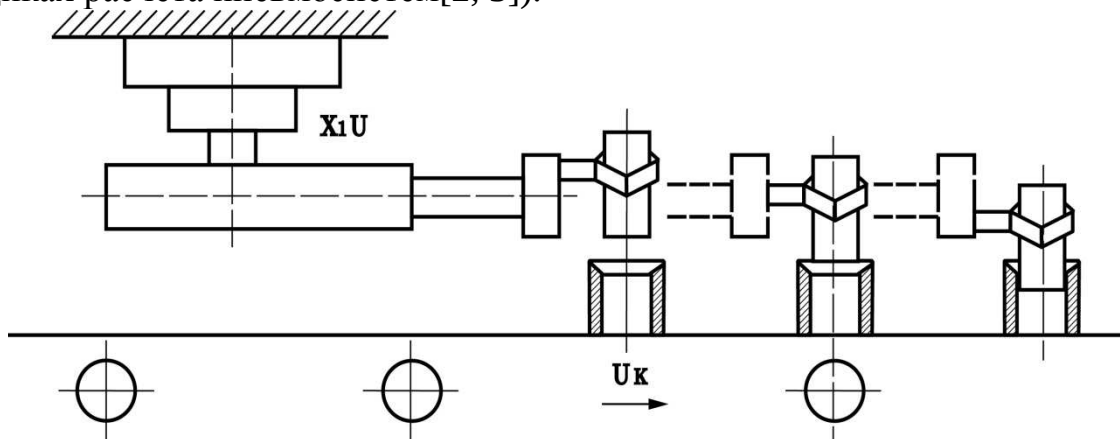
В настоящее время возможность создания пневматических ПР с контурным управлением определяет перспективы их применения для обслуживания подвижных конвейерных линий с отслеживанием их движений и выполнения таких операций как сборка, нанесение покрытия и т.п.

При рассмотрении процесса установки детали на движущемся конвейере, (рис. 1) его скорость v_k считаем синхронизированной с движением робота v^* .

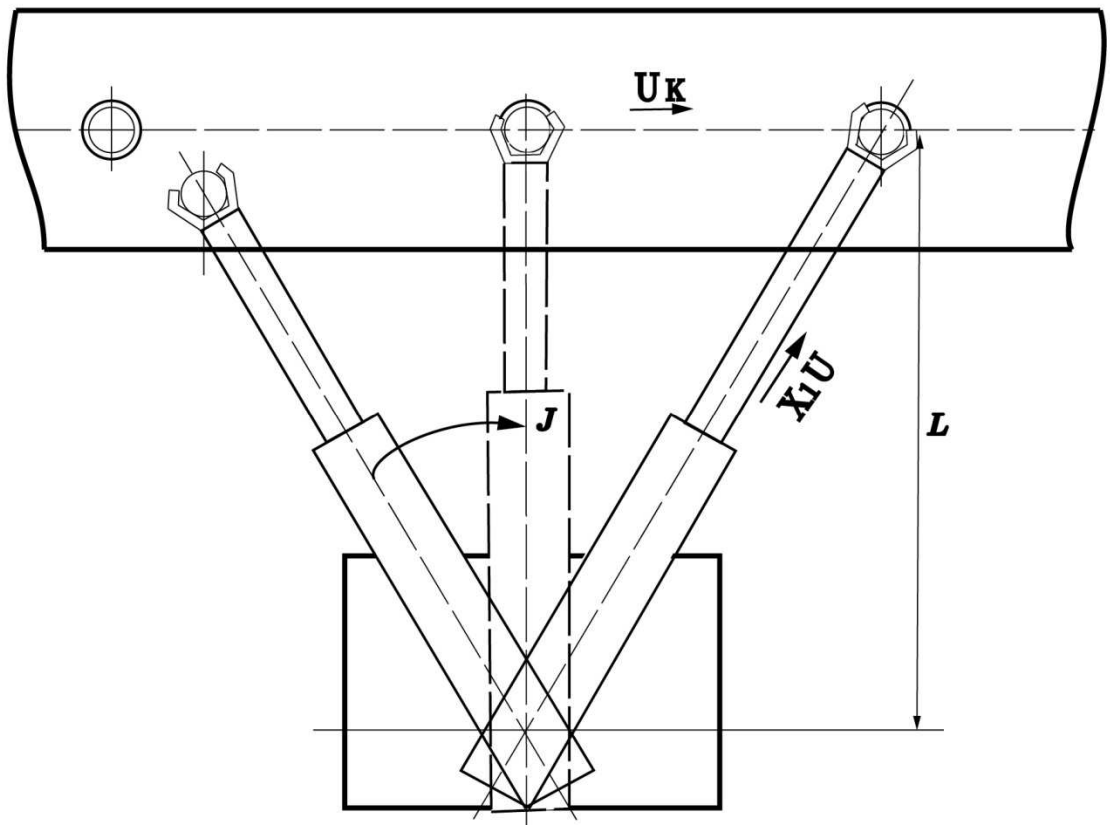
Транспортировка детали обеспечивается модулем горизонтальной степени подвижности, а сборка (установка), т.е. вертикальное перемещение детали осуществляется модулем схвата. В этом случае выражение для максимального отклонения действительной траектории от заданной составит:

$$\Delta x = \frac{4FP_M t_p^3}{\pi m x_0} \left(y^* \frac{S}{t_m} - \frac{kv^*}{2} \right) \cdot \left\{ 1 + \frac{\Omega}{\left(\frac{\varphi^*}{K_\sigma} \cdot \frac{1}{(1 - 0,24\Omega^2)} - x \right)} \right\}^{-1} - x, \quad (1)$$

где F , P_M – рабочая площадь поршня пневмоцилиндра и магистральное давление; m – масса детали; t_p – время срабатывания пневмораспределителя; t_m – время перемещения детали; Ω , x , k , K_σ – параметры пневмопривода работа (пропускная способность, нагрузка, коэффициент адиабаты, коэффициент функции расхода воздуха, выраженные в относительной форму и приведенные в известных методиках расчета пневмосистем[2, 3]).



а) отслеживание движения детали модулем выдвижения



б) отслеживание положения детали совмещённым модулем выдвижения и поворота

Рис. 1. Схема установки робота относительно конвейерной линии

Формула (1) справедлива в полосе частот $\omega_* < \omega < \omega^*$, где ω_* – частота, при которой проявляется неустойчивость сил трения, равная

$$\omega_* = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{mp} G_{mp} t_p}{m L_x}},$$

а ω^* – частота, определяемая временными возможностями наполнения и опорожнения полостей пневмодвигателя, отслеживающего движение конвейера и равна $\omega^* = \min(\omega_1^*, \omega_2^*)$, где

$$\omega_1^* = \frac{\varphi^* S \Omega \left\{ 0,98 + 0,06 P_M \left[\frac{1}{1 + (L_x k t_M / S K_\sigma)^2} - \psi \right] \right\}}{1};$$

$$\omega_2^* = \sqrt{\frac{P_M F}{L_R m \left[1 + \left(\frac{2 S K_\sigma}{L_x k t_M} \right)^2 \right]}}.$$

Рассмотрим влияния на погрешность позиционирования робота изменения статической нагрузки и массы переносимой детали, что определяет особенности работы ПР. Для оценки применительно к модулю ПР влияния этих нагрузок введем среднее значение статической нагрузки G_{cp} и массы m_{cp} , тогда текущее их значение будет равно

$$\begin{cases} G = G_{cp} + \Delta G; \\ m = m_{cp} + \Delta m; \end{cases}$$

где ΔG , Δm – изменение статической нагрузки и массы. Выделим составляющую X_{mg} , показывающую зависимость изменения X от m и G .

В соответствии со структурной схемой пневматической исполнительной системы с контурным регулированием скорости (рис. 2).

