

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ НАГРУЖЕННЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

Королёв В.А., Коробова И.Л., Стажков С.М., Воротынецев Б.Н.
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г.Санкт-Петербург

Ключевые слова: гидравлическая стабилизация, пневматический двигатель, позиционирование, пневмоцилиндр, привод, робот.

Аннотация. Стабильность работы промышленного робота зависит от регулируемости его рабочей скорости на этапе выполнения рабочих операций. На практике при достижении средней скорости около 90°/с скорость рабочего органа является неустановившейся, что не позволяет эффективно совершать технологические процессы. Для решения данной проблемы можно использовать гидравлическую стабилизацию пневмодвигателя путём установки на его вал гидравлического двигателя. Данная модернизация позволяет достичь установившейся скорости в течении одной секунды, что обеспечивает программируемость работы механизма или величину погрешности его позиционирования.

HYDRAULIC STABILIZATION OF LOADED HIGH SPEED PNEUMATIC DRIVES

Korolev V.A., Korobova I.L., Stazhkov S.M., Vorotyntcev B.N.
Baltic state technical university «VOENMEH», St. Petersburg

Keywords: hydraulic stabilization, pneumatic engine, drive, robot.

Abstract. The stability of an industrial robot depends on the controllability of its working speed at the stage of performing work operations. In practice, when the average speed reaches about 90 ° / s, the speed of the working body is unsteady, which does not allow efficiently performing technological processes. To solve this problem, you can use the hydraulic stabilization of the air motor by installing a hydraulic motor on its shaft. This modernization allows you to achieve a steady speed within one second, which ensures the programmability of the mechanism or the magnitude of the error in its positioning.

Одной из главных проблем быстродействующих нагруженных пневматических приводов является обеспечение стабильности, а значит и регулируемости, рабочей скорости на этапе выполнения технологической операции. В нагруженных пневматических приводах, например для поворотной степени подвижности пневматических роботов, как показала практика [1], при средних значениях скоростей порядка 90°/с и выше скорость рабочего органа на всём пути движения является неустановившейся.

Система уравнений описывающих динамику пневматического поворотного механизма применительно к роботам [1] как правило “рейко-шестерня”, (рис. 1) имеет вид:

$$\left(m + \frac{J}{r^2}\right) \frac{d^2 x}{dt^2} = (P_1 - P_2) \Omega - F_{mp} - F_{comp},$$

$$\frac{dP_1}{dt} = \frac{k \cdot f_1^{\circ} \cdot K \cdot P_M \cdot \sqrt{R \cdot T_M}}{\Omega(x_{01} + x)} f(\delta_1) - \frac{K \cdot P_1}{x_{01} + x} \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (1)$$

$$\frac{dP_2}{dt} = - \frac{k \cdot f_2^{\circ} \cdot K \cdot P_2^{\frac{3k-1}{2k}} \cdot \sqrt{R \cdot T_M}}{\Omega(s + x_{02} - x) \cdot P_2^{\frac{k-1}{2k}}} f\left(\frac{\delta_a}{\delta_2}\right) + \frac{K \cdot P_2}{s + x_{02} - x} \cdot \frac{dx}{dt},$$

где Ω , s - рабочая площадь поршня пневмоцилиндра и полных ход;

x_{01} , x_{02} - начальные координаты прямого и возвратного движения поршня; P_M , P_1 , P_2 - давление в магистрали, в напорной и в выхлопной полостях пневмодвигателя; k - показатель адиабаты ($k=1.4$);

R , T_M - универсальная газовая постоянная и температура воздуха в магистрали; f_1° , f_2° - эффективная площадь входного и выходного отверстия, $f_i^{\circ} = \mu \cdot f_i$, где μ - коэффициент расхода; $F_{тр}$, F_{comp} - силы трения и полезного сопротивления.

