

УДК 62-52

В.Т. Шароватов, профессор, д-р техн. наук,**П.П. Чернусь, аспирант***Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова**1-я Красноармейская ул., д. 1, Санкт-Петербург, 190005, Российская Федерация**E-mail: peter-pp@mail.ru***ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ПНЕВМОПРИВОДА ПО ПОЛОЖЕНИЮ**

Рассматривается метод позиционирования по положению замкнутых пневмоприводов. В качестве исполнительных двигателей предлагается использование силовых оболочковых элементов.

Ключевые слова: замкнутый пневмопривод, силовой оболочковый элемент, система позиционирования.

Пневматические машины и системы пневмоприводов широко применяются не только в различных областях промышленности, но и в сфере услуг (например, логистики). Одной из важных задач улучшения пневмоавтоматики является обеспечение стабильности и точности позиционирования исполнительных элементов пневмосистем. Нетривиальность решения данной задачи обусловлена особенностями сжатого газа, основными из которых являются сильная сжимаемость и высокая зависимость от температуры.

Существует два подхода при решении данной задачи. Первый подход основан на обеспечении точного позиционирования пневмоприводов без использования обратной связи по положению. Применение данного метода позволяет использовать дешевую и простую аппаратуру, что также положительно сказывается на надежности такой системы. Однако в данном случае накладываются существенные ограничения на постоянство начальных условий на входе в привод (давление сжатого воздуха, стабильность расхода и температуры и др.) [1]. Второй подход основан на использовании обратной связи по положению. На этом методе остановимся подробнее.

Большинство предлагаемых на сегодняшний день производителями пневмооборудования позиционеров представляют собой классические линейные или неполноповоротные пневматические приводы с датчиком перемещения. Управление такими позиционерами осуществляется при помощи пропорциональных пневмораспределителей [2, 3] либо при помощи двух двупозиционных распределителей на каждую рабочую полость позиционера. Точность позиционирования по перемещению таких систем составляет $\pm 0,5$ мм для короткоходовых пневмоцилиндров и $\pm 1\%$ от величины максимального перемещения для длинноходовых пневмоцилиндров. Невысокая точность позиционирования обусловлена недостатками классических пневматических исполнительных двигателей, а именно большими значениями сухого трения.

В статье приведены результаты исследований, целью которых было изучение методов повышения точности позиционирования пневмосистем.

1. Система позиционирования по положению

Рассмотрим классическую систему позиционирования, в которой введена обратная связь по положению. Исследование проводится на основе моделирования системы в пакете Matlab Simulink при различных входных воздействиях. На рисунке 1 представлена схема моделирования системы позиционирования. Она состоит из: задающего устройства, пропорционального пневмораспределителя, исполнительного пневмоцилиндра и датчика линейного перемещения. В качестве регулятора используется стандартный ПИД-регулятор. Обозначения, использованные в схеме: U_y – управляющее напряжение, подаваемое на пневмораспределитель; X – измеряемое выходное перемещение штока пневмоцилиндра; P_n и P_v – давление питания и давление выпуска соответственно; G_1 и G_2 – массовые расходы газа, поступающего в соответствующую полость рабочего пневмоцилиндра; P_1 и P_2 – текущие давления в полостях пневмоцилиндра; F – внешняя сила нагрузки. Силы сухого трения в пневмоцилиндре учтены во внешней нагрузке.

Для корректного моделирования использовались более точные модели пневмоцилиндра и пневмораспределителя [4, 5], учитывающие динамику сжатого газа. В качестве пневмораспределителя был использован пропорциональный электро-пневматический распределитель Festo MYPE-5-1/8LF-010-B. Пневмоцилиндр имеет следующие параметры: диаметр поршня $D = 50$ мм, максимальный ход поршня $x_m = 100$ мм. При проведении моделирования приняты следующие начальные условия: поршень находился в среднем положении $x = 50$ мм, начальные давления в полостях пневмоцилиндра $p_1 = p_2 = 0,3$ МПа, $p_n = 0,5$ МПа, выпуск воздуха осуществляется в атмосферу. Внешняя нагрузка состоит из силы сухого трения величиной в 120 Н и постоянной силы нагрузки $F_{вн} = 120$ Н.

