

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТИПОВОГО ПНЕВМОПРИВОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИДЕОСЪЁМКИ

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований типового пневмопривода. Уточнённая математическая модель позволила учитывать волнообразные процессы изменения давлений в полостях цилиндра. Апробирована оригинальная методика экспериментального исследования динамики привода с применением видеосъёмки и последующей обработкой информации видеофайлов специальными программами для построения графиков переходных процессов по перемещению, скорости и ускорению выходного звена

В. В. Седач

Кандидат технических наук, доцент*

Контактный тел.: (057) 707-61-28, 8-067-574-70-31

E-mail: wsedach@yandex.ru

Muhamad Shireen O.

Iraq, Kurdistan, Irbel

Магистр*

Кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропривод»

Национальный технический университет «Харьковский

политехнический институт»

ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

1. Введение

Для автоматизации целого ряда технологических операций в современном производстве широко применяется цикловый пневмопривод. Он обычно используется для перемещения предметов обработки с массой не более 10 кг [1] и имеет следующие преимущества: несложную конструкцию, возможность достаточно простыми способами получать и регулировать высокие скорости рабочих и холостых рабочих ходов выходного звена, отсутствие трубопроводов для отвода отработавшей рабочей среды.

К недостаткам такого привода следует отнести возможность некоторой неплавности движения выходного звена из-за сжимаемости воздуха и зависимости скорости движения поршня в пневмоцилиндре от нагрузки, в том числе, силы трения в уплотнении штока цилиндра. Очевидно, что на практике в большинстве случаев наиболее важным критерием, определяющим применение того или другого типа привода, является время отработки им рабочего хода, которое должно удовлетворять требованиям циклограммы данного технологического процесса. Однако на ряде операций неплавность движения выходного звена привода является недопустимой.

Целью данной работы ставилось аналитическое и экспериментальное исследование динамики пневмопривода для определения влияния различных эксплу-

атационных параметров на характер движения штока цилиндра и проверки адекватности разработанной математической модели.

2. Математическое моделирование типового пневмопривода

При разработке математической модели использовались хорошо апробированные регулярные методы расчета типового пневмопривода [2,3,4].

Они предполагают запись уравнения движения поршня цилиндра, дополненного уравнениями, описывающими изменения давлений в рабочей и выхлопной полостях цилиндра с последующим моделированием на ЭВМ.

Окончательно такая система уравнений имеет следующий традиционный вид:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = P_1 F_1 - P_2 F_2 - P \quad (1)$$

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{\kappa f_1 \mu_1 K p_M \sqrt{RT_M}}{F_1(x_{01} + x)} \phi(\sigma_1) - \frac{\kappa p_1}{(x_{01} + x)} \cdot \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{dp_2}{dt} = \frac{\kappa f_2 \mu_2 K p_2^{(3\kappa-1)/2\kappa} \sqrt{RT_M}}{F_2(s + x_{02} - x) p_M^{(3\kappa-1)/2\kappa}} \phi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right) + \frac{\kappa p_2}{s + x_{02} - x} \cdot \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

где m – приведенная инерционная нагрузка на штоке цилиндра;

P – результирующая всех сил, действующих на поршень;

p_1, p_2 – абсолютные давления в рабочей и выхлопной полостях;

F_1, F_2 – площади поршня со стороны рабочей и выхлопной полостей;

s – полный ход поршня;

x – текущая координата перемещения поршня цилиндра

Моделирование уравнений (1)-(3) проводилось в пакете MathCAD при соответствующих начальных и граничных условиях. Отличительной особенностью разработанной программы является возможность, благодаря применению метода Адамса, точного учета влияния проводимости питающей и выхлопной магистрали на характер изменения давлений в полостях цилиндра и, соответственно, на вид кривой перемещения.

Типовые графики расчётных переходных процессов при движении поршня пневмоцилиндра приведены на рис.1.

