

Черкашенко М.В., Крутиков Г.А.

СИНТЕЗ СВОБОДНОПРОГРАММИРУЕМЫХ ПНЕВМОАГРЕГАТОВ

Актуальность работы. При работе пневмоагрегата (ПА) в системе позиционного управления требуется высокое быстродействие, точность позиционирования и возможность оперативной перенастройки точек позиционирования. Традиционно, для решения такой задачи используется электропневматический (или электрогидравлический) следящий привод.

Однако, как известно, при использовании этих систем требования высокой точности и высокого быстродействия являются взаимоисключающими, и, чтобы удовлетворить им, необходим синтез корректирующих РС-цепей [1]. К тому же такие системы довольно дорогие и обладают избыточными функциональными возможностями, которые в полной мере раскрываются только в системах контурного управления. Поэтому, актуальным является поиск других путей создания многопозиционных ПА, основанных на использовании дешевой стандартной пневмоаппаратуры и программируемых контроллеров, способных кроме обеспечения заданной точности и быстродействия работать в энергосберегающем режиме.

Цель работы. Разработка стратегии управления, алгоритмов управления, а также наиболее рациональной схемы для высокоточного, свободнопрограммируемого позиционирования рабочего органа ПА.

Основные положения. В условиях позиционного управления наиболее перспективным представляется использование ПА с дискретным управлением, в котором высокое быстродействие достигается за счёт того, что большую часть расстояния между координатами позиционирования ПА проходит, оставаясь разомкнутым, без использования дросселирующих элементов в питающем и выхлопном трактах. Такие ПА, как и классические следящие системы, должны быть снабжены датчиком положения и иметь контур обратной связи, но вместо аналогового сервоклапана, реагирующего на величину и знак рассогласования между входным сигналом и положением рабочего органа (РО), они имеют дискретный пневмораспределитель с ярко выраженной релейной характеристикой и реагируют только на знак функции рассогласования, причём последняя в случае отображения её в фазовой плоскости будет считаться функцией переключения [2].

Многопозиционный ПА, построенный на таких принципах, является более эффективным в системах позиционного управления и значительно более дешевым, чем электропневматические следящие системы. Наиболее рациональным для подобного ПА представляется 3-х этапный режим позиционирования, при котором первые два этапа: разгон и радикальное ("грубое") торможение вплоть до первой остановки РО осуществляются при разомкнутом ПА (траектория 0-1-2 на рис.1), а третий этап представляет собой отслеживание линии переключения, когда один из распределителей (реверсивный) переключается в зависимости от знака функции рассогласования (траектория 2-3- x_z). Причём под рассогласованием здесь понимается более сложная функция координаты РО и его скорости, т.е. некоторая граничная линия в фазовой плоскости и чаще всего это наклонная линия, проходящая через точку позиционирования x_z (рис. 1):

$$U = x_z - x - k_v \cdot V, \quad (1)$$

где U – функция переключения, x – текущая координата РО, v – скорость РО, k_v – коэффициент усиления обратной связи по скорости.

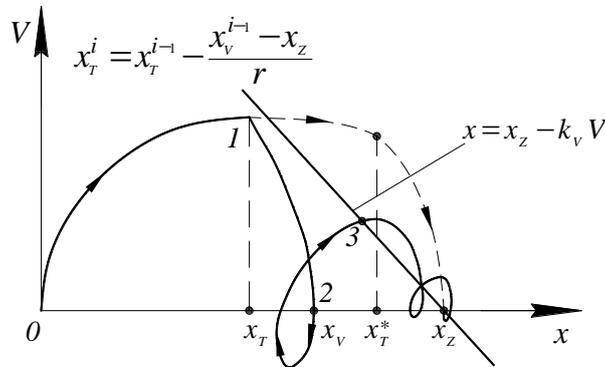


Рисунок 1 – Процесс позиционирования в фазовой плоскости

Подобный режим позиционирования позволяет реализовать стратегию управления, основанную на самообучении (рис. 1), суть которой заключается в том, что в режиме тестирования новая координата грубого торможения x_T^i находится в зависимости от разности $x_v^{i-1} - x_z$, определённой в результате предыдущего опыта:

$$x_T^i = x_T^{i-1} - \frac{x_v^{i-1} - x_z}{r}, \quad (2)$$

где x_T^{i-1} – координата "грубого" торможения, при предыдущем опыте, x_v^{i-1} – координата первой остановки РО при предыдущем опыте, r – коэффициент, который можно выбирать в пределах от 1 до 2.

Такая программа самообучения ведёт в конечном итоге к исключению третьего этапа позиционирования, т.е. достижению оптимального режима позиционирования как по точности позиционирования, так и по быстродействию (пунктирная траектория на рис. 1). Это произойдёт, когда по завершению очередного этапа "грубого" торможения:

$$|x_z - x_v^i| \leq \varepsilon, \quad (3)$$

где ε – заданная точность позиционирования.

