

УДК 621.865.8: 62-85

Н.И. Варминская, аспирант

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

УПРАВЛЯЕМОЕ ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ПНЕВМОПРИВОДОВ МАНИПУЛЯТОРОВ МАЛОЙ ЖЕСТКОСТИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ

Исследована зависимость изменения площадей дроссельных отверстий пневмопривода от его характеристик при оптимальном перемещении объектов телескопической рукой манипулятора малой жесткости.

В [1] решены задачи оптимизации рабочих операций транспортирования груза телескопическим манипулятором; найденные управления предложено реализовывать пневматическими приводами с управляемым дросселированием. В [2] найдено приближенное решение задачи оптимального перемещения груза в горизонтальной плоскости с фиксированной точки на транспортер, произвольно расположенный в горизонтальной плоскости. В [3] исследовано силовое нагружение упругой системы (от нуля до постоянно действующей силы) с равным единице динамическим коэффициентом и предложена его практическая реализация на основании управления дросселированием пневмопривода.

Анализ литературных источников позволяет сделать вывод, что в настоящее время пневматический привод находит широкое применение во многих отраслях промышленности и техники, поэтому актуальны задачи улучшения характеристик пневмоприводов для реализации оптимальных управлений. Анализ известных объектов управления, режимов их работы показывает, что для управления машинами и механизмами с пневмоприводами необходимо обеспечить выполнение различных операций как дискретного типа: пуск в ход, остановка, реверсирование, так и операций регулирования скорости перемещения и усилия. В связи с этим возникает задача выбора оптимального управления движением и способа его реализации.

В данной статье рассматривается управление движением исполнительного органа манипулятора с помощью дросселирования пневмопривода, которое осуществляется изменением площади дроссельного отверстия во времени.

Выражение для площади дроссельного отверстия пневмопривода как функции времени найдено с использованием известных допущений: молекулы газа (рабочего тела) представляют собой материальные точки, не имеющие объема, взаимное притяжение между которыми отсутствует; время срабатывания распределителей не учитывается; не учитывается влияние изменения плотности рабочего тела на характеристики расхода; динамические характеристики совпадают со статическими; предполагаются одина-

ковыми величины давлений во всех точках камеры в рассматриваемый момент времени. Эти допущения означают, что справедлив закон Менделеева – Клапейрона.

Масса воздуха в камере предварительного наполнения определяется по формуле $M_0 = p_1 V_0 / RT$, где p_1 – давление в полости ($p_1 = u(t)m / S$; S – площадь поршня, $u(t)$ – ускорение оптимального переносного движения); V_0 – объем полости; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура воздуха (рисунок 1).

В произвольный момент времени масса воздуха в рабочей полости пневмопривода определяется как

$M = \frac{p_1 S (x_0 + x_e(t))}{RT}$, где x_0 – координата, определяющая длину полости предварительного наполнения.

Зависимость массового расхода от давления при наполнении камеры из магистрали определяется выражением

$$M(t) = \mu \delta_s p_m \sqrt{\frac{2}{RT} \frac{k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} \left(1 - \frac{p_1}{p_m} \right)}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент расхода, принимаемый по таблицам; δ_s – площадь поперечного сечения трубопровода (распределителя); k – показатель политропы; p_m – давление в магистрали.

После подстановки в формулу (1) значений параметров ($R = 287$ Дж/(кг·град); $T = 293$ К; $k = 1,4$; с учетом выражения $\delta_s = \pi d^2 / 4$) следует упрощенная зависимость массового расхода от давления при наполнении камеры из магистрали [1] $\frac{dM}{dt} = 0,0015 d^2 p_m \sqrt{1 - p_1 / p_m}$, где d – диаметр условного прохода распределителя.

Изменение во времени массы воздуха определяется следующим образом

$$\frac{dM(t)}{dt} = \frac{S}{RT} \left(\frac{dp_1}{dt} (x_0 + x_e(t)) + p_1 \frac{dx_e(t)}{dt} \right).$$

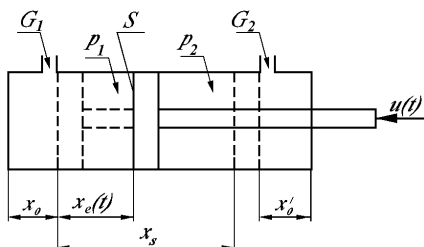


Рисунок 1 – Схема пневматического цилиндра:

G_1, G_2 – массовые расходы рабочей и выхлопной полостей; p_1, p_2 – мгновенные давления в бесштоковой и штоковой полостях; S – площадь поршня; x_s – ход поршня; x_0, x'_0, S – объемы камер предварительного наполнения; $x_e(t)$ – текущее перемещение поршня

После преобразований (с учетом выражения $\delta_s = \pi d^2/4$) следует формула для площади дроссельного отверстия в бесштоковой полости как функции времени [3]:

$$\delta_s(t) = \frac{\pi S(\dot{p}_1(x_0 + x_e(t)) + p_1 \dot{x}_e(t))}{4 \cdot 0,0015 p_m \sqrt{1 - p_1 / p_m} RT}.$$

Итак, $\delta_s(t)$ зависит от давления в полости p_1 , длины, на которую необходимо выдвинуть руку $x_e(t)$ и их производных. Давление в полости p_1 пропорционально управлению, прикладываемому к исполнительному органу манипулятора.