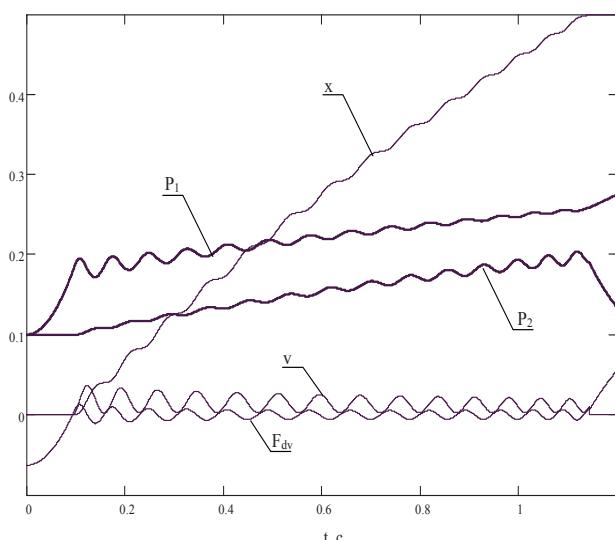


Рисунок 1. Расчётные переходные процессы при движении поршня пневмоцилиндра

Анализ полученных графиков показывает, что они имеют высокую степень адекватности реальным физическим переходным процессам, происходящим в полостях пневмоцилиндра и при выдвижении его штока, что впоследствии подтверждено экспериментально.

3. Экспериментальные исследования типового пневмопривода

Экспериментальные исследования типового пневмопривода проводились в лаборатории «FESTO-ГПА» НТУ «ХПИ» при атмосферном давлении 50 мм.рт. ст. и температуре окружающей среды 16°C. Принципиальная пневматическая схема экспериментального

стенда, реализованного на серийной аппаратной базе фирмы FESTO, приведена на рис. 2.

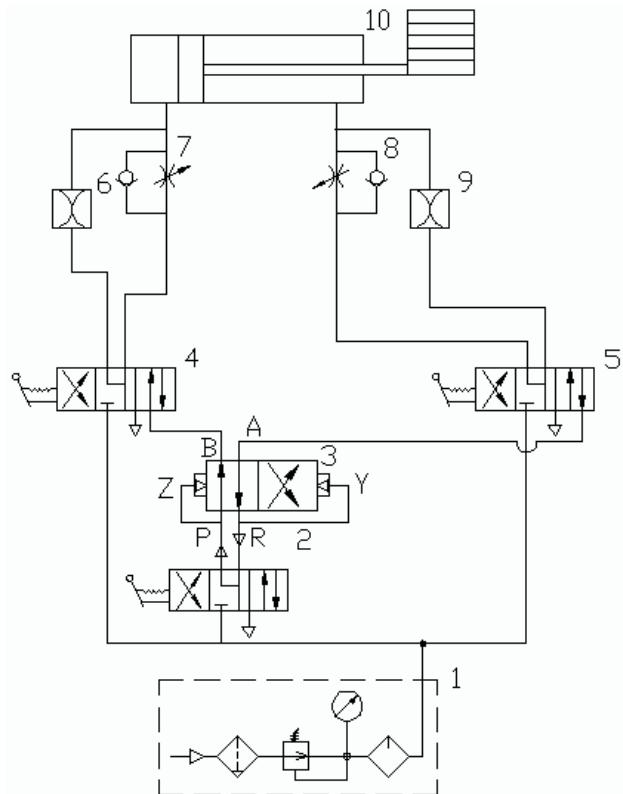


Рисунок 2. Принципиальная пневматическая схема экспериментального стенда

В стенде использовано следующее пневмооборудование: 4/2 распределитель 3 с двухсторонним пневматическим управлением Serie 977 Тур JP-4-1/8, 4/3-распределители 2, 4, 5 с ручным управлением и фиксацией нейтрального положения Serie W6 Type 2123 HSO-4/3-1/8, две калиброванные дроссельные шайбы 6, 9, два регулируемых дросселя 7, 8 с обратным клапаном Serie 1086 Тур GR-1/8, и исследуемый пневмоцилиндр 10 двухстороннего действия Type DGW-32 Serie 977 R со следующими параметрами: диаметр поршня $D_p = 25$ мм, диаметр штока $d_{ш} = 14$ мм, рабочий ход поршня $s = 100$ мм.

