

Ш. Р. Галлямов, К. В. Стариков, В. А. Целищев, А. Ш. Халитов

ПНЕВМООСТРОВ КОМПАНИИ FESTO: ПРОГРАММИРОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ ВАКУУМНОГО ЭЖЕКТОРА

Представлен экспериментальный стенд компании FESTO для исследования пневматических систем. Рассмотрен уникальный пневмоостров CPX-FEC. Приведены методы программирования пневмоострова на примере системы перемещения груза с вакуумным эжектором. *Пневмопривод; пневмоостров; вакуумный эжектор; принципиальная схема; математическая модель*

ВВЕДЕНИЕ

Пневматика получила чрезвычайно широкое распространение в промышленности. Пневмооборудование, как правило, экономично при относительно низких давлениях (до 7–10 бар). Течение газа по трубопроводу идет с более высокой скоростью, чем течение жидкости, что позволяет обеспечивать скорость поступательного движения штока до 15 м/с и более, а частота вращения выходного вала некоторых пневмомоторов (пневмотурбин) до 100000 об./мин. [1, 3].

Решение выбора пневмоострова определяется условиями его применения. Терминал Festo CPX поддерживает всю цепочку пневматического оборудования – от систем с полевыми шинами, до распределителей, приводов и датчиков. Обеспечивает отличное соединение электрических и пневматических устройств при свободном выборе как типа соединения, так и диагностических или сервисных функций.

Основные преимущества пневматического оборудования проектировщиков и разработчиков программного обеспечения [2, 3]:

- совместимость со всеми основными протоколами полевых шин;
- широкие возможности при сборке различных систем;
- предустановленные диагностические функции значительно снижают стоимость программного обеспечения;
- традиционные модули входов и выходов для более простого планирования;
- настройка, учитывающая выполнение разнообразных задач в области автоматизации систем.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД

Для исследования и программирования пневмосистемы с пневмоостровом был задействован экспериментальный стенд лаборатории Учебно-научного инновационного центра «Гидропневмоавтоматика» (рис. 1).

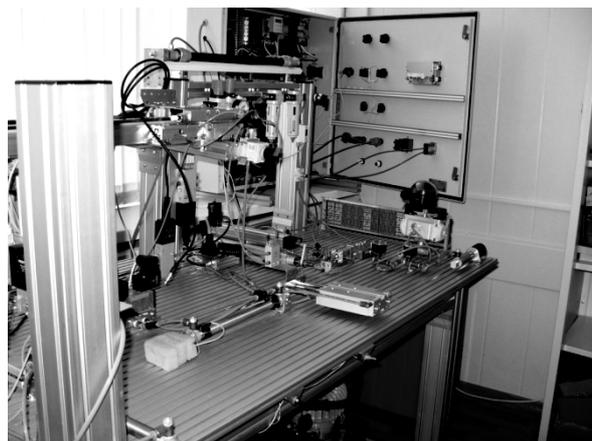


Рис. 1. Экспериментальный стенд для исследования пневмосистемы с пневмоостровом

Система управления пневмоприводами реализуется через систему блоков пневмоострова. Блок системы питания (CPX-FEC) представлен на рис. 2 [4]. Управление пневмоостровом может быть реализовано через универсальный блок, или через ЭВМ программой FST.

Универсальный блок позволяет делать диагностику оборудования: быстрый доступ к диагностической истории и модулям с диагностическим сообщением, отображение последних 40 событий ошибок со штампом времени, отображение текущего диагностического сообщения для модуля.