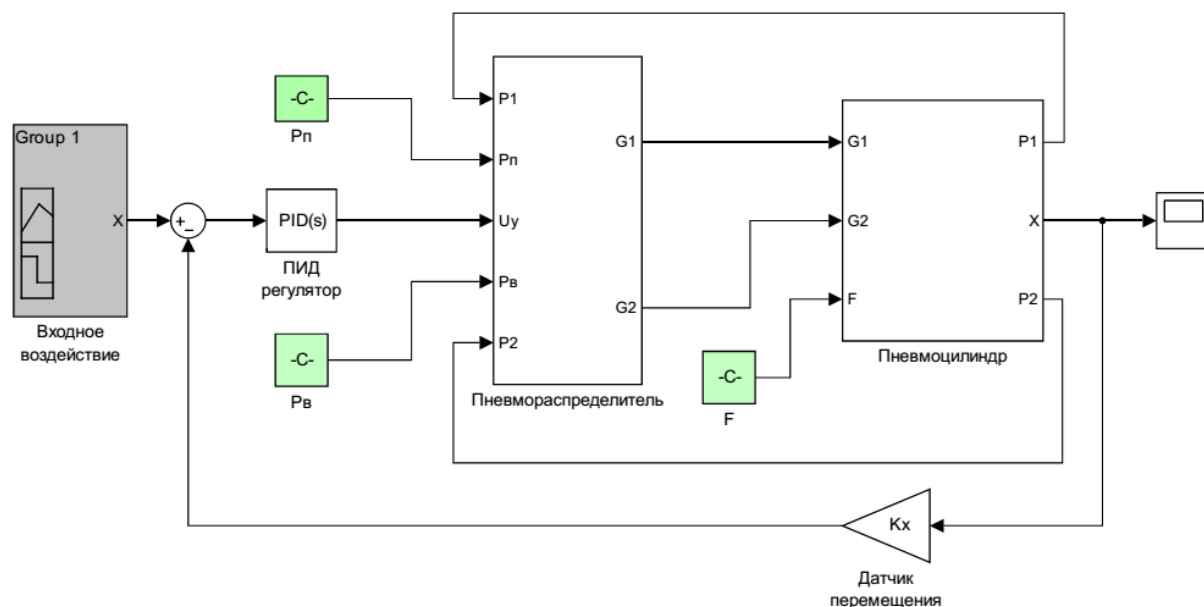


Рисунок 1 — Схема моделирования системы позиционирования

Результаты моделирования представлены на рисунке 2. На рисунке 2, а показана реакция системы на скачкообразное воздействие, а на рисунке 2, б — на изменение постоянной силы нагрузки по синусоидальному закону амплитудой в 10 % от ее величины при постоянном входном воздействии.