Питание стенда сжатым воздухом обеспечивала компрессорная установка 1 на базе винтового компрессора типа JUN-AIR с номинальным давлением питания 0,8 МПа и расходом 50 л/мин. На штоке цилиндра установлена платформа для инерционной нагрузки, а также специальный визир, скользящий вдоль делений измерительной линейки. Давление питания в ходе экспериментов составляло 0,3 МПа, привод мог быть нагружен инерционной нагрузкой от 1,0 до 4,0 кг.

Экспериментальные исследования проводились в три этапа.

На первом (вспомогательном) этапе выполнялась сборка стенда, проверялась работоспособность отдельных его элементов и схемы в целом, прово-

дилась юстировка видеокамеры по захвату и углу проведения съемки, выбирались уровень давления питания и грузы для моделирования инерционной нагрузки.

На втором (основном) этапе определялись основные динамические характеристики пневмопривода. Для этого в отдельных ответвлениях питающей и выхлопной магистралей через распределители 4, 5 вместо стандартных элементов 7, 8 подключались калиброванные дроссели с проходными сечениями 0,65 мм и 0,54 мм соответственно с целью проведения эталонного по отношению к разработанной математической модели эксперимента.

Инерционная нагрузка на поршне при этом составляла 1,0 кг.

Для фиксации процесса перемещения поршня использовалась видеокамера модели SONY DCR-DVD 106E. Затем полученные данные обрабатывались на компьютере с помощью программы просмотра видеорегистратора Mediastudio Pro 8.0, позволяющей осуществлять пошаговый просмотр видеофайлов с дискретностью по времени 0,033 с.

Этого вполне достаточно, чтобы выявить качественную картину переходного процесса по перемещению поршня. Типовая кривая такого процесса на рис.3.

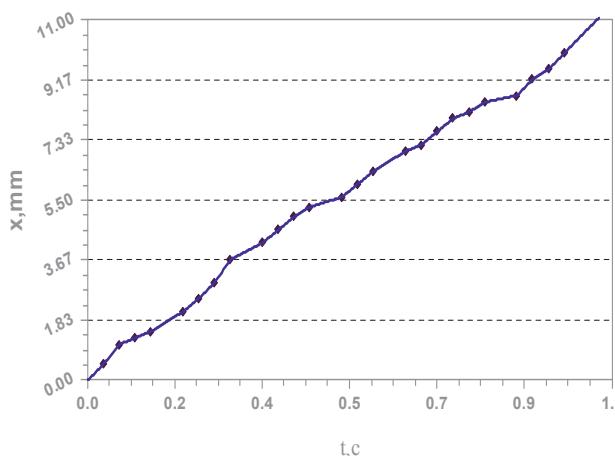


Рисунок 3. Типовая экспериментальная зависимость $x = f(t)$ перемещения штока

Дальнейшая обработка полученных на этом этапе экспериментальных данных предусматривает использование аппроксимирующих программ, например Sigma Expert Version 1.34, для получения полинома n-ной степени, с достаточной степенью точности аналитически описывающего полученную кривую переходного процесса. Последующее дифференцирование данного полинома позволяет определить вид кривых скорости и ускорения движения штока. Так, кривая на рис.3 с точностью 0.9989 описывается полиномом четвертого порядка вида:

$$x = a + bt + ct^2 + dt^3 + et^4, \quad (4)$$

где

$$a = 0.1402, b = 10.1220, c = 7.5266, d = -16.5055, e = 8.7042;$$

Скорость и ускорение поршня с точностью 0.9971 и 0.9660 соответственно описываются следующими полиномами четвертого порядка:

$$v = a_1 + b_1 t + c_1 t^2 + d_1 t^3 + e_1 t^4, \quad (5)$$

где

$$a_1 = 10.1053, b_1 = 15.6055, c_1 = -49.7258, d_1 = 40.7453, e_1 = -3.2796;$$

$$u = a_2 + b_2 t + c_2 t^2 + d_2 t^3 + e_2 t^4, \quad (6)$$

где

$$a_2 = 9.2991, b_2 = -15.5446, c_2 = -146.5280, d_2 = 291.8844, e_2 = -115.6818.$$

Результирующие графики переходных процессов, полученные после окончательной обработки экспериментальных данных, приведены на рис.4.