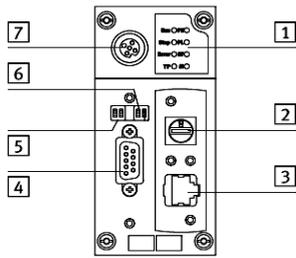


Рис. 2. Блок системы питания CPX-FEC:
 1 – набор светодиодов; 2 – 16-позиц. поворотный переключатель программы; 3 – интерфейс Enternet; 4 – интерфейс программирования; 5, 6 – 2-позиц. DIP-переключатель; 7 – интерфейс для наладочного прибора

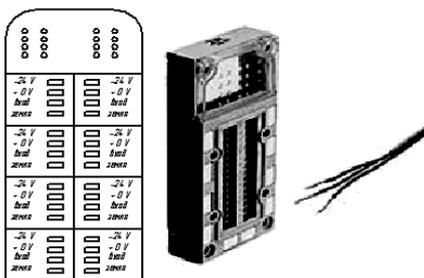


Рис. 3. Блок входов и выходов

На рис. 4 представлена система измерения через пневмоостров. В данной системе имеется

возможность использовать встроенный блок распределителей в пневмоостров, не задействовав дополнительный распределитель.

Автоматизацию можно определить как использование процессоров для автоматического выполнения технических процессов. Начальной точкой (стартовой) для автоматизации является технический процесс, который должен идти в определенном порядке при выполнении заданных параметров (например, производительности, безопасности, КПД и т. д.). Чтобы это происходило автоматически, т. е. без постоянного участия человека, требуется специальное оборудование, которое будет выполнять функции регистрации, обработки и генерирования сигналов. Пневмоостров создан для автоматического управления каким-либо процессом. Программирование данного оборудования происходит через ЭВМ с помощью программы FST (рис. 6) на языке Statement List (STL) или Ladder Diagram (LDR).

На рис. 5 представлена 3D-модель программируемой системы.

На рис. 6 представлена принципиальная схема пневмосистемы с вакуумным эжектором. Первоначальное положение: поршень ПЦ1 находится в крайнем правом положении, а шток ПЦ2 в крайнем верхнем положении.

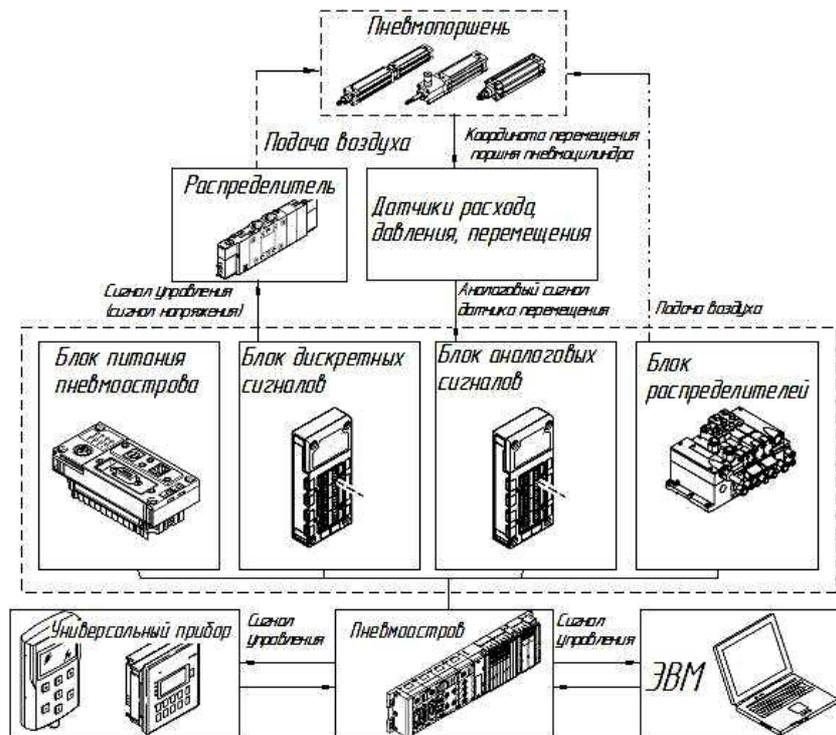


Рис. 4. Система измерения

При включении алгоритма системы подается электрический сигнал на распределитель с электромагнитным управлением P2, который перемещает золотник распределителя P2 в крайнее правое положение, в связи с чем поток воздуха через P2 поступает в верхнюю полость пневмоцилиндра ПЦ2 и шток ПЦ2 опускается вниз. При достижении крайнего нижнего положения штоком ПЦ2 срабатывает нижний концевик, который отключает P2 и включает распределитель с электромагнитным управлением P3, который направляет поток воздуха через вакуумный эжектор Э. С помощью вакуумного эжектора происходит поднятие груза и перемещение.

