

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ПНЕВМОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ ПРОТИВОДАВЛЕНИЕМ

Королёв В.А., Воротынецов Б.Н., Попов В.В.

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

Ключевые слова: пневматический робот, порционное управление, позиционирование, быстродействие, пневмодвигатель, пневмоаппаратура, тормозной путь.

Аннотация. В работе рассмотрены результаты экспериментальных исследований процесса торможения пневматических промышленных роботов с позиционным торможением. Данная тема актуальна при увеличении точек позиционирования по каждой координате. Приведены результаты исследования процесса торможения пневмодвигателя способом противодавления. Показано, что величина перебега при торможении зависит от способа управления тормозным процессом и конструктивными параметрами пневмоцилиндра.

INFLUENCE OF THE CONTROL METHOD AND DESIGN PARAMETERS ON THE POSITIONING OF THE PNEUMATIC MOTOR DURING BACKPRESSURE BRAKING

Korolev V.A., Vorotyntsev B.N., Popov V.V.

Baltic State Technical University "VOENMEH", Saint-Petersburg

Keywords: pneumatic robot, batch control, positioning, speed, pneumatic motors, pneumatic equipment, braking distance.

Abstract. The paper considers the results of experimental studies of the braking process of pneumatic industrial robots with positional braking. This topic is relevant when increasing the positioning points for each coordinate. The results of the study of the process of braking the pneumatic motor by the back pressure method are presented. It is shown that the amount of overrun during braking depends on the method of controlling of the braking process and the design parameters of the pneumatic cylinder.

Основной проблемой при разработке пневматических промышленных роботов (ППР) с порционным управлением является увеличение точек позиционирования по каждой координате.

Пневматический привод имеет высокое быстродействие и практически мгновенно может достигнуть скорости 1м/с и более. Это в свою очередь существенно ограничивает число последовательных точек позиционирования по координате в рабочем цикле, если использовать механическое торможение и фиксацию исполнительного органа в точке позиционирования.

Как показали исследования, пневмоаппаратура, используемая в пневмосистемах ППР средней и высокой грузоподъемности имеет время срабатывания, примерно 0,1с. За это время при скорости пневмодвигателя 1м/с минимальные интервалы между остановками в одном цикле составят 200мм. Для пневмосистем ПР малой грузоподъемности, где пневмораспределители имеют более высокое быстродействие, интервалы между точками позиционирования уменьшаются примерно в 2 раза [1, 2].

При разработке пневматических роботов с позиционным управлением основная задача – это определение тормозного пути и влияющих на эту величину факторов. Как правило, в цикле работы ПР наибольшее количество точек позиционирования необходимо обеспечить для горизонтальной координаты. Кроме того, скорость по горизонтальной координате обычно в несколько раз больше скорости по отношению к остальным координатам. Исходя из сказанного рассмотрим пневматическую схему, обеспечивающую работы ПР по горизонтальной координате и приведенную на рисунке 1. Воздух от сети через распределитель 1 поступает в пневмоцилиндр, назначение которого жестко фиксировать рабочий орган в точке позиционирования. Одновременно воздух через распределитель 3, регулятор давлений 4 и обратный клапан 5 поступает в поршневую полость пневмоцилиндра 6.