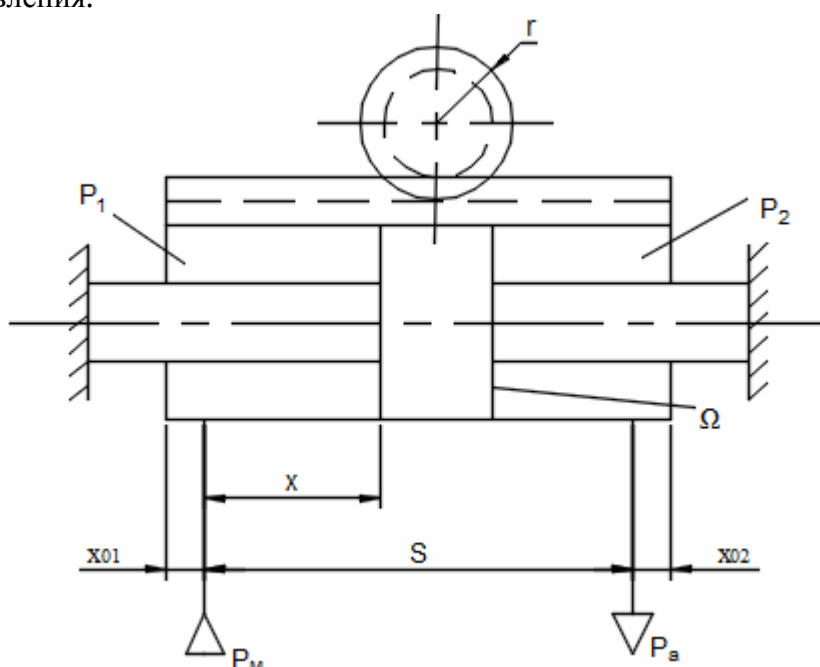


Рис. 1. Пневматический поворотный механизм

Соответственно [2] $\delta_1 = \frac{P_1}{P_M}$, $\delta_2 = \frac{P_2}{P_M}$; $K = \sqrt{\frac{2gk}{k-1}}$; $f(\delta) = \sqrt{\delta^{2/k} - \delta^{(k+1)/k}}$

при $0,528 < \delta < 1$; $f(\delta) = 0,259$ при $0 < \delta < 0,528$.

Одним из важных требований, предъявляемых при проектировании, к приводам любого типа является обеспечение ими установившегося режима при выполнении рабочих операций, что даёт возможность устанавливать и регулировать скорость пневмодвигателя при выполнении той или иной рабочей операции в соответствии с заданным техническим процессом.

Расчёты применительно к поворотной степени подвижности пневматического промышленного робота грузоподъёмностью 15 кгс разработки ЦНИИ РТК с моментом инерции $(5\div 6)$ кгм² показали, что при средней скорости 80°/с и выше скорость поворота является неустановившейся. Отсюда следует, что без стабилизирующего механизма использование поворотного пневмопривода при разработке пневмомеханизмов предназначенных для автоматизации производственных процессов значительно ограничена.

Одним из основных методов стабилизации является подключение параллельно пневмодвигателю гидравлического двигателя. Наиболее рациональным по габаритным и весовым характеристикам применительно, например, к робототехническим системам является комбинация пневматического лопастного двигателя с установленным на его валу гидравлическим лопастным двигателем (рис. 2). В этом случае, используя (1), система уравнений будет иметь вид:

$$\begin{aligned} J \frac{d^2\psi}{dt^2} + h \frac{d\psi}{dt} + K_M \cdot \Delta P + F_{mp} &= (P_1 - P_2) K_n, \\ \frac{dP_1}{dt} &= \frac{k \cdot f_1^3 \cdot K \cdot P_M \cdot \sqrt{R \cdot T_M}}{K_n (\psi_{01} + \psi)} \varphi(\delta_1) - \frac{K \cdot P_1}{\psi_{01} + \psi} \cdot \frac{d\psi}{dt}, \\ \frac{dP_2}{dt} &= \frac{k \cdot f_2^3 \cdot K \cdot P_2^{(3k-1)/(2k)} \cdot \sqrt{R \cdot T_M}}{K_n (\psi_n + \psi_{02} - \psi) \cdot P_2^{(k-1)/(2k)}} \kappa\left(\frac{\delta_a}{\delta_2}\right) + \frac{K \cdot P_2}{\psi_n + \psi_{02} - \psi} \cdot \frac{d\psi}{dt}, \\ K_M \frac{d\psi}{dt} &= Q_{dp} + Q_{cm} + Q_{nep}, \\ Q_{dp} &= \mu_B \cdot f_{dp} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta F}{\rho}}, \\ Q_{cm} &= \frac{V}{E} \cdot \frac{dP}{dt}, \\ Q_{nep} &= \frac{\delta^3}{12\mu_B \cdot \chi} [8b + 2R_L - r_B] \Delta P + R_L \delta \left(b + \frac{R_L - r_B}{4}\right) \frac{d\psi}{dt}, \end{aligned} \quad (2)$$