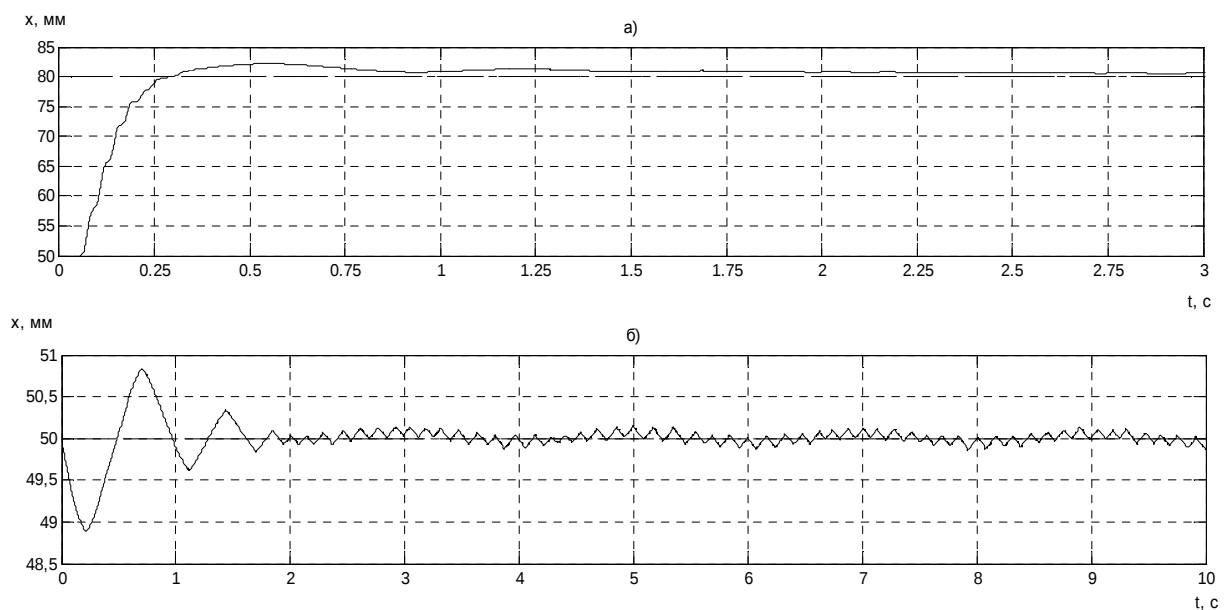


Рисунок 2 — Результаты моделирования системы позиционирования по положению

Анализируя полученные графики можно сделать вывод, что при данных настройках ПИД-регулятора система позиционирования хотя и не является очень быстродействующей, но при этом обладает ошибкой позиционирования, асимптотически убывающей при скачкообразном входном воздействии и удовлетворяющей требованиям точности позиционирования при переменной силе нагрузки. Однако сложность применения такой системы обусловлена следующим. На рисунке 3 изображено изменение давления в обеих полостях пневмоцилиндра. Разница между p_1 и p_2 обусловлена наличием постоянной нагрузки, требующей компенсации. Из рисунка видно, что давление в обеих полостях растет непрерывно, что приведет в результате к уменьшению расхода сжатого воздуха через пневмораспределитель и, как следствие, неработоспособности такой системы позиционирования по положению. Данная задача решается введением обратной связи по давлению.

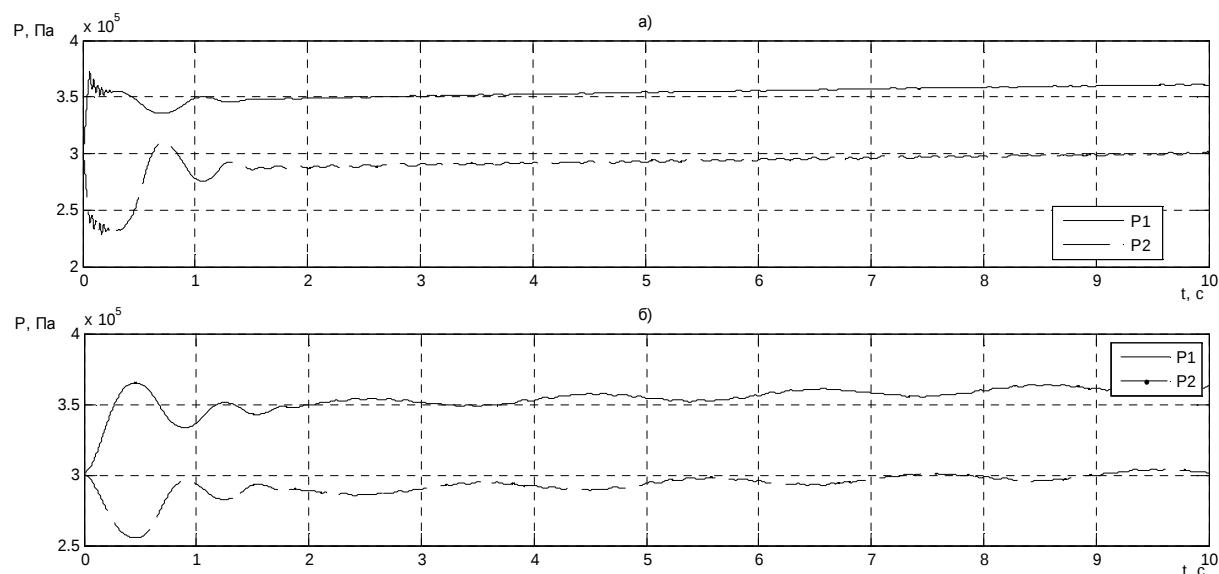


Рисунок 3 — Изменение давления в полостях пневмоцилиндра

2. Система позиционирования по положению с местной обратной связью по давлению

Простейшая система позиционирования по положению с местной обратной связью по давлению изображена на рисунке 4.

