

Экспериментальное исследование работы пневмопривода

Часть 2

Николай Гамазов

Задача точного позиционирования рабочего органа робототехнической системы и его удержания в заданном положении при воздействии возмущающих нагрузок может быть решена с помощью пневмоцилиндра-позиционера при наличии соответствующих алгоритмов управления. Вторая часть статьи посвящена экспериментальному исследованию работы такого пневмопривода и разработке алгоритмов управления, обеспечивающих позиционирование штока пневмоцилиндра-позиционера с погрешностью не более 1 мм даже при наличии относительно медленного регистрирующего устройства.

Постановка задачи позиционирования. Модернизация экспериментального стенда

В статье [1] приведены описание и результаты экспериментального исследования равномерности перемещения рабочего органа робототехнической системы с пневмоприводом на основе обычных пневмоцилиндров, выпускаемых фирмой Festo. Обычными в [1] назывались пневмоцилиндры, у которых конструктивно не предусмотрен датчик текущего положения штока и отсутствует возможность управления скоростью перемещения штока. Другим классом задач управления пневмоприводом, представляющих интерес с точки зрения использования в робототехнике, являются задачи точного позиционирования рабочего органа и его удержания в заданном положении при наличии возмущающих воздействий. Для решения подобных задач фирмой Festo выпускается линейка пневмоцилиндров-позиционеров (далее ПП), оснащённых аналоговым датчиком положения штока и используемых в совокупности с пропорциональным пневмораспределителем, который обеспечивает управление текущей скоростью перемещения штока [2].

В Специальном конструкторско-технологическом бюро прикладной робототехники МГТУ им. Н.Э. Баумана (СКТБ



Рис. 1. Пневмоцилиндр-позиционер CRDNGI-125-150-CC

ПР) была выполнена работа по экспериментальной отработке алгоритмов управления ПП. Для проведения экспериментов был использован соответствующим образом модернизированный стенд [1]. В состав модернизированного стенда входили:

- ПП CRDNGI-125-150-CC (диаметр цилиндра 125 мм, ход поршня 150 мм, рис. 1);
- пропорциональный пневмораспределитель MPYE-5-1/8-LF-010-B (рис. 2);
- технологический пульт управления с ручным задатчиком положения штока ПП (рис. 3);
- IBM PC совместимый программируемый контроллер ADAM-5510E. В отличие от стенда, использованного в [1], в слотах контроллера были установлены 8-канальный модуль аналогового ввода ADAM-5017 и 4-канальный модуль аналогового вывода ADAM-5024 (рис. 4). В ряде экспериментов вместо модуля ADAM-5017 использовался модуль ADAM-5017P. Во

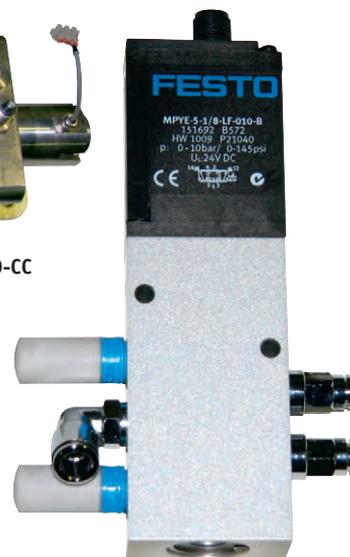


Рис. 2. Пропорциональный пневмораспределитель MPYE-5-1/8-LF-010-B



Рис. 3. Технологический пульт управления с ручным задатчиком положения штока пневмоцилиндра-позиционера



Рис. 4. Программируемый контроллер ADAM-5510E с установленными 8-канальным модулем аналогового ввода ADAM-5017 и 4-канальным модулем аналогового вывода ADAM-5024

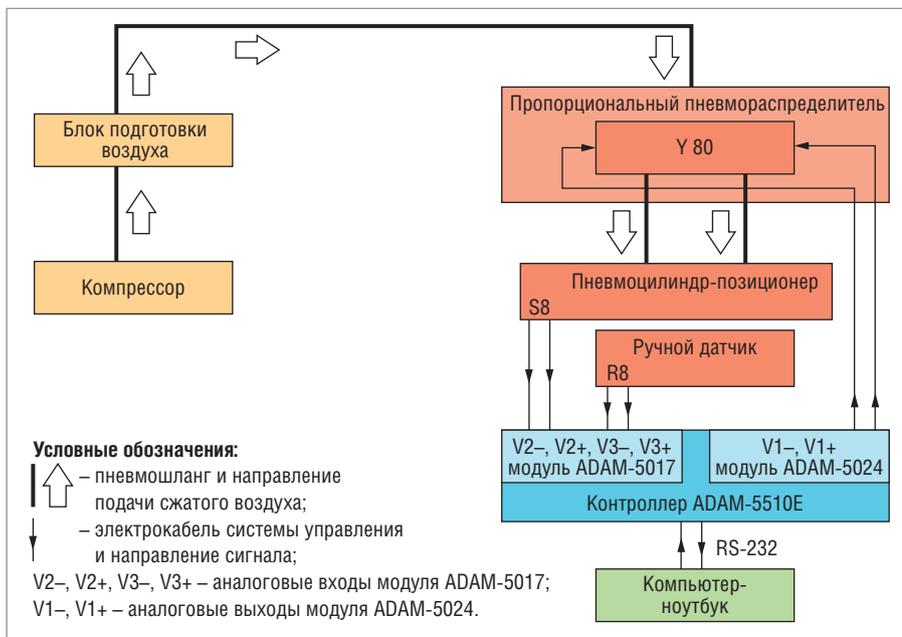


Рис. 5. Структурная схема экспериментов по отработке алгоритмов управления перемещением штока пневмоцилиндра-позиционера