где ψ - координата вращения лопастного неполноповоротного пневмодвигателя; ψ_n , ψ_{01} , ψ_{02} - соответственно полный поворот лопасти, начальные координаты прямого и возвратного поворота лопасти пневмодвигателя; D_L - диаметр лопасти гидродвигателя; d_e - диаметр вала гидродвигателя; b , χ - ширина и толщина лопатки гидродвигателя;

δ - гарантированный зазор между корпусом и лопаткой гидродвигателя;

Q_{dp} , Q_{cm} , Q_{nep} - расход жидкости через дроссель, расход, теряемый при сжимаемости жидкости и перетечки; μ_B , ρ - динамический коэффициент вязкости и плотность рабочей жидкости; ΔP - перепад давления на дросселе; V - объём масла в гидросистеме; E - приведённый модуль упругости жидкости; μ , $f_{др}$ - коэффициент расхода и площадь сечения дросселя.

Решение системы уравнений (2), описывающих работу поворотной степени подвижности пневматического промышленного робота грузоподъемностью 15 кгс, выполненной на основе пневматического лопастного двигателя без гидравлической стабилизации с коэффициентом момента $K_n=177 \text{ см}^3$, средней скорости $100^\circ/\text{с}$ в сравнении с работой этой же поворотной степени с гидравлической стабилизацией на основе гидравлического лопастного двигателя, установленного на вал пневмодвигателя (рис. 2) с параметрами $K_n=177 \text{ см}^3$, $K_M=77 \text{ см}^3$ и средней скорости $100^\circ/\text{с}$ приведено на рис. 3. Торможение нестабилизированного пневмодвигателя осуществлялось противодавлением ($P_M=0,4 \text{ МПа}$). Как видно из представленного графика наличие гидравлической стабилизации позволило обеспечить стабилизацию, т. е. выход на установившийся режим при высоких рабочих скоростях. Так, время выхода стабилизированного пневмопривода на установившуюся скорость $130^\circ/\text{с}$ составило менее 1с, а в случае нестабилизированной пневмосистемы выход на установившийся режим вообще отсутствует.

Особенно важно обеспечить стабилизацию скорости на рабочем участке пути для пневматических роботов с позиционным управлением, так как этот фактор существенно влияет на величину и стабильность погрешности позиционирования.

Таким образом, одним из эффективных направлений стабилизации, обеспечивающей установившийся регулируемый режим работы при разработке нагруженных приводов со скоростями движения 1 м/с, при вращении $80^\circ/\text{с}$ и выше, а также для пневмоприводов с позиционным управлением является гидравлическая стабилизация. Кроме того, представленная система уравнений позволяет проанализировать динамические параметры пневмопривода с гидравлической стабилизацией на соответствие с заданными проектировщиком требованиями.