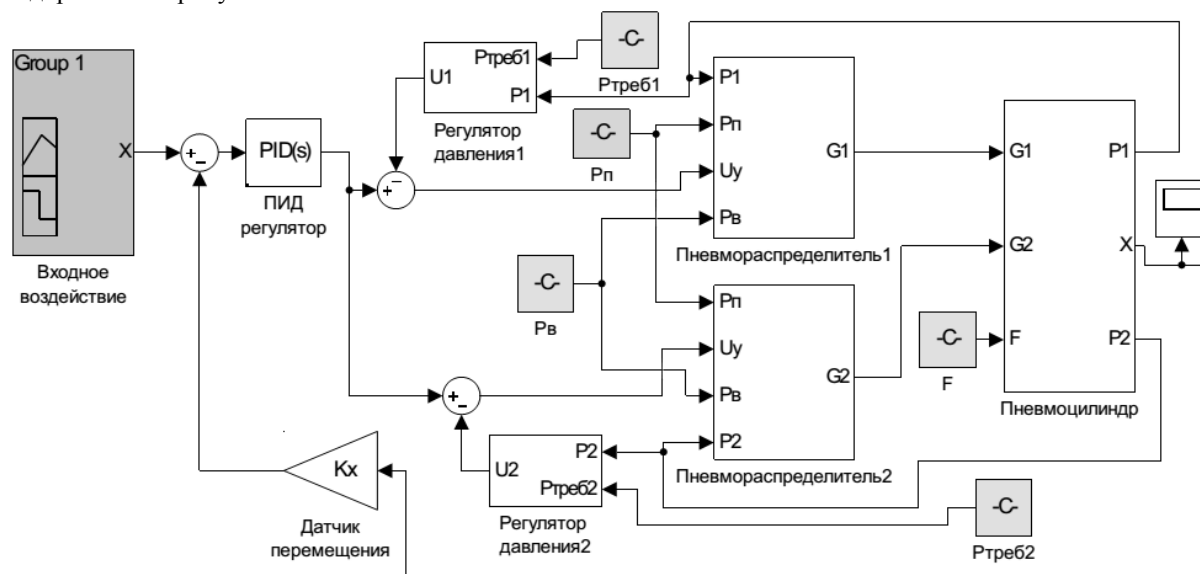


Рисунок 4 — Схема моделирования системы позиционирования с обратной связью по давлению

Система построена по принципу подчиненного регулирования и состоит из двух контуров: контура регулирования давления и контура регулирования положения. Результаты моделирования этой системы при тех же условиях, которые были использованы в предыдущем подразделе, представлены на рисунке 5.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что системы с обратной связью по давлению значительно точнее позиционируются, чем более простая система, в том числе при переменной нагрузке. Контур контроля давления позволяет получить большую стабильность позиционирования при длительной эксплуатации системы, а также, что немаловажно, при изменении температуры сжатого воздуха в рабочих полостях привода. Однако необходимо отметить, что для корректной работы регулятора давления следует правильно выбирать требуемое значение давления в полости $p_{\text{треб}}$, которое может зависеть как от нагрузки и перемещения, так и определяться более сложными алгоритмами.

Существует еще один возможный способ увеличения точности позиционирования пневмосистем. Он заключается в использовании в качестве исполнительных двигателей силовых оболочковых элементов (СОЭ). Рассмотрим этот метод подробнее.