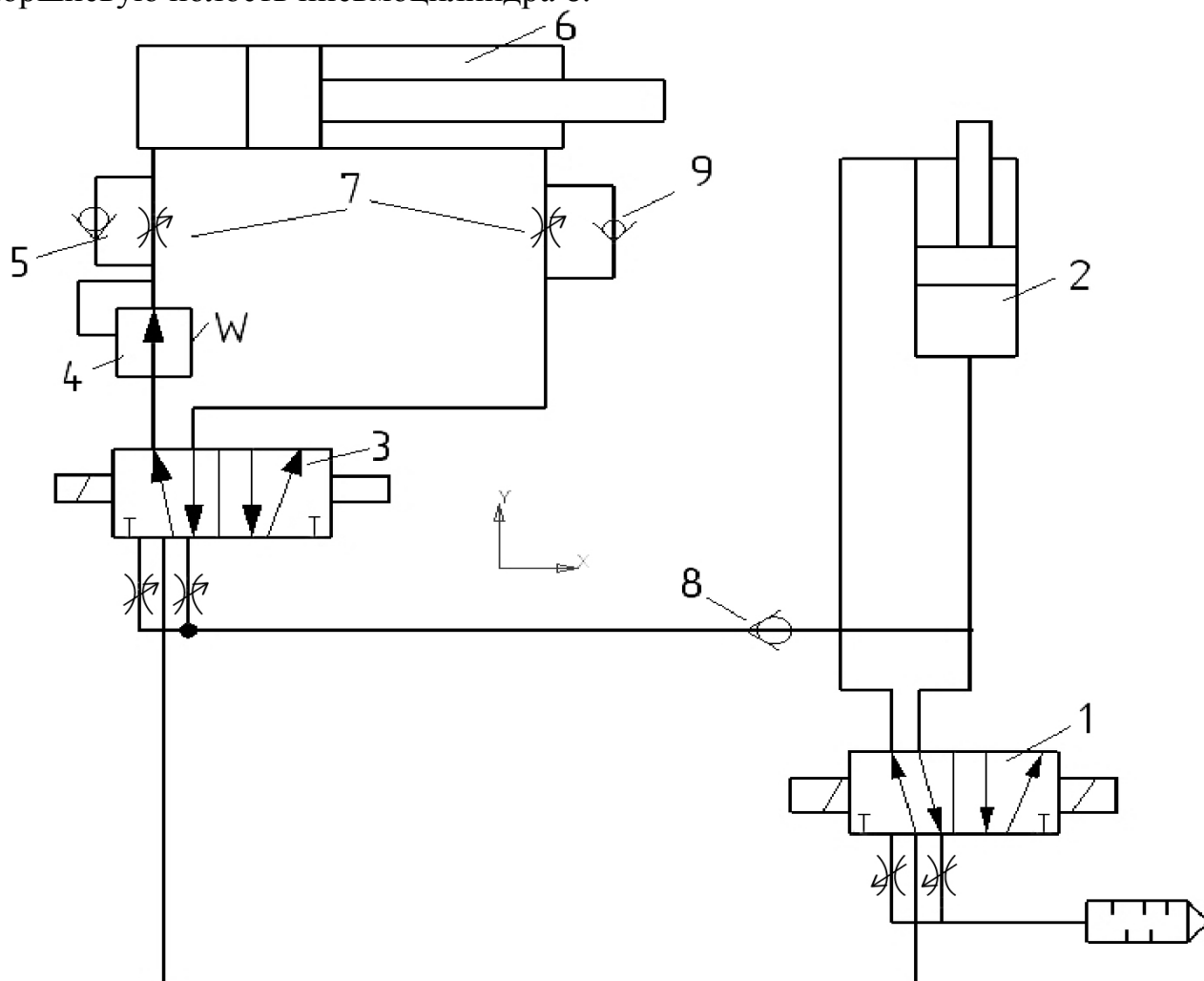


Рис. 1. Пневматическая схема, обеспечивающая работу ПР

Выхлоп из штоковой полости при движении поршня пневмоцилиндра происходит через регулятор скорости 7, распределитель 3, обратный клапан 8, распределитель 1 в атмосферу. При торможении противодавлением воздух через распределитель 3, обратный клапан 9 поступает в тормозную (штоковую) полость пневмоцилиндра 6. Распределителем 3 отключается подача воздуха в поршневую полость, а регулятор давлений 4 выполняет функцию обратного клапана.

Процесс торможения пневмодвигателя описывается дифференциальным уравнением:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = p_1 F_1 - p_2 F_2 - p_a F_{ш} - P, \quad (1)$$

где p_1, p_2, p_a – давление воздуха в поршневой, штоковой полостях пневмоцилиндра и атмосферное давление;

$F_1, F_2, F_{ш}$ – рабочая площадь поршневой, штоковой полостей и площадь штока;

m, x – соответственно масса подвижных частей пневмодвигателя и горизонтальная координата движения штока;

P – сила сопротивления (рабочая нагрузка).

Уравнение изменения относительного давления δ_1 в рабочей полости пневмоцилиндра [3]:

$$\frac{d\delta_1}{dt} = \frac{k\delta_1}{x_0 + x} \left(\frac{G_1 R T_{10}}{\delta_1 P_{10} F_1} - \frac{dx}{dt} \right). \quad (2)$$

Уравнение изменения относительного давления δ_2 в штоковой полости пневмодвигателя [3]:

$$\frac{d\delta_2}{dt} = \frac{k\delta_2}{x_0 + S - x} \left(\frac{G_2 R T_{20}}{\delta_2 P_{20} F_2} + \frac{dx}{dt} \right), \quad (3)$$

где δ_1, δ_2 – массовый расход воздуха, поступающего в поршневую и штоковую полости пневмоцилиндра;

x_0, x, S – начальная, текущая координаты и полный ход поршня;

T_{10}, T_{20} – температура воздуха в поршневой и штоковой полостях пневмоцилиндра;

k, R – показатель адиабаты и газовая постоянная.