Из общего вида управления выдвижением телескопической руки манипулятора [4]

$$u(t) = \frac{2n-1}{2n} \frac{Lp^2}{\pi} \sin^{(2n-1)} pt, \quad (2)$$

при $n = 1, 2$; $p = 2\pi/T^*$, где T^* – время движения, L – перемещение руки в переносном движении, выражения для управления, скорости и перемещения в переносном движении ($n = 1$) принимают вид:

$$u(t) = \frac{Lp^2}{2\pi} \sin pt; \quad v_e(t) = -\frac{Lp}{2\pi} \cos pt + \frac{Lp}{2\pi}; \quad x_e(t) = -\frac{L}{2\pi} \sin pt + \frac{Lpt}{2\pi}.$$

Графики функций $u(t)$, $v_e(t)$, $x_e(t)$ изображены на рисунке 2.

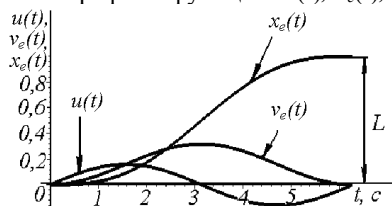


Рисунок 2 – Графики перемещения, скорости и ускорения в переносном движении (при $n = 1$)

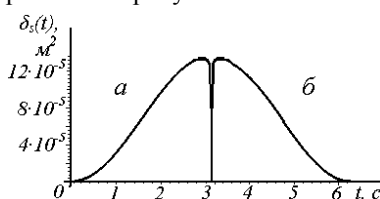


Рисунок 3 – График изменения площадей дроссельных отверстий в напорной (а) и выхлопной (б) камерах пневмопривода, $n = 1$

Для исходных данных ($x_0 = 0,02$ м; $m = 10$ кг; $T = 293$ К; $R = 8,31$ Дж/(моль·К); $S = 0,02$ м²; $p_m = 4$ р.а.; $p_a = 101325$ Па) построены графики изменения площадей дроссельных отверстий в напорной и выхлопной камерах для оптимального управления (2) переносным движением: при $n = 1$ (рисунок 3) и $n = 2$ (рисунок 4).

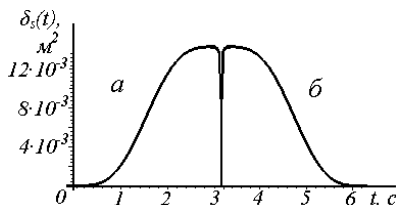


Рисунок 4 – График изменения площадей дроссельных отверстий в напорной (а) и выхлопной (б) камерах пневмопривода, $n = 2$

Предполагается, что в напорной камере происходит мгновенный сброс давления в момент $t = 3$ с.

Рассмотрено известное оптимальное управление, основанное на минимуме нормы мощности. Оптимальное переносное ускорение основания руки манипулятора, доставляющее минимум функционалу

$$J = \int_0^{T_*} u^2(t) dt, \text{ где } T_* - \text{общее время движения, принято в виде:}$$

$$u(t) = 6L(1 - 2t/T_*)/T_*^2. \quad (3)$$

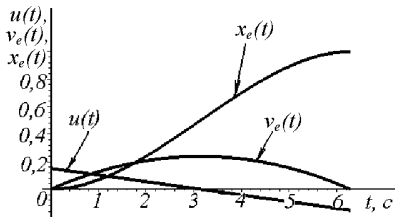


Рисунок 5 – Графики перемещения, скорости и ускорения в переносном движении при управлении вида (3)

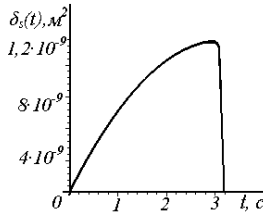


Рисунок 6 – График изменения площади дроссельного отверстия в рабочей полости при оптимальном управлении (3)

Выражения для перемещения и скорости в переносном движении записываются следующим образом:

$$x_e(t) = 6L(t^2/2 - t^3/3T_*)/T_*^2; \quad v_e(t) = 6L(t - t^2/T_*)/T_*^2.$$

Графики $u(t)$, $v_e(t)$, $x_e(t)$ показаны на рисунке 5. При аналогичных исходных данных график изменения площади дроссельного отверстия $\delta_s(t)$ для управления (3) изображен на рисунке 6.