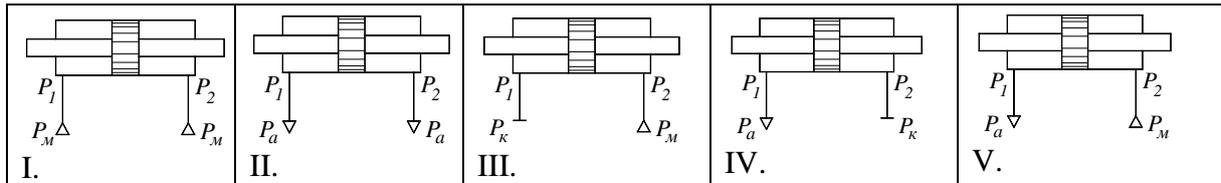
Найденная при подобном тестировании оптимальная координата "грубого" торможения x_T^* запоминается. Переход к третьему этапу позиционирования в эксплуатационном режиме возможен лишь при изменении условий функционирования ПА настолько, что координата позиционирования выйдет за пределы заданной точности.

Первая попытка создания свободнопрограммируемого ПА с режимом самообучения была реализована на пневмосхеме с дроссельным торможением с использованием двухэтапного режима позиционирования и могла эффективно работать лишь при очень малых инерционных нагрузках [3]. К тому же достаточно упрощённый способ формирования условия переключения режимов не давал возможность при самообуче-

нии одновременно оптимизировать переходный процесс и по точности позиционирования и по быстродействию.

Будем решать задачу трёхэтапного процесса позиционирования, опираясь на схемы ПА с торможением (управлением) путём изменения структуры коммуникационных связей, в которых исключается использование каких-либо дополнительных дроселирующих элементов [4].

Таблица 1 – Варианты исходного состояния ПА при движении вправо



Все возможные коммутационные связи в исходном состоянии, при радикальном ("грубом") торможении и при отслеживании линии переключения сведены в таблицы 1, 2 и 3.

Таблица 2 – Варианты "грубого" торможения

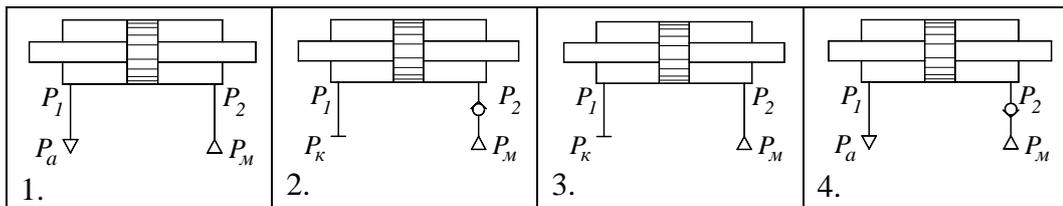
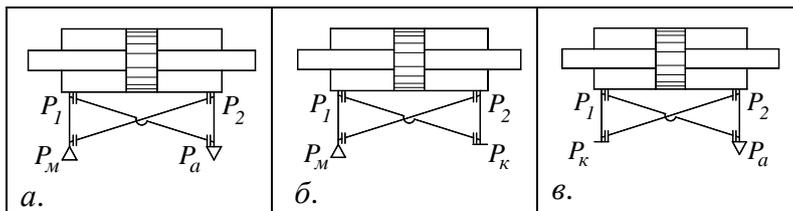


Таблица 3 – Варианты коммутаций при отслеживании линии переключения



Для режима разгона РО оставим только одну коммутационную ситуацию, когда рабочая полость ПА соединена с магистралью, а выхлопная полость – с атмосферой. Для описания коммутационных ситуаций в каждой фазе движения принят следующий порядок: вариант коммутации полостей ПА при исходном состоянии (фиксации) обозначен римской цифрой (см. табл. 1), вариант коммутации полостей ПА при "грубом" (радикальном) торможении обозначен арабскими цифрами (см. табл. 2), а вариант коммутации при отслеживании линии переключения обозначается буквами (см. табл. 3).

Для управления систем гидропневмоагрегатов технологического оборудования целесообразно использовать программируемые устройства с принципом управления от микрокоманд и применением стандартной пориционной структуры [5].

В настоящей статье рассматривается отдельно взятый пориционный пневмоагрегат объекта технологического оборудования и способ его реализации.

Аналізуючи таблицю состояний условий работы отдельного универсального пневмоагрегата [6] можно получить систему логических уравнений, описывающих условия его работы в виде:

$$\begin{cases} y_1 = \bar{R} \cdot \bar{T}_3 \cdot y^{III} + \bar{R} \cdot T_3 \cdot p_M + R \cdot p_K \cdot \bar{T}_1 + R \cdot p_M \cdot T_1 \cdot \bar{T}_2; \\ y_2 = \bar{R} \cdot p_K \cdot \bar{T}_1 + \bar{R} \cdot p_M \cdot T_1 \cdot \bar{T}_2 + R \cdot \bar{T}_3 \cdot y^{III} + R \cdot T_3 \cdot p_M. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь y^{III} – введенная внутренняя переменная; $\bar{T}_1, \bar{T}_2, \bar{T}_3, \bar{R}$ – сигналы переключения распределителей; p_M, p_K – различные уровни давления питания.