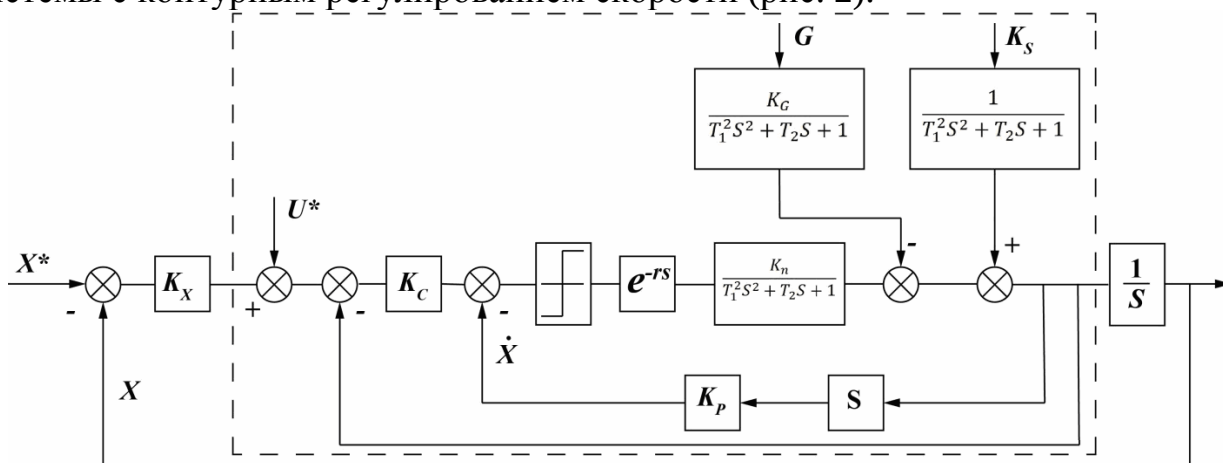


Рис. 2. Контур регулирования скорости

$$X_{mg} = \frac{\delta_c \left(\frac{K_n K_p K_n}{m} G_{cp} - K_G G \right) \frac{1}{K_x (1 - \delta_c)}}{T_{1x}^3 S^3 + T_{2x}^2 S^2 + T_{3x} S + 1};$$

где $K_H = \frac{\delta_c K_c}{K_x(1-\delta_c)}$; $K_m = \frac{\delta_c K_p K_{\mathcal{E}} K_n G_{cp}}{K_x m^2 (1-\delta_c)}$.

Коэффициент $K_{\mathcal{E}}$ представляет коэффициент усиления при замене релейного элемента безынерционным усилителем и равен

$$K_{\mathcal{E}} = \frac{T_2}{2K_n K_c \left(t_p - \frac{K_p}{K_c} \right)}, \text{ а параметр } \delta_c = \frac{1}{1 + K_{\mathcal{E}} K_p K_n} \text{ и соответствует величине}$$

обратной коэффициенту усиления прямой цепи увеличенному на единицу.

При определении значений T_1 , T_2 , T_3 считаем, что пневмодвигатель имеет двухстороннее управление и при наполнении любой полости пневмоцилиндра имеет место подкритический режим течения воздуха, а при выхлопе надкритический.

Жесткость пневмопривода по отношению к возмущающим факторам ΔG и Δm найдем в виде отношения приращения координаты перемещения к единичному возмущению, обозначив при этом D_H – жесткость привода к изменению статической нагрузки, а D_M – к изменению инерционной нагрузки. Выполненный расчет K_H и K_m в пределах диапазона конструктивных параметров пневматической исполнительной системы, определенных существующим классом используемых на производстве пневматических ПР малой грузоемкости, показал, что

$$D_H = (1...8) \cdot 10^{-4}; D_M = (4...16) \cdot 10^{-4}.$$

Отметим, что результаты расчета погрешности Δx , с учетом выше приведенных рекомендаций применительно к существующему классу используемых в н.в. пневматических ПР согласуются с точностью 6-12% с результатами расчета выполненными на ЭВМ по полной математической модели пневмосистемы при условии, что для гармонического сигнала удвоенная амплитуда колебаний по отношению к длине пневмоцилиндра меньше на 10-15%, а нагрузка $G_{\max}$ не превышает $0,6(P_M - P_a \Pi_{2,1}^F)F_1$.