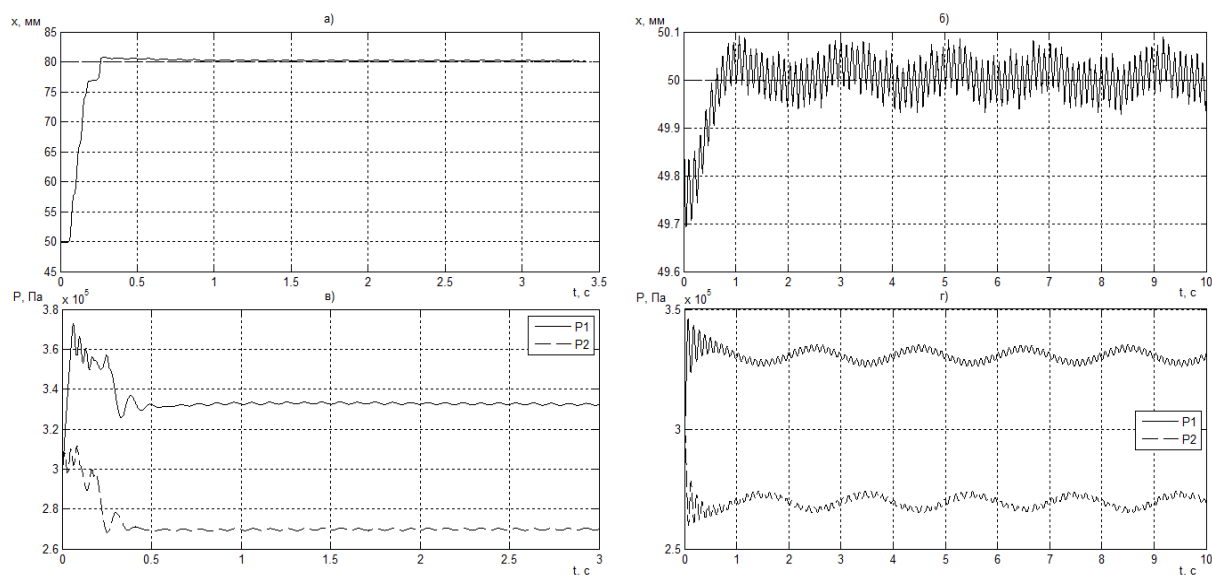


Рисунок 5 — Результаты моделирования системы позиционирования с обратной связью по давлению

3. Система позиционирования по положению с силовым оболочковым элементом в качестве исполнительного двигателя

Использование СОЭ в качестве исполнительных двигателей открывает широкие перспективы по использованию их в системах автоматического управления. В подтверждение этому можно отметить, что на базе СОЭ были созданы антропоморфные манипуляторы, приближенные по своей функциональности к кисти руки человека (например, Airic's Arm и Dexterous Hand). Одним из основных преимуществ СОЭ является отсутствие сил сухого трения, что значительно облегчает решение задачи позиционирования пневмопривода по положению с высокой точностью. Появление адекватных динамических математических моделей таких двигателей способствует построению на их основе высокоточных систем [6]. При поддержке Санкт-Петербургского отделения представительства фирмы Festo проведен эксперимент по построению системы позиционирования по положению. Экспериментальный стенд представлен на рисунке 6.

На данном стенде в качестве исполнительного двигателя использовался баллонный цилиндр Festo EB-145-60, а нагрузки – пневмоцилиндр Festo DNC-32-100-PPV-A-S6. Управляющим устройством был пропорциональный регулятор давления Festo VPPM-6L-L-1-G18-0L10H-V1N-S1-C1, чувствительным элементом – датчик линейного перемещения Festo SMT-8M-A-PO-24V.



Рисунок 6 — Экспериментальный стенд системы позиционирования

Эксперимент проводился при следующих условиях. Давление в баллонном цилиндре регулировалось в зависимости от сигнала, поступающего с датчика линейного перемещения.

Требовалось позиционировать систему на высоте $x=87,5$ мм. При этом давление в нагрузочном пневмоцилиндре вначале составляло 2 атм, что соответствует силе нагрузки $F=300$ Н с учетом силы сухого трения, а в момент времени $t=34$ сек было увеличено до 4 атм. Результаты эксперимента представлены на рисунке 7.