флэш-памяти контроллера ADAM-5510E записано прикладное программное обеспечение (набор исполняемых модулей) для управления работой ПП. В остальном оснащение стенда аналогично [1]:

- компьютер-ноутбук (далее – компьютер) с установленными утилитами для программирования контроллера ADAM-5510E, соединённый с контроллером по интерфейсу RS-232;
- блок подготовки воздуха со встроенным фильтром MSB6-1/2:B1:J4:F11-WP;
- пневмолиния, состоящая из воздушного компрессора, магистральных трубопроводов и присоединительной арматуры;
- блоки питания с выходами 5 В постоянного тока (питание датчика обратной связи ПП) и 24 В постоянного тока (питание контроллера ADAM-5510E

и пропорционального пневмораспределителя МРУЕ-5-1/8-LF-010-B);

- монтажная плата для установки и фиксации ПП;
- монтажный комплект для ПП;
- пневмошланги различных диаметров;
- соединительные кабели, клеммники.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рис. 5 приведена структурная схема экспериментального стенда. Подготовленный сжатый воздух поступает на вход пропорционального пневмораспределителя, представляющего собой золотниковый механизм, приводимый в действие электромагнитной катушкой Y80. Входы катушки Y80 соединены с аналоговыми выходами V1+, V1- модуля ADAM-5024, установленного в слот контроллера ADAM-5510E. Для того что-

бы шток ПП оставался неподвижен, на входы катушки Y80 необходимо подать напряжение +5 В. При этом золотник пропорционального пневмораспределителя закрыт, расход воздуха через него равен нулю. Если подаваемое напряжение меньше +5 В, то золотник открывает доступ воздуха в штоковую полость ПП, происходит втягивание штока. При напряжении, равном 0 В, расход через золотник максимален, что соответствует максимальной скорости втягивания штока. Если напряжение больше +5 В, то золотник смещается в сторону, соответствующую поступлению воздуха в поршневую полость ПП, происходит выдвигание штока. При напряжении +10 В расход максимален, что соответствует максимальной скорости выдвигания штока. Встроенная система управления пропорционального пневмораспределителя обеспечивает взаимно однозначное соответствие между подаваемым на катушку Y80 напряжением и смещением золотника¹, то есть расходом воздуха через него. В состав ПП входит аналоговый датчик положения штока S8. Это датчик резистивного типа (потенциометр). Значения напряжения с его выходов подаются на аналоговые входы V2+, V2- модуля ADAM-5017, установленного в слот контроллера ADAM-5510E. На аналоговые входы V3+, V3- этого модуля подаётся напряжение с выходов ручного задатчика R8 технологического пульта управления. Ручной задатчик R8 также представляет собой резистивный потенциометр. Вместо модуля ADAM-5017 в ряде экспериментов в слот контроллера ADAM-5510E устанавливался модуль ADAM-5017P, отличающийся от модуля ADAM-5017 возможностью независимого задания для каждого из восьми каналов ввода своего диапазона обрабатываемых значений.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ

Для отработки алгоритма управления ПП необходимо решить ряд вспомогательных задач.

- Определить чувствительность пневмопривода, то есть экспериментально найти значение ΔU_{\min} – минимальную величину смещения золотника, при котором шток ПП начинает движение.
- Получить таблицу соответствия значений расстояния, на которое выдвинут шток, и показаний датчика положения штока S8.
- Разработать и реализовать алгоритм управления перемещением штока,

¹Всюду далее термин «смещение золотника» обозначает величину отклонения напряжения от +5 В, подаваемого на входы катушки Y80

позволяющий выдвинуть шток ПП в заданное положение.

- Определить, с какой точностью шток приходит в указанное положение, а также границы зоны вокруг заданного положения штока, внутри которой должна быть установлена минимальная скорость движения штока ПП, чтобы шток точно останавливался в нужном месте без перебега и перерегулирования.

Для увеличения скорости позиционирования перемещение штока ПП из текущего в заданное положение разбивается на ряд зон регулирования: дальнюю, среднюю, ближнюю и зону точной остановки в заданном положении. Если относительно целевой точки шток находится в дальней зоне регулирования, то движение начинается с максимальной маршевой скоростью. При достижении границы каждой последующей зоны скорость штока ступенчато уменьшается. Наконец, при вхождении в зону точной остановки в заданном положении скорость штока устанавливается равной определённому ранее минимальному значению, а при достижении собственно заданного положения скорость штока должна стать равной нулю.