При сборке деталей роботом, установленным относительно конвейера в соответствии с рисунком 1б, уравнения, связывающие движения рабочего органа робота и конвейера имеют вид:

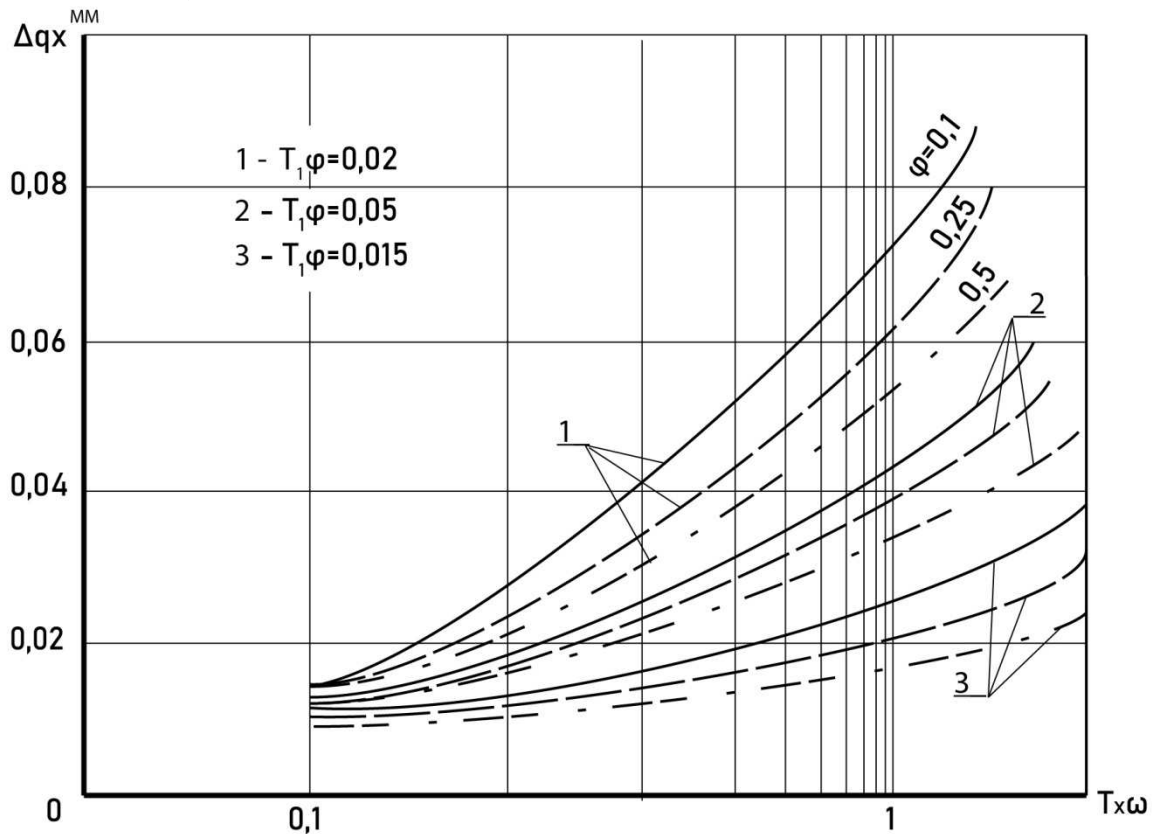
$$x = \sqrt{L_R^2 + v_k^2 t^2}; \quad y = \arctg\left(\frac{v_{kt}}{L_R}\right);$$

$$\dot{x} = \frac{v_k^2 t}{\sqrt{L_R^2 + v_k^2 t^2}}; \quad \dot{y} = \frac{L_R v_k}{L_R^2 + v_k^2 t^2}.$$