После чего подается сигнал на P2, перемещающий его золотник в крайнее левое положение, вследствие чего происходит перемещение штока ПЦ2 вверх. При достижении штоком ПЦ2 крайнего верхнего положения срабатывает верхний концевик, подающий электрический сигнал на P1, вследствие чего золотник P1 перемещается в крайнее левое положение, в связи с чем поток воздуха направляется в правую полость пневмоцилиндра ПЦ1 и каретка ПЦ1 перемещается влево, при достижении крайнего левого положения срабатывает левый концевик и отключает P2. Шток ПЦ2 опускается вниз, при достижении крайнего нижнего положения

штоком ПЦ2 срабатывает нижний концевик, отключающий распределитель с электромагнитным управлением P3, который прекращает подачу воздуха через вакуумный эжектор и груз опускается.

После чего подается сигнал на P2, перемещающий его золотник в крайнее левое положение, вследствие чего происходит перемещение штока ПЦ2 вверх. При достижении штоком ПЦ2 крайнего верхнего положения срабатывает верхний концевик, подающий электрический сигнал на P1, вследствие чего золотник P1 перемещается в правое положение, в связи с чем поток воздуха направляется в левую полость ПЦ1 и каретка ПЦ1 перемещается вправо, при достижении правого положения срабатывает правый концевик и отключает P2.

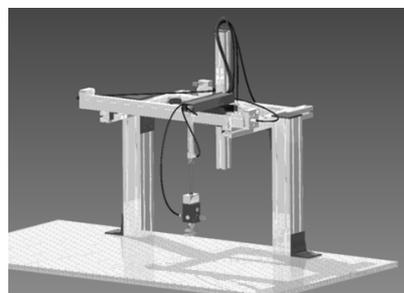


Рис. 5. Экспериментальный стенд вакуумного эжектора

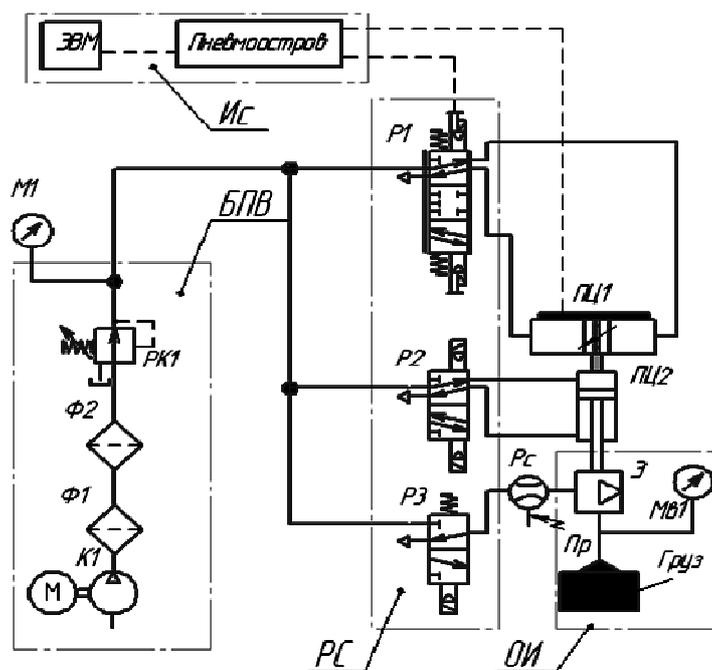


Рис. 6. Принципиальная схема

Возможность проектирования различных систем, дает возможность управлять процессами на расстоянии, проводить диагностику оборудования, выявляя места поломки с последующим восстановлением. При проектировании достигается высокая точность работы системы.