Проанализируем процесс торможения противодавлением для способов, когда сжатый воздух поступает в поршневую полость пневмоцилиндра и когда отключаем пневмомагистраль высокого давления.

Рассмотрим эти случаи для наиболее используемых в робототехнических комплексах работах грузоподъемности (50-100)Н. В этом случае ориентировочно можно задаться следующими конструктивными параметрами: $F_1=18,8\text{см}^2$; $F_2=11,2\text{см}^2$; $F_{ш} = 7,6\text{см}^2$; $S = 600\text{мм}$; $m = 10\text{кг}$; скорость в момент начала торможения $v_{mo} = 1\text{м/с}$; давление в пневмомагистрали $P_{um} = 0,4\text{Мпа}$; $P = 200\text{Н}$.

Исходя из используемой пневмоаппаратуры, коэффициенты местных сопротивлений рабочей и тормозной магистралей можно принять равными $\xi_1 = 80$, $\xi_2 = 50$. Точки позиционирования двигателя равными $x_1 = 100\text{ мм}$, $x_2 = 300\text{мм}$, $x_3 = 500\text{мм}$.

Для каждого из указанных случаев торможения решим систему уравнений (1-3).

В результате решения определим зависимость $\Delta\xi = f(\xi)$,

где $\Delta\xi$ – относительный тормозной путь равный $\frac{\Delta x_i}{\Delta x_{\min}}$;

ξ – текущая координата пути в относительном виде $\frac{x_i}{x_{\max}}$;

$\Delta x_i, \Delta x_{\min}$ – текущий и минимальный расчетный тормозные пути;

$x_i, x_{\max}$ – текущая координата точки начала торможения и координата точки начала торможения максимальная.

Результаты решения представлены на рисунках 2 и 3.

Кривая 1 на рисунке 2 показывает зависимость тормозного пути от относительной координаты точки начала торможения при открытом пневмораспределителе 3 (рис. 1), а кривая 2 – при закрытом.

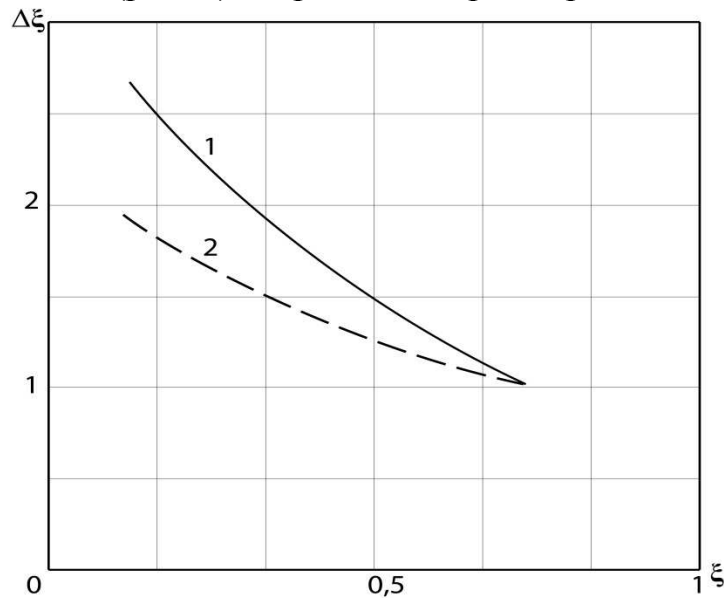


Рис. 2. Зависимость тормозного пути от относительной координаты начала торможения

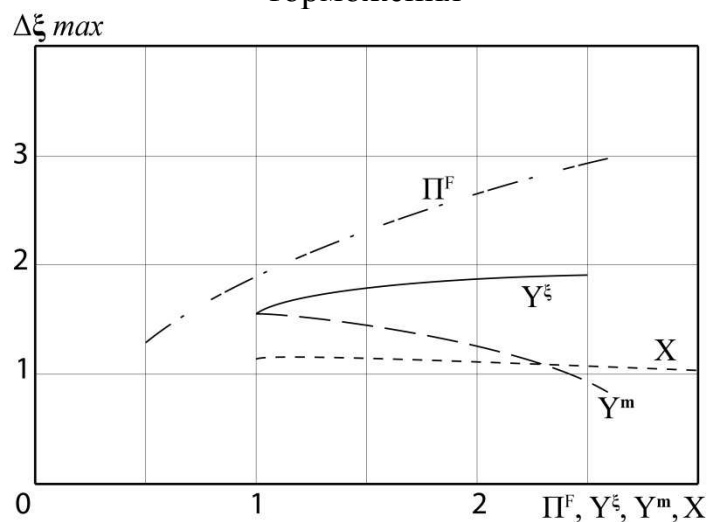


Рис. 3. Влияние конструктивных параметров пневмопривода на величину относительного тормозного пути

Из графиков $\Delta \xi = f(\xi)$ на рисунке 2 можно видеть, что при схеме пневмоторможения с отключением воздушной сети (перекрытием распределителя 3) имеем более стабильный тормозной путь, чем для случая с неотключенной пневмомагистралью.