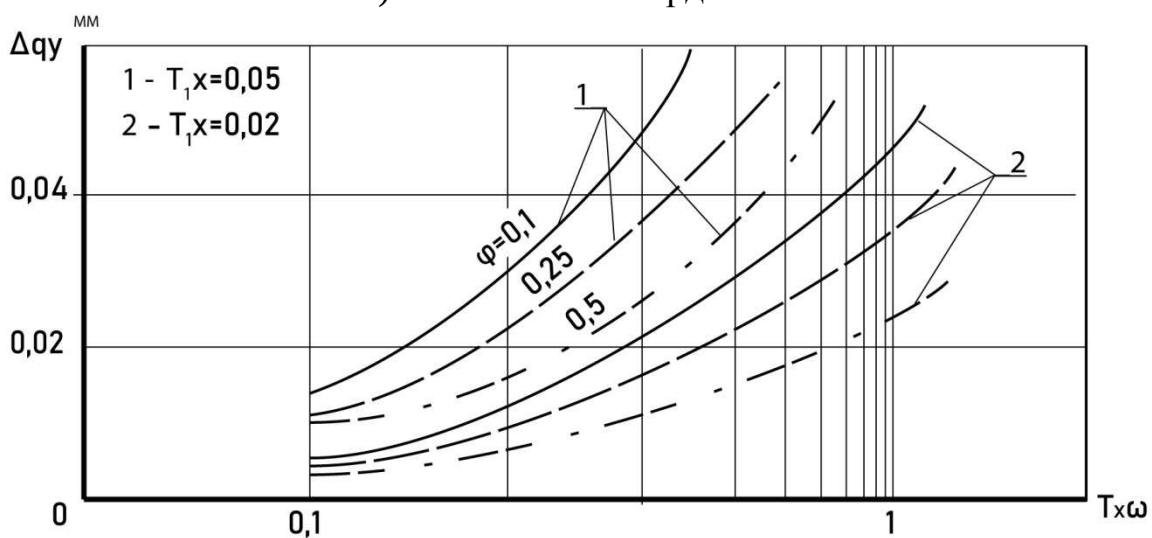
где L_R – расстояние от оси вращения манипулятора по линии движения детали. В этом случае особенностью работы робота является совмещение движений модулей выдвижения и поворота, причем ошибка позиционирования складывается из значения Δ при невозмущенном движении и динамической ошибке Δg , вызванной совмещенным движением. При рассмотрении совмещенного движения рабочего органа ПР можно использовать методику приведенную в [4]. Зависимость относительной динамической погрешности от

параметров $T_{1x}\omega$; $T_{1\varphi}\omega$; и φ применительно к пневматическим ПР малой грузоподъемности (до 10кг) приведена на рисунке 3 и позволяет учесть (например, для поверочных расчетов) дополнительную погрешность позиционирования вызванную совмещенным движением модулей выдвижения и поворота. При отслеживании положения детали, установленной на подвижном конвейере, погрешность рабочего органа ПР при совмещенном движении модулей выдвижения и поворота составит:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_\varphi^2 + \Delta_{gx}^2 + \Delta_{g\varphi}^2}.$$



а) по линейной координате



б) по угловой координате

Рис. 3. Зависимость относительной динамической погрешности от параметров $T_{1x}\omega$; $T_{1\varphi}\omega$; и φ

Таким образом, зная погрешность позиционирования Δ , коэффициенты пневматической жесткости, параметры движения конвейерной линии и зазор между сопряженными поверхностями собираемых деталей, можно определить требования к контурному пневматическому ПР, при которых возможно его использование для сборки, покраски деталей на подвижном конвейере.

Список литературы

1. Роберт Велдер. Интеграция стола для нанесения покрытий с манипулятором, оснащённых пневматическим приводом // Festo. 2016. №1. С. 32-33.
2. Королёв В.А. Пневматические приводы роботов: учебное пособие. – Л.: Изд-во ЛПИ, 1986. – 135с
3. Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. – М.: Машиностроение, 1985. – 236 с.
4. Механика промышленных роботов: Учебное пособие для ВТУЗов: в 3кн. / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. – М.: Высшая школа, 1989.

Сведения об авторах:

Королёв Владимир Александрович – д.т.н., профессор, БГТУ, Санкт-Петербург;
Воротынцев Борис Николаевич – ст. преподаватель, БГТУ, Санкт-Петербург;
Осипов Владимир Иванович – к.т.н., доцент, БГТУ, Санкт-Петербург;
Цветков Владимир Александрович – к.т.н., доцент, БГТУ, Санкт-Петербург.