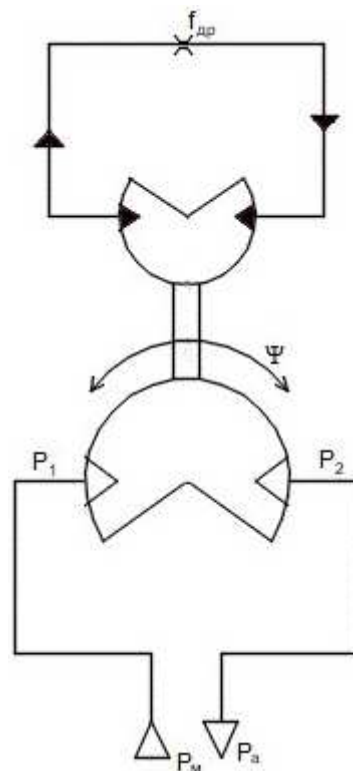


Рис. 2. комбинация пневматического лопастного двигателя с установленным на его валу гидравлическим лопастным двигателем

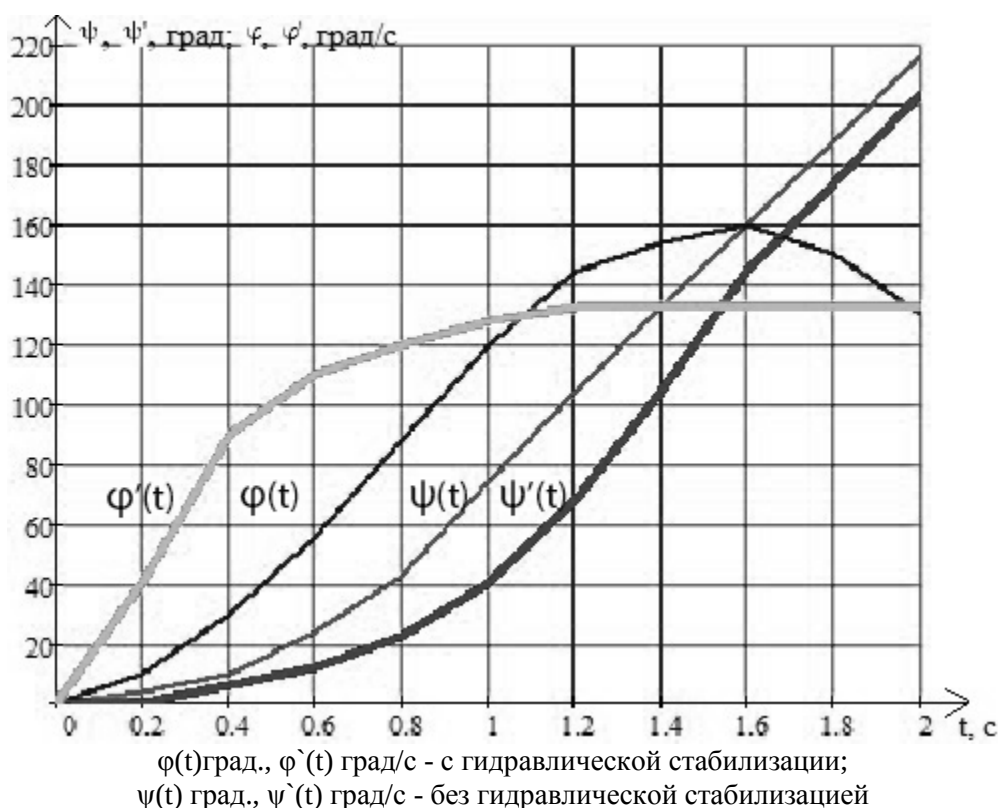


Рис. 3. Решение системы уравнений (2)

Стабилизация работы пневмопривода позволяет также обеспечить программируемость его работы, а при работе в позиционном режиме и ожидаемую величину погрешности позиционирования.

Список литературы

1. Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. – М. Машиностроение, 1985. – 256 с.
2. Королёв В.А. Пневматические приводы роботов: учебное пособие. – Л.: изд. ЛПЧ, 1986. – 80 с.

Сведения об авторах:

Королев Владимир Александрович – д.т.н., профессор БГТУ, Санкт-Петербург;
 Коробова Ираида Леонидовна – к.ф.-м.н., доцент БГТУ, Санкт-Петербург;
 Стажков Сергей Михайлович – д.т.н., профессор БГТУ, Санкт-Петербург;
 Воротынцев Борис Николаевич – ст. преподаватель БГТУ, Санкт-Петербург;