

УДК 681.587.357

В.М. Моргунов (канд. техн. наук, доц.),**Ю.И. Пупышева** (магистрант)

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

МЕТОДЫ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДИСКРЕТНЫХ ПНЕВМОПРИВОДОВ

В работе обоснована целесообразность внедрения роботизированных комплексов, рассмотрены механизмы построения циклограммы привода двустороннего действия и определения времени наполнения полостей исполнительных устройств пневмопривода, которые могут быть использованы при динамическом расчете исполнительных устройств дискретных пневмоприводов.

Ключевые слова: роботизированный комплекс, манипулятор, пневмопривод, тактовая циклограмма, ход поршня, математическая модель.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

На современном этапе развития украинского производства процесс укладки готовой малогабаритной продукции в упаковку находится на начальной стадии автоматизации, что подразумевает повсеместное использование ручного труда на производственных линиях промышленных предприятий. Общеизвестно, что ручной труд обладает меньшей производительностью, чем работа производственной автоматизированной линии. Человеческий фактор нередко оказывает негативное влияние на качество изготавливаемой продукции и на сроки ее реализации, а также необходимо учитывать степень влияния на человеческий организм вредных веществ и вероятность травматизма на опасных участках производства.

Рациональным решением данной проблемы является внедрение промышленных роботов – одних из самых перспективных средств комплексной автоматизации производственных процессов. Современное определение промышленных роботов формулируется следующим образом: «перепрограммируемый многофункциональный манипулятор, предназначенный для осуществления различных, заранее заданных перемещений материалов, деталей, инструментов или специальных приспособлений с целью выполнения различных работ» [1]. Применение манипуляторов позволяет значительно увеличить производительность труда, избавляя человека от монотонной, тяже-

© Моргунов В.М., Пупышева Ю.И., 2013

лой и вредной работы, а также снизить себестоимость продукции. Сортировка и упаковка изделий производится масштабно, как в тяжелой, так и в легкой промышленности. В данной работе будет рассмотрена упаковка малогабаритной продукции, что является отличительной чертой пищевой промышленности, производства медицинских препаратов, бытовых и промышленных химических изделий.

Анализ исследований и публикаций. Разработке манипуляторов и математических моделей их описания посвящены работы многих отечественных и зарубежных исследователей.

Обзор национальных источников. Методы математического моделирования в пневматических системах детально описаны в работе А.С. Донского [2]. Е.В. Пашкову принадлежат многочисленные исследования в области промышленной пневматики и электропневмоавтоматики [3-5]. А.П. Губарев проводит глубокие исследования в мехатронике на базе Киевского политехнического института электропневмоавтоматики [6]. Проектированию станочных приспособлений уделил внимание А.П. Белоусов [7].

Обзор международных источников. Обзор вариантов применения промышленных роботов представлен в работе С. Хессе «Пневмоавтоматика: 99 примеров применения» [8]. Также данный автор проводил ряд других исследований, касающихся подобной тематики [9-11]. Анализ механики поступательных и параллельных манипуляторов изложен в работе Лунг-Вен Цая «Анализ роботов: механика последовательных и параллельных манипуляторов» [12]. Г. Преде, Д. Шольц занимались сравнением преимуществ, недостатков и особенностей применения устройства и работы отдельных устройств электропневматических систем управления разных типов [13]. Р. Близенер, Ф. Эбель, К. Лёфер занимаются исследованием приведения в действие мехатронных систем с помощью свободно - программируемых контроллеров [14].

Постановка задачи. Рассмотреть преимущества и недостатки применения пневмоприводов в манипуляторах с последовательной кинематикой для укладки малогабаритных изделий, методы динамического расчета исполнительных устройств дискретных пневмоприводов, применяемых в манипуляторах с последовательной кинематикой, на основании которых будет разработана структура промышленного манипулятора для конкретных условий.

Изложение материала и результаты. С целью уточнения взаимодействия исполнительных механизмов, правильности в соот-

ношении интервалов движения рабочих органов и в их соответствии технологическому процессу необходимо произвести анализ циклограмм машин-автоматов. Рассмотрим построение циклограммы типового пневмопривода.