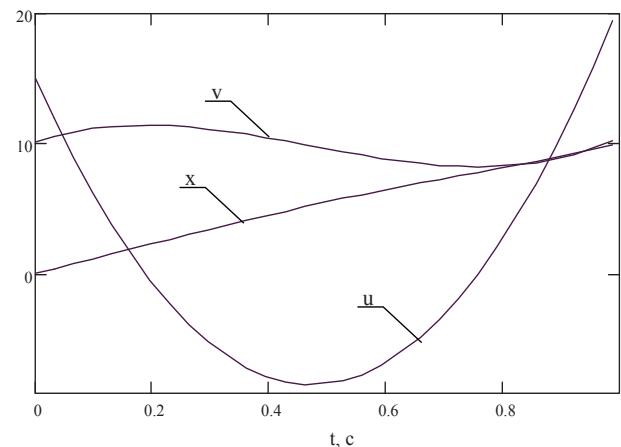


Рисунок 4. Экспериментально-расчетные переходные процессы при движении поршня

На третьем этапе исследовалось влияние инерционной нагрузки на скорость и характер перемещения штока цилиндра.

Эксперимент проводился по стандартной схеме подключения полостей цилиндра 10 к управляющему распределителю через дроссели 7, 8 с обратными клапанами. Скорость перемещения поршня регулировалась путем дросселирования выхлопной магистрали.

Установлено, что при начальном увеличении нагрузки быстродействие цилиндра практически не меняется, что согласуется с результатами математического моделирования.

Однако при значительном увеличении нагрузки время срабатывания цилиндра резко уменьшается, практически - в два раза. Это можно объяснить тем, что из-за увеличения силы трения в уплотнении

штока цилиндра на поршне создается существенно больший, чем ранее, перепад давлений, необходимый для начального смещения поршня из состояния покоя.

Другими словами, при большой нагрузке после набора необходимого давления в рабочей полости поршень «выстреливает» [6]. При этом следует отметить существенное увеличение времени подготовительного периода срабатывания пневмопривода, которое может достигать 1,0 с.

Выводы.

1. Разработана программа математического моделирования на ЭВМ переходных процессов в типовом пневматическом приводе, обеспечивающая хорошую качественную и количественную сходимость расчетных и экспериментальных данных.

2. Разработан и апробирован метод исследования динамики выходного звена пневмопривода с применением видеосъемки.

Достаточная информативность получаемых результатов позволяет изучать на качественном уровне динамические свойства ряда машин и оборудования без использования сложной измерительной техники, в том числе и в полевых условиях.

3. Установлено наличие эффекта «выстреливания» поршня типового пневмоцилиндра при большой

инерционной нагрузке на штоке, что может быть с положительным эффектом использовано при решении некоторых технологических задач, требующих минимизации времени срабатывания привода и не-критичных к увеличению времени подготовительного периода.

Литература

1. Промышленная робототехника\ А.В. Бабич, А.Г. Баранов, И.В. Калабин и др. Под ред. Я.А. Шифрина – М.: Машиностроение, 1982 – 415с.
2. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.
3. Пневматические устройства и системы в машиностроении. Справочник. /Под общ. ред. Е.В.Герц. – М.: Машиностроение, 1982. – 408 с.
4. Динамика пневматических систем машин. / Под ред. Е.В.Герц – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
5. Измерения в промышленности. Справ. изд. Кн.2. Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем./Под. ред. Профоса П. – М.: Металлургия, 1990. – 384 с.
6. Гидроприводы и гидропневмоавтоматика станков /Под ред. В.А. Федорца. – К.: Вища школа, 1987. – 375 с.