Необходимо также выполнить следующие действия.

- Экспериментально определить границы зон регулирования (в виде соответствующих показаний датчика S8) и оптимальное значение скорости штока в каждой из зон.
- Разработать и реализовать алгоритм управления ПП в режиме слежения².
- Обеспечить работу ПП от ручного задатчика R8 технологического пульта управления. Напряжение с выходов R8 интерпретируется управляющей

программой как задание требуемого положения штока в долях от его полного хода (рис. 3). Считывая в реальном времени показания датчика положения штока S8, управляющая программа должна перемещать шток ПП в положение, задаваемое R8, в соответствии с описанным алгоритмом регулирования скорости по ступенчатому закону. При достижении штоком заданного положения управляющая программа должна автоматически переходить в режим слежения.

- Определить абсолютное и относительное изменение мгновенной скорости перемещения штока в зависимости от времени его перемещения.
- Определить скорость считывания и частоту обновления данных модулями аналогового ввода ADAM-5017 и ADAM-5017P. Точность отработки штоком ПП заданного положения непосредственно зависит от скорости считывания показаний датчика S8 (и показаний ручного задатчика R8) модулем аналогового ввода ADAM-5017 (или ADAM-5017P) и их последующей обработки контроллером.

ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЛЕРА ADAM-5510E для УПРАВЛЕНИЯ ПП

Для экспериментального решения перечисленных задач в СКТБ ПР было разработано прикладное программное обеспечение, в состав которого входят управляющие программы **SENSDRIV**, **TABLEPOS**, **POSITION**, **FOLLOWUP**, **HANDRIVE**, **TABTIMER**. Исходные тексты программ написаны на языке C++ для компилятора Turbo C 3.0 и операционной системы ROM DOS 6.0 конт-

роллера ADAM-5510E, исполняемые модули записаны во флэш-память контроллера. По интерфейсу RS-232 команда на запуск каждой из программ с соответствующими параметрами, набранная в командной строке на компьютере, передаётся в контроллер. Окончание ввода команды с параметрами определяется по нажатию клавиши Enter в конце вводной строки. Повторное нажатие клавиши Enter приостанавливает выполнение программы для ввода новых значений параметров. При нажатии клавиши Esc выполняется выход из программы, при этом шток останавливается (на входы катушки Y80 подаётся напряжение +5 В с учётом дрейфа нуля³). С контроллера на экран компьютера выводятся результаты работы программы. Программы реализуют следующие функции управления движением штока ПП.

- **SENSDRIV** предназначена для экспериментального определения чувствительности привода. Параметром при запуске программы является величина смещения золотника (со знаком плюс или минус). Шток начинает движение с заданной скоростью сразу по окончании ввода параметра и продолжает его до тех пор, пока на клавиатуре не будет повторно нажата клавиша Enter. Скорость движения штока будет изменена, если после его остановки с клавиатуры вводится новое значение смещения золотника.
- **TABLEPOS** предназначена для построения таблицы соответствия значений расстояния, на которое выдвинут шток ПП, и показаний датчика S8 положения штока. Параметрами, задаваемыми при запуске программы, являются смещение золотника (со знаком плюс или минус) и временной интервал в миллисекундах, в течение которого будет поддерживаться заданная скорость. Шток начинает движение с заданной скоростью сразу по окончании ввода параметров и останавливается по истечении заданного интервала времени. Далее можно установить новые значения параметров, после чего цикл перемещения штока повторится.
- **POSITION** предназначена для экспериментального определения значений параметров, необходимых для позиционирования штока ПП в заданное положение. При запуске программы задаются следующие параметры:
 - скорость движения штока в виде смещения золотника;

²Под режимом слежения понимается способность системы управления динамически удерживать шток ПП в заданном положении при наличии внешних воздействий, стремящихся сдвинуть шток из этого положения.

³Явление дрейфа нуля было обнаружено непосредственно в ходе экспериментов и состоит в следующем. В зависимости от положения штока, а также направления и скорости его предшествующего движения, значение напряжения, которое должно быть подано для полной остановки штока, может отличаться от +5 В. Экспериментально было установлено, что величина этой поправки составляет не более 60 мВ по абсолютной величине и всегда отрицательна. Можно предположить, что причинами дрейфа нуля являются, во-первых, инерционность механической системы поршень–шток, во-вторых, особенности истечения воздушной струи при малых сечениях сопла, когда золотник почти перекрывает отверстие истечения, в-третьих, несимметричность механических характеристик пружин, входящих в конструкцию пропорционального пневмораспределителя и воздействующих на золотник при его перемещениях. Для вычисления поправки эмпирическим путём была определена ступенчатая функция и написана специальная подпрограмма, которая использовалась во всех программах эксперимента для компенсации дрейфа нуля при остановке штока. Следует отметить, что для разных экземпляров пропорционального пневмораспределителя величина поправки и эмпирическая функция для её вычисления, скорее всего, будут отличаться.