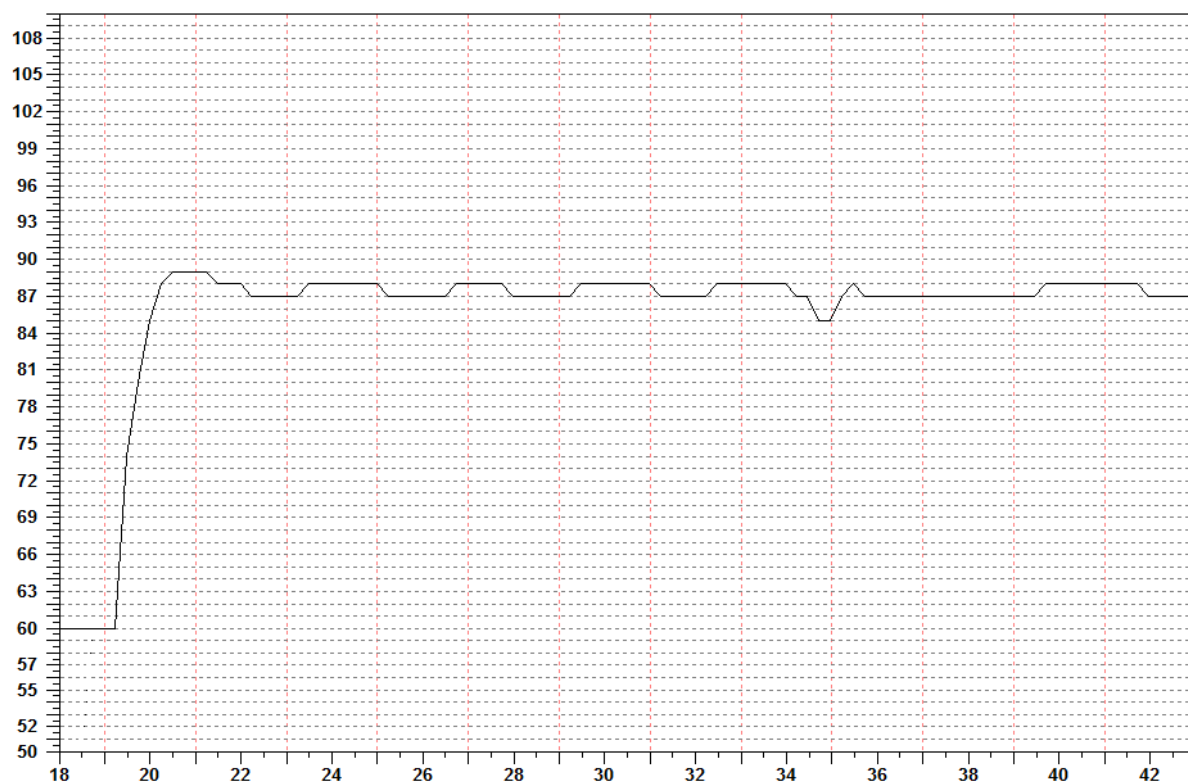


Рисунок 7 — Результаты эксперимента

Можно заметить, что система позиционирования на основе СОЭ справляется с поставленной задачей. В качестве её достоинств можно отметить, что она является быстродействующей и хорошо позиционируется при изменении нагрузки. Недостатком такой системы является сравнительно невысокая точность, которая обусловлена следующими положениями: недостаточно проработанная программа управления не позволяет очень точно позиционировать систему; наличие нагрузочного пневмоцилиндра с сухим трением также отрицательно сказывается на точности системы позиционирования.

Выводы

1. Для построения высокоточных систем позиционирования по положению необходимо вводить обратную связь не только по положению, но и по давлению, что сделает такие системы универсальными и применимыми практически в любых условиях.

2. Для построения более точных систем в качестве исполнительных двигателей рекомендуется использовать СОЭ, не обладающие сухим трением.

Логическим продолжением исследования будет усовершенствование программы управления для описанного выше стенда, а также построение новой системы стабилизации, использующей в качестве исполнительных двигателей только СОЭ.

Библиографический список использованной литературы

1. Карпов М.П. Исследование возможности высокоточного позиционирования линейных пневмоприводов / М.П. Карпов, В.Б. Потеряхин, М.М. Майстришин // Оптимизация производственных процессов: сб. науч. тр. — Севастополь: СевНТУ, 2009. — № 11. — С. 186–189.

2. http://www.festo.com/cat/ru_ru/data/doc_ru/PDF/RU/DISPLACE-ENCODER-CYLINDER_RU.PDF [Электронный ресурс].

3. Ефремова К.Д. Следящий пневмопривод с цифровым управлением / К.Д. Ефремова, В.Н. Пильгунов // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2013. — Вып. 4. — Режим доступа: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hydro/687.html>

4. Герц Е.В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие / Е.В. Герц, Г.В. Крейнин. — М.: Машиностроение, 1975. — 272 с.
5. Попов Д.Н. Динамика гидро- и пневмоприводов: учеб. для вузов / Д.Н. Попов. — 2-е изд. стереотип. — М., 2002. — 320 с.
6. Чернусь П.П. Математическая модель силовой части оболочкового пневмоцилиндра одностороннего действия толкающего типа / П.П. Чернусь, В.Т. Шароватов // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2014. — № 9. — С. 30–36.

Поступила в редакцию 23.09.2014 г.

Шароватов В.Т., Чернусь П.П. Позиціонування пневмоприводу по положенню

Розглядається метод позиціонування по положенню замкнутих пневмопривідів. В якості виконавчих двигунів пропонується використання силових оболонкових елементів.

Ключові слова: замкнутий пневмопривід, силовий оболонковий елемент, система позиціонування.

Sharovатов V.T., Chernus P.P. Positioning of the by statute pneumodrive

In paper considers a method of positioning on the Status of closed of pneumatic actuators. As an executive engine offers the use of force shell elements.

Keywords: closed actuator, power shell component positioning system.