В первом случае одновременно с поступлением воздуха в тормозную полость воздух продолжает попадать в поршневую полость, что приводит к увеличению тормозного пути.

Тормозной путь тем больше, чем больше объем тормозной полости, что в данном случае определяется координатой начальной точки торможения. В точке торможения с координатой $x_i = 100$ мм объем тормозной полости пневмоцилиндра максимален и соответственно максимален и тормозной путь.

Учитывая полученные выше результаты проведенного анализа, рассмотрим влияние конструктивных параметров пневмопривода на величину тормозного пути применительно к схеме пневмотормозения отключенной пневмомагистрали. Как наиболее рациональный при позиционировании с использованием торможения противодавлением. При построении графиков влияния конструктивных параметров пневмопривода на величину относительного тормозного пути, которые определяются как отношение $\frac{\Delta x_{\max}}{\Delta x_{\min}}$, здесь $\Delta x_{\max}$ – перебега в точке начала торможения с координатой $x_i = 100$ мм (в зависимости от изменения того или иного конструктивного параметра), а $\Delta x_{\min}$ – перебега при торможении в точке $\Delta x_i = 500$ мм. Поэтому каждому значению заданного конструктивного параметра на графике (рис. 3) соответствует значение максимальной относительной неустойчивости тормозного пути $\Delta \xi_{\max}$.

Величину тормозного пути в зависимости от соотношений рабочих площадей штоковой и поршневой полостей пневмоцилиндра, выраженных через величину Π^F , определяет функция $\Delta \xi_{\max} = f(\Pi^F)$. Увеличение площади F_1 или уменьшения F_2 приводит к увеличению давления торможения, что увеличивает время нарастания давления до тормозных, соответственно увеличивая тормозной путь. Влияние на тормозной путь коэффициента сопротивления тормозной магистрали ξ_T определяется зависимостью $\Delta \xi_{\max} = f(Y^\xi)$, где $Y^\xi = \frac{\xi_{Ti}}{\xi_{T \min}}$ ($\xi_{\min} = 55$) и как видно из графика (рис. 3) это влияние незначительно. Увеличение массы подвижных элементов пневмоцилиндра в соответствии с зависимостью $\Delta \xi_{\max} = f(Y^m)$, где $Y^m = \frac{m_i}{m_{\min}}$.

Заметно стабилизирует величину тормозного пути. Такое же влияние на $\Delta \xi_{\max}$ оказывает и увеличение силы P_i . Её относительная величина равна:

$$X = \frac{P_i}{P_{\min}}.$$

Обобщая проведенные исследования можно заключить, что пневматический исполнительный двигатель при торможении противодавлением имеет неустойчивую величину перебега, которая зависит от принимаемого способа управления тормозным процессом. При пневмотормозении по схеме с неотключенной пневмомагистралью неустойчивость перебега существенно возрастает. Кроме того, неустойчивость величины перебега увеличивается с уменьшением координаты начальной точки торможения и увеличением площади рабочей полости пневмоцилиндра. Величину перебега, как видно из графика на

рисунке 3, можно стабилизировать, увеличив движущую массу и силы сопротивления движению.

Таким образом, можно заключить, что торможение пневмодвигателя, способом противодействия, наиболее перспективно использовать при проектировании позиционных пневматических роботов повышенной грузоподъемности.

Список литературы

1. Королёв В.А. Пневматические приводы роботов: учебное пособие. – Л.: Изд-во ЛПИ, 1986. – 135с.
2. Пневмоавтоматика: учебное пособие. – СПб.: ООО «ЭС ЭМ СИ Пневматика», 2002. – 190с.
3. Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. – М.: Машиностроение, 1985. – 236 с.

Сведения об авторах:

Королёв Владимир Александрович – д.т.н., профессор, БГТУ, Санкт-Петербург;
Воротынцев Борис Николаевич – старший преподаватель, БГТУ, Санкт-Петербург;
Попов Валерий Владимирович – к.т.н., доцент, БГТУ, Санкт-Петербург.