- значение показания датчика S8, которое должно быть достигнуто в результате перемещения штока;
- Величина окрестности около требуемого значения показаний датчика S8, внутри которой должно оказаться текущее значение показаний датчика S8 в результате перемещения штока.

Сравнивая текущее значение показаний датчика S8 в момент начала движения и требуемое значение, программа определяет направление движения штока с заданной скоростью. Шток должен быть остановлен, когда текущее значение показаний датчика S8 окажется внутри заданной окрестности около требуемого значения.

- **FOLLOWUP** позволяет задать значение показания датчика S8, которое должно быть достигнуто в результате позиционирования. Программа запускается без параметров и после старта ожидает ввода с клавиатуры требуемого показания датчика. По знаку и величине рассогласования значений текущего и требуемого показаний в программе определяется направление движения штока и выбирается величина начального смещения золотника. Абсолютная величина этого смещения может составлять 1000 мВ, что соответствует максимальной маршевой скорости движения штока, 800, 700 мВ и т.д. с шагом 100 мВ, вплоть до 300 мВ. В качестве величины зоны точной остановки штока в заданном положении принято значение 10 мВ. В процессе движения штока к заданному положению происходит постоянное счи-

тывание текущего значения показания датчика S8 и реализуется ступенчатое изменение скорости штока с шагом 100 мВ в зависимости от величины и знака рассогласования с требуемым значением показания S8. Движение штока прекращается после того, как значение текущего показания датчика S8 окажется в окрестности ± 10 мВ от заданного значения. После завершения процесса позиционирования управляющая программа переходит в режим слежения, позволяющий удерживать шток ПП в заданном положении при наличии внешней возмущающей нагрузки. Алгоритм режима слежения по сути представляет собой алгоритм позиционирования⁴ со ступенчатым (700, 500, 300 мВ) изменением смещения золотника в зависимости от величины и знака рассогласования между значениями текущего и требуемого показаний датчика положения штока в 200, 100, 50 мВ соответственно⁵. Это рассогласование возникает в результате изменения положения штока при воздействии на него внешней возмущающей нагрузки. Движение штока прекращается, когда это рассогласование благодаря режиму слежения становится меньше 10 мВ.

- **HANDRIVE** реализует позиционирование штока ПП в положение, задаваемое ручным задатчиком R8 технологического пульта управления. Программа запускается без параметров и после старта выполняет считывание с входов модуля ADAM-5017 текущего показания S8 и значения показания, задаваемого R8. Это значение должно быть приведено к диапазону показа-

ний S8, соответствующему полному ходу штока ПП. В зависимости от величины и знака рассогласования значений текущего показания S8 и приведённого значения показания R8 выбирается величина начальной скорости и направление перемещения штока. Далее реализуется ступенчатое изменение скорости штока (от 1000 до 300 мВ с шагом в 100 мВ) и корректировка направления его движения в соответствии с текущим значением и знаком этого рассогласования. Движение штока прекращается после того, как величина рассогласования становится меньше 10 мВ. После этого программа переходит в режим слежения. Этот режим аналогичен режиму слежения программы **FOLLOWUP** за исключением следующего: при изменении положения ручного задатчика R8 происходит возврат в режим позиционирования для перемещения штока в новое положение, соответствующее новому значению показания R8, тем самым реализуется режим позиционирования штока при динамически изменяющемся задании положения для позиционирования.

- **TABTIMER** позволяет записать во флэш-ПЗУ контроллера ADAM-5510E файл **SENSDATA**, содержащий данные циклического считывания показаний датчика S8 при движении штока ПП из текущего положения в одно из предельных положений – полностью выдвинут или полностью втянут. Вместе с результатами циклического считывания в файл данных записываются метки точного времени, полученные с помощью системного таймера контроллера ADAM-5510E. Результаты экспериментов позволяют рассчитать функцию изменения во времени линейной скорости перемещения штока ПП при фиксированном значении смещения золотника, а также оценить возможности модулей ADAM-5017 и ADAM-5017P по скорости считывания и частоте обновления показаний, полученных с датчика S8. Эти параметры непосредственно влияют на точность отработки заданного положения в режиме позиционирования и в режиме слежения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. ВЫВОДЫ

Посредством программы **SENSDRIV** была экспериментально определена чувствительность пневмопривода: $\Delta U_{\min} = \pm 500$ мВ. Существование такого минимального порогового значения

⁴В качестве альтернативного алгоритма управления рассматривалась и возможность применения ПИД-регулирования. Но для синтеза коэффициентов ПИД-регулятора необходимо определить передаточную функцию системы, а подбор опытным путём оптимальных коэффициентов ПИД-регулятора связан с проведением ряда специальных экспериментов для определения реакции системы на задающие и возмущающие воздействия, вообще говоря, достаточно трудоёмких, с точки зрения обработки результатов. Учитывая невысокую частоту считывания сигнала аналогового модуля ADAM-5017, также можно предполагать, что настройка ПИД-регулятора будет затруднена из-за малой частоты замыкания системы и, следовательно, большого фазового запаздывания в замкнутом режиме. Применённый алгоритм обеспечил величину маршевой скорости штока, соответствующую смещению золотника ± 1000 мВ, то есть примерно 20% от максимально возможной скорости, и погрешность позиционирования, не превышающую 1 мм, что удовлетворяло требованиям технического задания. В силу сказанного можно утверждать, что ступенчатый метод управления скоростью штока ПП, строго говоря, разомкнутый, с точки зрения теории автоматического управления, обеспечил выполнение поставленной технической задачи.