При работе в программе FST возможно использовать язык Ladder Diagram (LDR). Таким образом, данный пакет программирования дает возможность спроектировать систему любой сложности. Запрограммированные программы, для техники автоматизации или ПК, могут работать без постоянного вмешательства человека. Но для технических процессов человек нужен, по крайней мере, на первой фазе. Отсюда необходимость в планировании, программировании, а также возможности вмешательства в процесс, что с легкостью позволяет современное оборудование. При разработке модели приняты следующие основные допущения:

- движение воздуха принимаем квазистатическим,
- золотник имеет нулевое перекрытие,
- процесс изменения состояния воздуха при протекании через дросселирующие окна золотника носит адиабатический характер,
- эффективные площади окон золотника при заполнении и опорожнении принимаются равными.

Такие свойства газа, как сжимаемость и отсутствие смазочных свойств, могут привести к заеданию и толчкам при движении исполнительного механизма, что приводит к неточности позиционирования следящего пневмопривода. Неточность позиционирования пневмоприводов в производстве может привести к неточности работы системы в целом.

Математическая модель позволяет учесть влияние нелинейностей на статические и динамические характеристики, таких как сухое и вязкое трение и проанализировать влияния различных параметров на быстродействие и точность позиционирования следящих пневмоприводов в системе.

Математическая модель одного поступательного механизма включает в себя следующие уравнения:

- уравнение электрической цепи,
- уравнение движения золотника,
- уравнения для определения градиента давления в полости наполнения,
- уравнение для определения градиента давления в выхлопной полости,

- уравнение сил действующих на поршень.

$$\begin{cases}
 U - K_{oc} \cdot y(t) = R_r \cdot i(t) + L \frac{di}{dt} + K_{pe} \frac{dx}{dt}, \\
 m_z \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = K_{fi} \cdot i(t) - c_z \cdot x(t) - b_z \frac{dx}{dt} - \\
 - F_{uz} \cdot \text{sign}\left(\frac{dx}{dt}\right), \\
 \frac{dP_1}{dt} = \begin{cases}
 \frac{k \cdot R \cdot T}{V_{10} + F_1 \cdot y(t)} \cdot \left(\frac{\mu \cdot b \cdot x(t) \cdot m_{kr} \cdot P_0}{\sqrt{R \cdot T}} \times \right. \\
 \left. \times \sigma(\varphi) - \frac{P_1}{R \cdot T} \frac{dy}{dt} \cdot F_1 \right), \\
 \text{если } \frac{P_1}{P_0} < 0.528, \sigma(\varphi) = 0.2588, \\
 \frac{k \cdot R \cdot T}{V_{10} + F_1 \cdot y(t)} \cdot \left(\frac{\mu \cdot b \cdot x(t) \cdot m_{kr} \cdot P_0}{\sqrt{R \cdot T}} \times \right. \\
 \left. \times \sigma(\varphi) - \frac{P_1}{R \cdot T} \frac{dy}{dt} \cdot F_1 \right), \\
 \text{если } \frac{P_1}{P_0} > 0.528, \\
 \sigma(\varphi) = \sqrt{\left| \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right|},
 \end{cases} \\
 \frac{dP_2}{dt} = \begin{cases}
 \frac{k \cdot R \cdot T}{V_{20} + F_2 \cdot y(t)} \cdot \left(\frac{P_2}{R \cdot T} \frac{dy}{dt} \cdot F_2 - \right. \\
 \left. - \frac{\mu \cdot b \cdot x(t) \cdot m_{kr} \cdot P_2^{\frac{3k-1}{2k}}}{\sqrt{R \cdot T} \cdot P_0^{\frac{k-1}{2k}}} \cdot \sigma(\varphi) \right), \\
 \text{если } \frac{P_1}{P_0} < 0.528, \sigma(\varphi) = 0.2588, \\
 \frac{k \cdot R \cdot T}{V_{20} + F_2 \cdot y(t)} \cdot \left(\frac{P_2}{R \cdot T} \frac{dy}{dt} \cdot F_2 - \right. \\
 \left. - \frac{\mu \cdot b \cdot x(t) \cdot m_{kr} \cdot P_2}{\sqrt{R \cdot T}} \cdot \sigma(\varphi) \right), \\
 \text{если } \frac{P_a}{P_2} > 0.528, \\
 \sigma(\varphi) = \sqrt{\left| \left(\frac{P_a}{P_2} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_a}{P_2} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right|},
 \end{cases} \\
 m \frac{d^2y}{dt^2} = P_1 \cdot F_1 - P_2 \cdot F_2 - k_v \frac{dy}{dt} - \\
 - F_{vp} \cdot \text{sign}\left(\frac{dy}{dt}\right) - F_c \cdot \text{sign}\left(\frac{dy}{dt}\right),
 \end{cases}$$