Графики изменения площадей дроссельных отверстий в бесштоковой (а) и штоковой (б) камерах пневмопривода при (2) и $n = 1$ с учетом влияния вязкого трения изображены на рисунке 7. Графики изменения площадей дроссельных отверстий при учете влияния вязкого сопротивления при оптимальном управлении (2) и $n = 2$, а также при оптимальном управлении (3) аналогичны графикам, изображенным на рисунках 4, 6.

Оптимальное управление переносным движением $u(t)$ можно выбрать

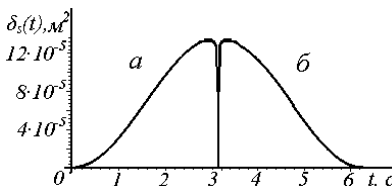


Рисунок 7 – График изменения площадей дроссельных отверстий в напорной (а) и выхлопной (б) камерах пневмопривода при (2) и $n = 1$ с учетом влияния трения

в предположении, что за время переносного движения в относительном движении колебания осциллятора отсутствуют и динамический коэффициент равен единице. Это обеспечивается за счет выбора параметров ускорения: $T = 2\pi/k$; $u_0 = cx_{cm}/m$, где x_{cm} – заданная величина статической деформации осциллятора. Осциллятор на первом временном интервале $T/2 \geq t > 0$ отклоняется на величину x_{cm} ; на втором интервале $T/2 + T_* \geq t > T/2$ остается в относительном покое с

деформацией x_{cm} , а затем при $T_* + T \geq t > T/2 + T_*$ возвращается в исходное недеформированное состояние. Графики движения изображены на рисунке 8.

Рисунок 8 – Графики перемещения, скорости и ускорения в переносном движении (динамический коэффициент равен единице)

Рисунок 9 – График изменения площади дроссельного отверстия при оптимальном управлении (4)

Ускорение в переносном движении $u(t)$ записывается в виде

$$u(t) = u_0 \left(\frac{1}{2} \text{Heaviside}(t) + \frac{1}{2} \text{Heaviside} \left(t - \frac{T}{2} \right) \right) - u_0 \left(\frac{1}{2} \text{Heaviside} \left(t - \left(\frac{T}{2} + T_* \right) \right) + \frac{1}{2} \text{Heaviside} (t - (T + T_*)) \right), \quad (4)$$

где $u_0 = cx_{cm}/m$; c – коэффициент жесткости упругой системы; x_{cm} – статическая деформация; m – сосредоточенная масса; T – период свободных колебаний упругого объекта; T_* – время движения, при котором $u_e(t) = u_0 = \text{const}$; u_0 – максимальное значение ускорения. При использовании управления (4) и исходных данных ($c = 100$ Н/м; $x_{cm} = 0,01$ м; $m = 4$ кг; $T_* = 2$ с; $x_0 = 0,02$ м; $T = 293$ К; $R = 8,31$ Дж/(моль·К); $S = 0,02$ м²; $p_m = 4$ р; $p_a = 101325$ Па) построен график изменения площади дроссельного отверстия в напорной камере (рисунок 9).

Различные типы оптимальных управлений движением исполнительных органов манипуляторов, обеспечивающих отсутствие колебаний в конце движения, а также с динамическим коэффициентом, равным единице, удается реализовать с помощью дросселирования пневмоприводов. При этом возможно использовать распространенные игольчатые конические дроссели. Применение предлагаемых оптимальных управлений рекомендуется для манипуляторов малой массы, что позволяет достичь той же точности позиционирования и производительности, которыми обладают существующие жесткие манипуляторы.

На основании выполненных исследований предполагается постановка и решение задачи захвата объекта манипулятором с транспортера, лента которого движется с постоянной скоростью, и перемещение его в фиксированную точку.

Библиографический список

1. Бохонский А.И. Расчет и проектирование телескопических исполнительных органов манипуляторов: Учеб. пособие / А.И. Бохонский, Г.Г. Макухина, Ю.А. Хашин. — К.: УМК ВО, 1989. — 132 с.
2. Бохонский А.И. Управление движением манипулятора / А.И. Бохонский // Вестн. СевГТУ: Сб. научн. тр. — Севастополь, 1996. — Вып. 3. — С. 50 – 54.
3. Бохонский А.И. Реализация оптимальных нагрузжений упругой системы с помощью пневмопривода / А.И. Бохонский, Е.В. Исаева // Вестн. СевГТУ: Сб. научн. тр. — Севастополь, 2002 . — Вып. 5. — С. 175 – 179.
4. Бохонский А.И. Оптимальное переносное движение упругих систем / А.И. Бохонский // Вестн. СевГТУ: Сб. научн. тр. — Севастополь, 2002. — Вып. 38. — С. 33 – 38.

Поступила в редакцию 16.12.2004 г.