⁵Представленные значения параметров ступенчатого регулирования скорости при позиционировании штока в заданное положение и в режиме слежения были определены экспериментально, в результате многократных прогонов программы **FOLLOWUP** с различными параметрами и различными возмущающими воздействиями на шток.

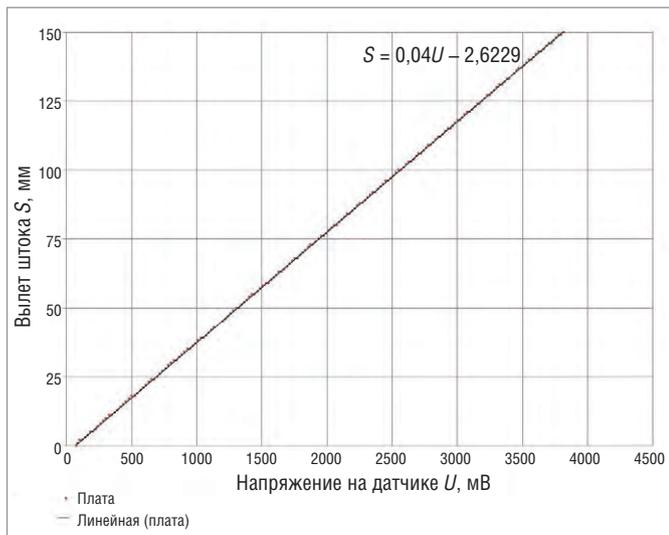


Рис. 6. График зависимости между вылетом штока S и напряжением U на резистивном датчике положения штока пневмоцилиндра-позиционера

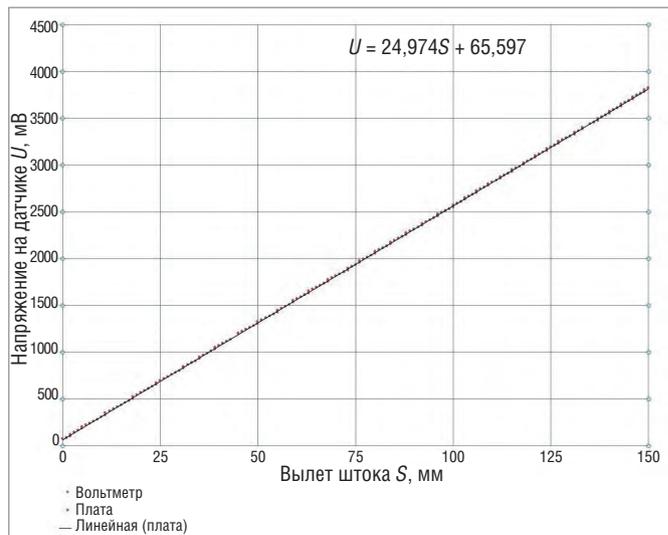


Рис. 7. График зависимости между напряжением U на резистивном датчике положения штока пневмоцилиндра-позиционера и вылетом штока S

расхода воздуха, при котором начинается движение штока из состояния покоя, может быть объяснено наличием перетеканий через зазор между поршнем и поверхностью скольжения пневмоцилиндра, приводящих к скачкообразным изменениям скорости перемещения штока при малых расходах воздуха, подаваемого в полость нагнетания [1]. Минимальное пороговое значение расхода воздуха через золотник, соответствующее началу движения штока ПП, является оценкой сверху величины этих перетеканий.

Построение таблицы соответствия вылета штока показаниям датчика положения $S8$ было выполнено программой **TABLEPOS**. Измерения проводились для выдвигания штока из исходного положения «Полностью втянут». Смещение золотника равнялось положительному значению ΔU_{\min} , то есть +500 мВ. Время, в течение которого поддержива-

лось заданное смещение золотника, равнялось 500 мс. Напряжение на датчике $S8$ измерялось с помощью вольтметра, значение этого же напряжения, считанное модулем **ADAM-5017** с входов $V2-$, $V2+$, выводилось на экран компьютера. Вылет штока измерялся с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм и округлялся до целых значений. Нагрузка на шток в виде присоединённой массы или сухого трения отсутствовала. Результаты экспериментов и их обработка приведены на рис. 6 и 7.