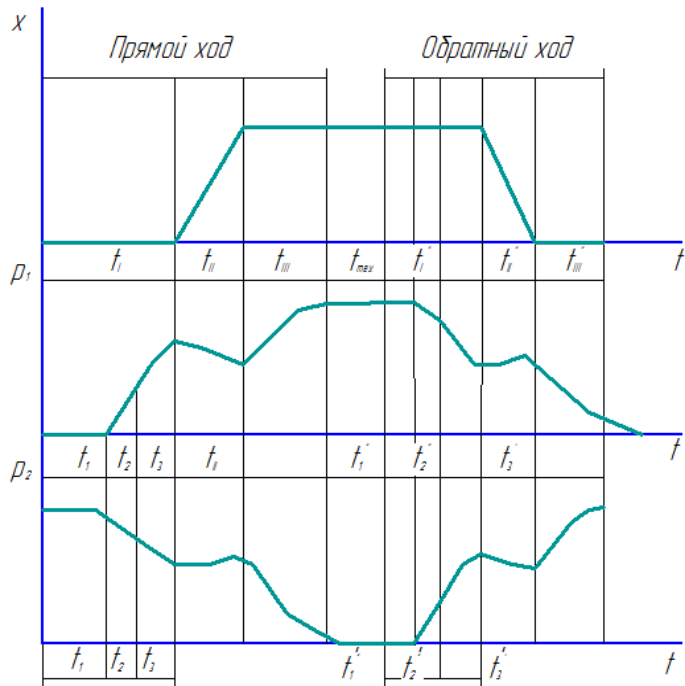


Рис. 1. Циклограмма привода двухстороннего действия

Под временем срабатывания поршневого дискретного пневматического устройства понимается отрезок времени от момента приложения управляющего воздействия к управляющему устройству до момента окончания движения поршня в одну сторону (прямой или обратный ход) [3].

На рисунке 1 представлена типовая циклограмма цилиндра двухстороннего действия: верхняя диаграмма отображает последовательность подготовки к движению и движения поршня при прямом

и обратном ходе; нижняя – изменение давления в напорной полости, соответствующее различным периодам работы устройства.

Время прямого хода:

$$t = t_I + t_{II} + t_{III} \quad (1)$$

Время обратного хода

$$t' = t'_I + t'_{II} + t'_{III} \quad (2)$$

где t_I – время от момента приложения управляющего воздействия до начала движения поршня (подготовительный период);

t_{II} – время отработки длины хода поршня s_i ;

t_{III} (t'_{III}) – время изменения давления до заданной величины после остановки поршня (заключительный период).

Подготовительный период состоит из трех интервалов:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 \quad (3)$$

и

$$t' = t'_1 + t'_2 + t'_3, \quad (4)$$

где t_1 – время срабатывания управляющего устройства;

t_2 (t'_2) – время распространения волны давления от управляющего устройства до рабочей полости;

t_3 – время изменения давления в полости до начала движения поршня.

Время t_1 указывается в технической характеристике устройства и во многих случаях оказывается пренебрежимо мало по сравнению с длительностью цикла работы исполнительного устройства. Для 5/2-распределителей типа MN1H время переключения лежит в пределах 80-100 мс.

Чтобы получить реальные циклограммы, необходимо определить конкретные длительности циклов работы всех приводов системы.

Определение времени наполнения полостей исполнительных устройств пневмопривода

Время распространения волны давления:

$$t_2 = l_m / c \quad (5)$$

где l_m – длина трубопровода (1 м); c – скорость распространения звука в воздухе, м/с (при 0°C, $c = 331,8$ м/с).

Время заполнения полости до заданного давления сжатого воздуха:

- для полости с одним входом без дросселя:

$$t_3 = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{V_0}{f_{ym}} [\psi_1(\sigma_2) - \psi_1(\sigma_1)] \quad (6)$$

- для полости с дросселем на входе:

$$t_3 = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{V_0}{f_{\sigma}} [\psi_1(\sigma_2) - \psi_1(\sigma_1)] \quad (7)$$

- для полости с одним выходом без дросселя:

$$t_3 = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{V_0}{f_{ym} \sigma_a^{(k-1)/2k}} \left[\psi_2 \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2} \right) - \psi_2 \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_1} \right) \right] \quad (8)$$

- для полости с дросселем на выходе:

$$t_3 = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{V_{\sigma}}{f_{\sigma} \sigma_a^{(k-1)/2k}} \left[\psi_2 \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2} \right) - \psi_2 \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_1} \right) \right] \quad (9)$$