где U – сигнал управления по напряжению, В; K_{OC} – коэффициент обратной связи, В/м; R_r – внутреннее сопротивление ЭМП, Ом; $F_{трz}$, $F_{трp}$ – силы трения в золотнике и поршне соответственно, Н; k – коэффициент адиабаты; μ – коэффициент расхода газа; y – смещение поршня, м; x – смещение золотника, м; b – ширина щели в золотнике, м; m_{kr} – критическое отношение давлений P_1 , P_2 ; c_z – жесткость пружины в распределителе, Н/м; V_{10} – начальный объем заполняемой полости, м³; V_{20} – начальный объем выхлопной полости, м³; $F_{1,2}$ – площадь поршня в заполняемой и выхлопной полости, м²; T – температура рабочей среды, К; R – газовая постоянная; m – масса поршня, кг; m_z – масса золотника, кг; F_c – статическая нагрузка на привод, Н.

На рис. 7–9 показаны три экспериментальных циклических траекторий движения пневмопривода в прямом и обратном направлении с ходом 0,07 м. Фазовый портрет (рис. 9) представляет зависимость скорости исполнительного механизма от его перемещения с течением времени.

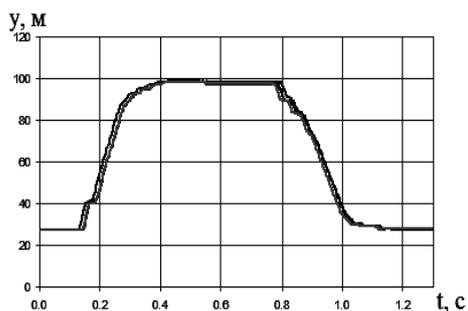


Рис. 7. Зависимость перемещения поршня от времени

График на рис. 9 имеет вид замкнутой фигуры. Из теории автоматического управления известно, что для данного случая система находится в зоне устойчивости.

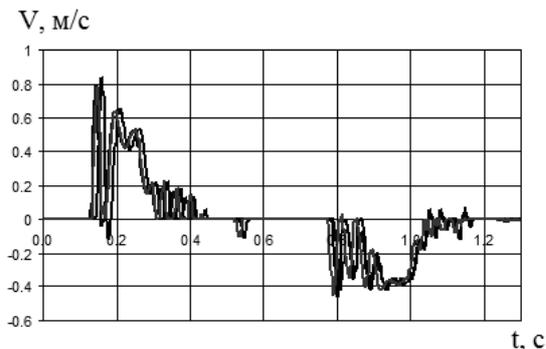


Рис. 8. Зависимость скорости поршня от времени

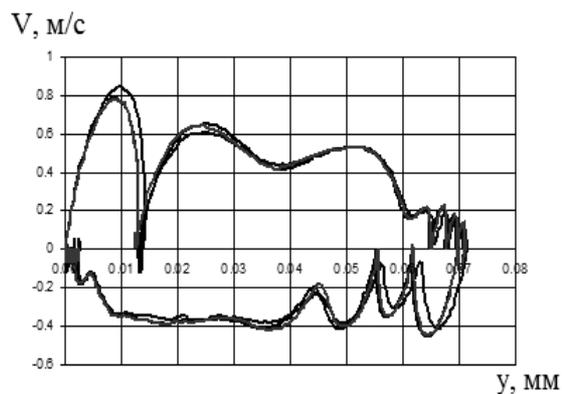


Рис. 9. Фазовый портрет

Результаты экспериментальных и расчетных данных на холостом ходе представлены на рис. 10, 11.