Программа **TABLEPOS** также использовалась для экспериментального определения скорости движения штока ПП при различных значениях смещения золотника. При фиксированном значении смещения золотника шток ПП выдвигался (втягивался) в течение одного шага по времени, равному 1000 мс, после чего снималось показание датчика $S8$. Затем выполнялся следующий шаг. Показание датчика $S8$ в виде напряжения, считанного модулем **ADAM-5017**, выводилось на экран компьютера. Каждому значению смещения золотника соответствовало два прохода: выдвигание штока из положения «Полностью втянут» в положение «Полностью выдвигнут»; втягивание штока из положения «Полностью выдвигнут» в положение «Полностью втянут». Проходы выполнялись при смещениях золотника ± 1000 , ± 2000 , ± 3000 , ± 4000 , ± 5000 мВ. К штоку была присоединена инерционная нагрузка массой 30 кг, перемещение

которой происходило с сухим трением (рис. 8). Для пересчёта выдвигания штока по показаниям датчика положения штока $S8$ использовалась следующая формула (с округлением до 1 мм):

$$S = 0,04U - 2,622 \quad (1)$$

где S – выдвигание штока от исходного положения «Полностью втянут» в мм; U – показания датчика положения $S8$ в мВ. Результаты экспериментов и их обработка в виде диаграмм для смещения золотника ± 1000 мВ приведены в таблице 1.

С помощью программ **FOLOWUP** и **HANDRIVE** были отработаны алгоритмы точного позиционирования штока в заданное положение, указываемое с клавиатуры компьютера (программа **FOLOWUP**) или с помощью ручного задатчика (программа **HANDRIVE**). Обе программы обеспечивают позиционирование штока в окрестность ± 10 мВ около точки произвольно заданного положения и удержание штока внутри этой окрестности при наличии возмущающих нагрузок. Из формулы (1) следует, что протяжённость окрестности в 20 мВ фактически означает, что погрешность позиционирования штока не превышает 1 мм. Кроме этого, программа **HANDRIVE** реализует режим позиционирования штока при динамически изменяющемся задании требуемого положения.

С помощью программы **TAVTIMER** были выполнены эксперименты для смещений золотника ± 500 и ± 1000 мВ с целью определения абсолютного и относительного изменения мгновенной скорости штока в зависимости от времени его перемещения. На рис. 9 при-

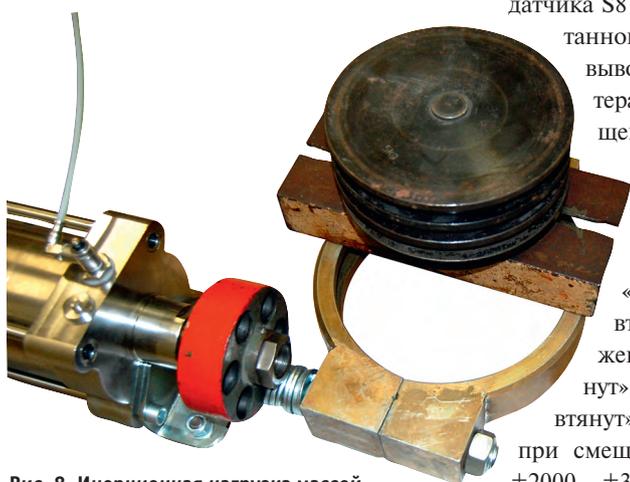


Рис. 8. Инерционная нагрузка массой 30 кг с сухим трением, присоединённая к штоку пневмоцилиндра-позиционера

Таблица 1

Шаговое измерение скорости движения штока пневмоцилиндра позиционера

| | Смещение золотника 1000 мВ | | Обработано | |
|------------|----------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| | № шага | Измерено Напряжение датчика, мВ | Вылет штока, мм | Перемещение, мм |
| Выдвижение | 0 | 77 | 0 | |
| | 1 | 545 | 19 | 19 |
| | 2 | 974 | 36 | 17 |
| | 3 | 1388 | 53 | 17 |
| | 4 | 1796 | 69 | 16 |
| | 5 | 2194 | 85 | 16 |
| | 6 | 2587 | 101 | 16 |
| | 7 | 2928 | 114 | 13 |
| | 8 | 3261 | 128 | 14 |
| | 9 | 3593 | 141 | 13 |
| Втягивание | 0 | 3818 | 150 | |
| | 1 | 3505 | 138 | 12 |
| | 2 | 3179 | 125 | 13 |
| | 3 | 2846 | 111 | 14 |
| | 4 | 2508 | 98 | 13 |
| | 5 | 2172 | 84 | 14 |
| | 6 | 1837 | 71 | 13 |
| | 7 | 1502 | 57 | 14 |
| | 8 | 1179 | 45 | 12 |
| | 9 | 883 | 33 | 12 |
| | 10 | 583 | 21 | 12 |
| | 11 | 283 | 9 | 12 |
| 12 | 76 | 0 | 9 | |