где $V_0 = V_1 + V_T$;

V_1 и V_T – объем соответственно полости и питающего трубопровода, м³;

$$\sigma_1 = p_1/p_m, \quad \sigma_2 = p_2/p_m$$

p_1 и p_2 – начальное и конечное абсолютное давление воздуха в полости;

p_m – абсолютное давление в магистрали, обеспечиваемое редукционным клапаном (регулятором давления), установленным на входе в пневмосистему;

f_{ym}° – суммарная эффективная площадь проходного сечения управляющего устройства и трубопровода, м²;

$\psi_1(\sigma)$, $\psi_2(\sigma)$ – функции давления, значения которых определяются с помощью графика на рисунке 2;

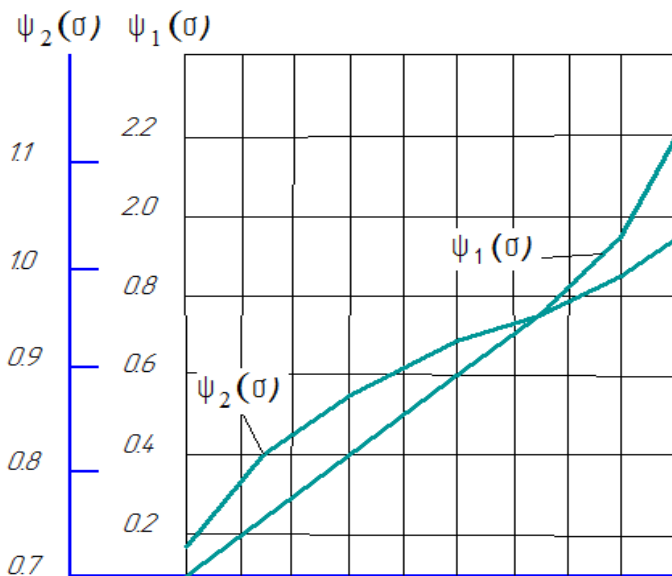


Рис. 2. График определения функций $\psi_1(\sigma)$ и $\psi_2(\sigma)$

$k = 1,4$ – показатель адиабаты для воздуха.

Суммарная эффективная площадь определяется из уравнения [3]:

$$f_{ym}^{\circ} = \frac{f_y^{\circ} \cdot f_T^{\circ}}{\sqrt{(f_y^{\circ})^2 + (f_T^{\circ})^2}} \quad (10)$$

где f_y° – эффективная площадь проходного сечения управляющего устройства, установленного на входе трубопровода;

$f_m^{\circ} = \mu_m f_m$ – эффективная площадь проходного сечения трубопровода;

f_m – геометрическая площадь проходного сечения трубопровода;

μ_m – коэффициент расхода трубопровода, который зависит от коэффициента сопротивления ξ :

V_3, V_3' – эквивалентные объемы;

f_3° – эквивалентная эффективная площадь;

$\sigma_a = \sigma_1 = p_a/p_m$ – безразмерное давление в начале процесса наполнения магистрали сжатым воздухом;

$\sigma_d = \sigma_2 = p_d/p_m$ – безразмерное давление в конце процесса наполнения магистрали;

p_a – давление окружающей среды;

p_d – давление в момент начала движения поршня;

$$\xi = \lambda_{np} l_T / 2d \quad (11)$$

где l_m – длина трубопровода; d_m – внутренний диаметр трубы; $\lambda_{np} = 0,02$ – приведенный коэффициент трения, зависящий от шероховатости стенок, диаметра и материала трубы.

Выводы и направления дальнейших исследований. Рассмотренные механизмы построения циклограммы привода двухстороннего действия и определения времени наполнения полостей исполнительных устройств пневмопривода будут использоваться при исследовании и обосновании параметров манипулятора для сортировки малогабаритных изделий. Направлением дальнейших исследований является динамический расчет исполнительных устройств дискретных пневмоприводов, построение тактовой циклограммы для манипулятора сортировки малогабаритных изделий, а также составление математической модели движения поршня цилиндра двухстороннего действия.