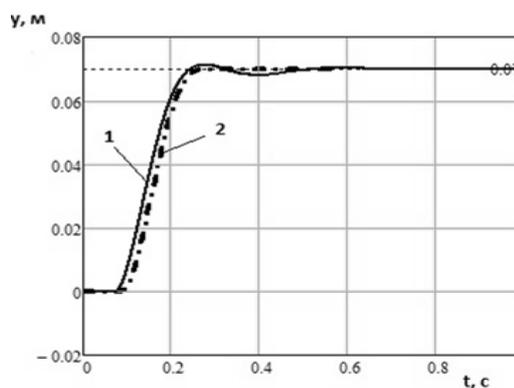


Рис. 10. График зависимости перемещения пневмоцилиндра от времени при холостом ходе: 1 – расчет, 2 – эксперимент

Расхождение полученных данных не превышает 5 %, что является допустимым при проектировании пневмоприводов и подтверждает адекватность разработанной модели реальному объекту исследования.

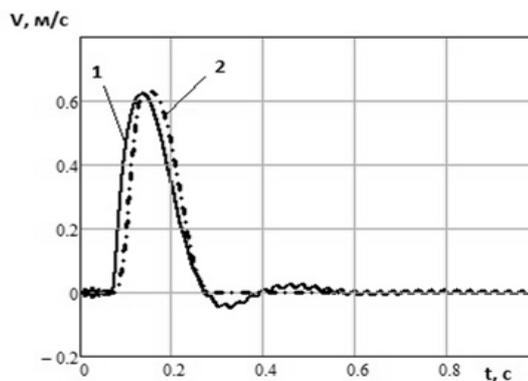


Рис. 11. График зависимости скорости пневмоцилиндра от времени при холостом ходе: 1 – расчет, 2 – эксперимент

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последние десятилетия на рынке исполнительных приводов различного назначения были определены основные области применения пневмо- и гидрооборудования. В промышленном производстве требуется быстрые и качественные циклические действия. Внедрение самых современных технологий автоматизации позволяет сократить затраты на проектирование, монтаж и сервисное обслуживание оборудования.

Сегодня планирование и программирование выполняются на персональном компьютере с помощью разработанного для этих целей программного обеспечения (FST). Затем написанная программа выполняется контроллером для управления сложным техническим процессом. Контроллер, в состав которого включена логическая электроника и компактное пневматическое управление, позволяет заменить несколько десятков пневмоэлементов, объединив в себя целый пневмоостров технической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Галлямов Ш. Р., Стариков К. В.** Современные пневматические системы позиционирования // Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика: тез. докл. XII Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М.: Издательск. дом МЭИ, 2008. С. 68–69.
 2. **Галлямов Ш. Р., Стариков К. В., Целищев В. А.** Экспериментальное исследование характеристик пневмопривода FESTO с пропорциональным распределением расхода // Вестник УГАТУ. 2011.
 3. **Герц Е. В.** Динамика пневматических систем машин. М.: Машиностроение, 1985. 256 с.
 4. **Стефан Хессе.** Рационализация подачи небольших заготовок: учеб. пособие. Фесто.112 с.
 5. Каталог пневмооборудования. Festo AG & Co. 2008. 350 с.
- Галлямов Шамиль Рашитович**, ст. преп. каф. прикл. гидромеханики. Дипл. магистр по энергомашиностроению (УГАТУ, 2006). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2009). Иссл. в обл. пневмо- и гидросистем, разработки перспективной малогабаритной техники.
- Стариков Константин Викторович**, магистрант. Дипл. магистр по гидравлическ., вакуумн. и компрессорн. технике (УГАТУ, 2010) Иссл. в обл. пневмо-гидросистем.
- Целищев Владимир Александрович**, проф., зав. каф. прикл. гидромеханики. Дипл. инженер-механик по гидравл. машинам (УГАТУ, 1982). Д-р техн. наук по тепловым двигателям (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. систем автоматики ЛА и двигательных установок.
- Халитов Альберт Шафкатович**, магистрант. Дипл. бакалавр по энергомашиностроению (УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. пневмо-гидросистем.