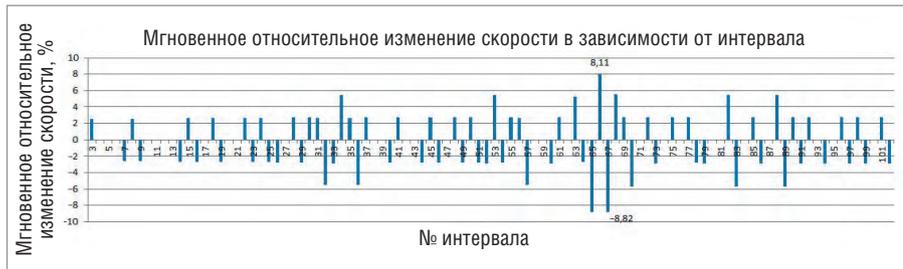
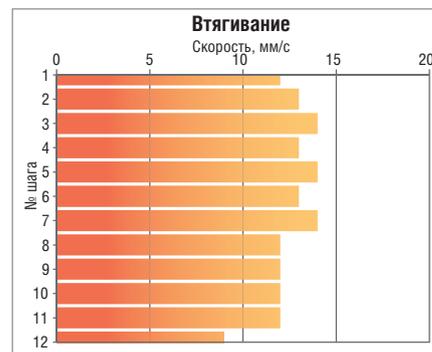
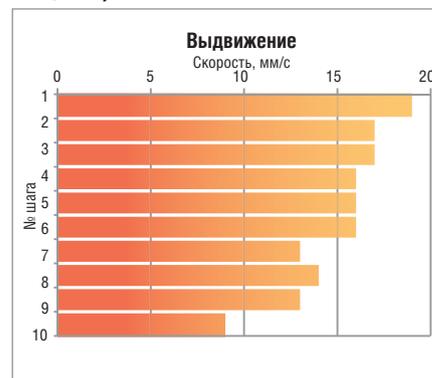


Рис. 9. Диаграмма мгновенного относительного изменения скорости штока в зависимости от интервала времени для смещения золотника 500 мВ

| DATE OF EXPERIMENT : 11.03.2014 | DATE OF EXPERIMENT : 12.03.2014 |
|---|---|
| TIME INTERVAL, (mS) : 1000 DELTA_VOLTAGE, (mV) : 1000 | TIME INTERVAL, (mS) : 1000 DELTA_VOLTAGE, (mV) : 1000 |
| TIME, mS : 0 | TIME, mS : 0 |
| SENSOR DATA, mV : 75 | SENSOR DATA, mV : 75 |
| SENSOR DATA, mV : 308 | SENSOR DATA, mV : 75 |
| TIME, mS : 1000 | SENSOR DATA, mV : 75 |
| SENSOR DATA, mV : 595 | SENSOR DATA, mV : 75 |
| SENSOR DATA, mV : 879 | SENSOR DATA, mV : 75 |
| TIME, mS : 2000 | SENSOR DATA, mV : 75 |
| SENSOR DATA, mV : 1165 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| SENSOR DATA, mV : 1453 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| TIME, mS : 3000 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| SENSOR DATA, mV : 1745 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| SENSOR DATA, mV : 2036 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| TIME, mS : 4000 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| SENSOR DATA, mV : 2330 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| SENSOR DATA, mV : 2624 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| TIME, mS : 5000 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| SENSOR DATA, mV : 2844 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| SENSOR DATA, mV : 3064 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| TIME, mS : 6000 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| SENSOR DATA, mV : 3278 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| SENSOR DATA, mV : 3491 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| TIME, mS : 7000 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| SENSOR DATA, mV : 3700 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| SENSOR DATA, mV : 3794 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| TIME, mS : 8000 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| SENSOR DATA, mV : 3794 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| SENSOR DATA, mV : 3794 | SENSOR DATA, mV : 108 |
| TIME, mS : 9000 | SENSOR DATA, mV : 272 |
| SENSOR DATA, mV : 3794 | SENSOR DATA, mV : 272 |
| SENSOR DATA, mV : 3794 | SENSOR DATA, mV : 272 |
| TIME, mS : 10000 | SENSOR DATA, mV : 272 |
| | TIME, mS : 1000 |

Рис. 10. Результаты экспериментов по выдвиганию штока при смещении золотника +1000 мВ. Фрагменты файла SENSDATA для модулей ADAM-5017 (а) и ADAM-5017P (б)

ведена диаграмма, полученная в результате обработки данных одного из таких экспериментов для смещения золотника +500 мВ. Анализ полученных данных показал, что при смещении золотника ± 1000 мВ относительное изменение мгновенной скорости не превышает 5% в течение примерно 2/3 времени полного перемещения штока. В интервале после 2/3 от полного времени перемещения штока относительное изменение скорости может составлять от 17% до 33%. При смещении золотника ± 500 мВ относительное изменение мгновенной скорости не превышает 10%.