Список литературы

1. Шаньгин Е.С. Управление роботами и робототехническими системами : конспект лекций / Е.С. Шаньгин. – Уфа, 2005.
2. Донской А.С. Математическое моделирование процессов в пневматических приводах : учеб. пособие / А.С. Донской - СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2009. – 121 с.
3. Пашков Е.В. Электropневмоавтоматика в производственных процессах / Е.В. Пашков, Ю.А. Осинский, А.А. Четверкин, 2-е издание, под ред. Е.В. Пашкова. – Севастополь, 2003. – 495 с.
4. Пашков Е. Промышленные мехатронные системы на основе пневмопривода / Е. Пашков, Ю. Осинский, А. Четверкин, 2008. – 388 с.
5. Пашков Е. Автоматизация в промышленности: лабораторный практикум. Часть II. Транспортно-накопительные, загрузочные, сборные и контрольно-измерительные устройства / Е. Пашков, А. Васютенко, Ю. Осинский, В. Поливцев, Е. Волошина, 2009. – 224 с.
6. Губарев А.П. Механотроника: от структуры системы к алгоритму управления / А.П. Губарев, О.В. Левченко. – Киев, 2007. – 180 с.
7. Белоусов А. П. Проектирование станочных приспособлений: Учебное пособие для учащихся техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. / А.П. Белоусов. – М.: Высш. школа, 1980. – 240 с., ил.
8. Hesse S. 99 Examples of Pneumatic Applications / S. Hesse. – Festo AG & Co, 2001. – 120 p.
9. Хессе С. Рационализация подачи небольших заготовок / С. Хессе, 2004. – 112 с.
10. Хессе С. Сжатый воздух как носитель энергии. Подготовка и распределение / С. Хессе, 2004. – 128 с.
11. Хессе С. Пневмомускул за работой. 150 примеров применения пневматического мускула / С. Хессе, 2004. – 140 с.
12. Tsai Lung-Wen Robot analysis: the mechanics of serial and parallel manipulators / Lung-Wen Tsai. – New York: Wiley, 1999. – 505 p.
13. Преде Г. Электropневмоавтоматика / Г. Преде, Д. Шольц, 2004. – 292 с.
14. Свободно-программируемые контроллеры / Р. Близнер, Ф. Эбель, К. Лёфер и др., 2005. – 196 с.

15. Пашков Е.В. Электропневмоавтоматика в производственных процессах / Е.В. Пашков, Ю.А. Осинский, А.А. Четверкин, 2-е издание, под ред. Е.В. Пашкова. – Севастополь, 2003. – 495с.

Стаття надійшла до редакції 21.09.2013

В.М.Моргунов, Ю.І.Пупишева. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Методи динамічного розрахунку виконавчих пристроїв дискретних пневмоприводів

У роботі обґрунтовано доцільність впровадження роботизованих комплексів, розглянуті механізми побудови циклограми приводу двосторонньої дії та визначення часу наповнення порожнин виконавчих пристроїв пневмопривода, які можуть бути використані при динамічному розрахунку виконавчих пристроїв дискретних пневмоприводів.

Ключові слова: роботизований комплекс, маніпулятор, пневмопривід, тактова циклограма, хід поршня, математична модель.

V. Morgunov, Yu. Pupyshcheva. Donetsk National Technical University

Dynamic Calculation Methods of Executive Devices of Discrete Pneumodrive

The paper describes the situation of Ukrainian manufacturing in terms of the use of human labor. It gives the limitations of such labor and proves the appropriateness of implantation of robotic systems explaining the advantages. The review of national and international publications and scientists working in this area is made. The current paper considers the principle of composition of a sequence diagram of double acting drive. The upper part of the diagram reflects the sequence of preparation for the movement and the movement itself of the piston going in direct and indirect way. The lower part of the diagram reflects the change of the pressure in pressure chamber. The calculation of filling time for the cylinders is provided. The paper gives a graph of the determination of two pressure functions. The paper gives the definition of the time of cavity's filling of executive devices that could be used in dynamic calculation of pneumodrive's parts. The direction of future research is the dynamic analysis of discrete pneumatic drive, the construction of a clock sequence diagrams for the paddle sort of small-sized products, and the development of a mathematical model of the double acting piston cylinder.

Keywords: robotic system, manipulator mechanism, pneumodrive, sequence diagram, movement of cylinder piston, mathematical model.