Также программа TAVTIMER была применена для проведения экспериментов по определению реальных значений скорости считывания и частоты обновления показаний модулей аналогового ввода ADAM-5017 и ADAM-5017P. На рис. 10 приведены фрагменты файла SENSDATA для экспериментов с модулем ADAM-5017 (а) и с модулем ADAM-5017P (б) по выдвиганию штока со смещением золотника +1000 мВ. Согласно спецификации фирмы-производителя [3], модуль ADAM-5017P отличается от модуля ADAM-5017 только возможностью независимого задания для каждого из восьми каналов своего диапазона обрабатываемых значений. При этом максимальная частота обновления данных на отдельном канале ввода для каждого из модулей ADAM-5017 и ADAM-5017P должна быть равна 10 считываниям в секунду. Однако, как следует из

полученных данных, реальная частота обновления данных для модуля ADAM-5017 составила 2 считывания в секунду (рис. 10а), а для модуля ADAM-5017P – 30 считываний в секунду (рис. 10б). Анализ результатов, полученных при использовании модуля ADAM-5017P для смещений золотника ± 500 и ± 1000 мВ, показал, что реальное перемещение штока происходит со скачками скорости, то есть рывками. При смещении золотника ± 500 мВ каждый такой рывок приводит к изменению показаний датчика S8 примерно на 35–38 мВ, что соответствует перемещению штока на 1,4–1,52 мм, как следует из формулы (1). При смещении золотника ± 1000 мВ каждый рывок соответствует перемещению штока на 5,36–7 мм. Перемещение штока рывками при малых расходах воздуха, соответствующих смещению золотника ± 500 и ± 1000 мВ, очевидно, имеет природу, аналогичную описанной в [1], и может быть объяснено следующим образом. Объём полости в цилиндре со стороны нагнетания при перемещении штока увеличивается. При постоянном малом расходе воздуха и наличии перетеканий через зазор между поршнем и поверхностью скольжения пневмоцилиндра это приводит к уменьшению давления со стороны нагнетания и замедлению движения штока, вплоть до его остановки. Для повышения давления со стороны нагнетания до величины, достаточной для преодоления сил сопротивления, в том числе силы трения покоя, необходимо определённое время, в течение которого шток будет неподвижен, а затем вновь произойдёт его перемещение рывком. В этой модели длительность рывков и остановок штока определяется, во-первых, соотношением величин расхода воздуха через золотник и перетеканий через зазор и, во-вторых, изменением во времени равнодействующей сил сопротивления и силы давления в полости со стороны нагнетания. Из сравнения данных, приведённых на рис. 10, можно сделать вывод, что частота обновления данных модулем ADAM-5017 в 2 считывания в секунду примерно соответствует частоте рывков при перемещении штока, зарегистрированных при использовании модуля ADAM-5017P. При смещении золотника ± 500 мВ каждый рывок приводит к изменению положения штока примерно на 1,5 мм, при этом каждое изменение положения штока в результате рывка отслеживается модулем ADAM-5017. Далее, вблизи точки позиционирования смещение золотника становится равным ± 300 мВ

(так устроен ступенчатый алгоритм позиционирования), что соответствует изменению положения штока при рывке меньше чем на 1 мм. Как следует из формулы (1), такая дискретизация изменения положения штока позволяет попасть в окрестность ± 10 мВ показаний датчика S8 около требуемой точки позиционирования. Таким образом, алгоритмы, описанные в статье и реализованные в программах FOLLOWUP и HANDRIVE с использованием модуля ADAM-5017, позволили получить точность позиционирования штока до 1 мм.

Результаты экспериментов позволяют сделать вывод, что в общем случае модуль ADAM-5017 пригоден для регистрации изменений параметров в достаточно медленно текущих процессах, в которых характерное время изменения более 0,5 с. Для повышения чувствительности при реализации алгоритма слежения, то есть увеличения скорости реакции системы управления ПП на внешние возмущения, следует использовать модуль ADAM-5017P или быстродействующий модуль ADAM-5017H. Согласно [3], для этого модуля при установке его в контроллере ADAM-5510E может быть получена частота до 8000 считываний в секунду (при условии, что этот модуль –

единственный в слотах контроллера). Помимо этого, применение быстродействующего модуля ADAM-5017H позволило бы реализовать управление смещением золотника пропорционального пневмораспределителя по условию минимизации или отсутствия скачков скорости штока ПП, замкнув контур управления по численно определяемому ускорению штока. Такое решение может быть рекомендовано для особо ответственных применений пневмопривода в робототехнике, в которых даже малая неравномерность перемещения рабочего органа может оказаться критичной, например в медицинских роботах. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамазов Н. Экспериментальное исследование работы пневмопривода. Часть 1 // Современные технологии автоматизации. – 2014. – № 3.
2. Линейные позиционеры DLPI/DNCI/DNGI/CRDNGI с электропневматическим управлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://festo.kiev.ua/files/DNGI_RU.pdf.
3. ADAM-5000 Series I/O Module : User's Manual [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://asutp.prosoft.ru/cms/f/426816.pdf>.

E-mail: nick_gamazov@mail.ru

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ



Сделано в Германии

Надёжные контрольно-измерительные системы с длительным сроком доступности



ADDI-DATA®

- Помехоустойчивые платы аналогового и цифрового ввода/вывода PCI, PCI Express, CompactPCI, ISA
- Модули управления движением
- Коммуникационные платы для локальных сетей с интерфейсами RS-232, RS-422, RS-485
- Интеллектуальные измерительные Ethernet-системы со степенью защиты IP65

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ ADDI-DATA



PROSOFT®

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640
E-mail: info@prosoft.ru • www.prosoft.ru