В уравнениях (4) \bar{R} и R выносим за скобки, а выражения в скобках запишем через введенные внутренние переменные y^I и y^II , тогда $y^I = \bar{T}_3 \cdot y^{III} + T_3 \cdot p_M$; $y^II = p_K \cdot \bar{T}_1 + p_M \cdot T_1 \cdot \bar{T}_2$. Вводя внутреннюю переменную y^{IV} , получим $y^{IV} = p_a \cdot \bar{T}_2 + p_M \cdot T_1 \cdot T_2$.

Применив метод безразмерной декомпозиции [7] для синтеза уравнений:

$$\begin{cases} y^{II} = p_K \cdot \bar{T}_1 + p_M \cdot T_1 \cdot \bar{T}_2; \\ y^{IV} = p_M \cdot T_1 \cdot T_2, \end{cases} \quad (5)$$

где в y^{IV} , $p_a \cdot \bar{T}_2 = 0$, получаем схему универсального модуля, построенную на серийно-выпускаемой отечественной пневмоаппаратуре (рис. 2).

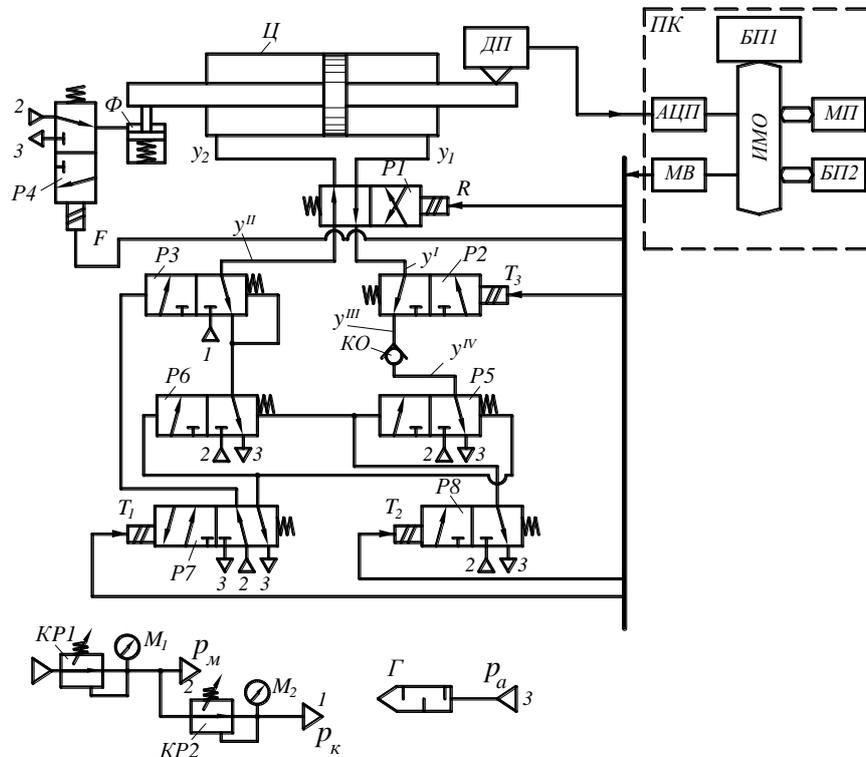


Рисунок 2 – Универсальный пневматический модуль, настроенный с использованием серийно-выпускаемой аппаратуры

На рис. 2 ПК – программируемый контроллер; ДП – датчик положения; БП1 – блок питания интерфейсной магистрали; БП2 – блок питания свободнокомпонуемых модулей контроллера; МП – микропроцессорный модуль; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; МВ – модуль вывода дискретных сигналов; ИМО – интерфейсная магистраль.

На рис. 3 представлена схема универсального пневматического модуля с использованием пневмораспределителя P3 реализующего систему уравнений (5) [8].

Пневматическая часть схемы управления (рис. 3) имеет три уровня давления (p_m – давление на выходе редукционного клапана KP1, близкое к магистральному; p_k – давление, настраиваемое с помощью редукционного клапана KP2; p_a – атмосферное давление). Распределитель P1 обеспечивает отслеживание линии переключения. Распределители P2 и P3 обеспечивают всю необходимую гамму коммутационных ситуаций для каждой из трех фаз движения, а также в фазе фиксации.

При отслеживании линии переключения для повышения устойчивости этого процесса желательно выбирать давление p_k в варианте б (см. табл. 3) близкое к магистральному p_m , а в варианте в – близкое к атмосферному давлению p_a .

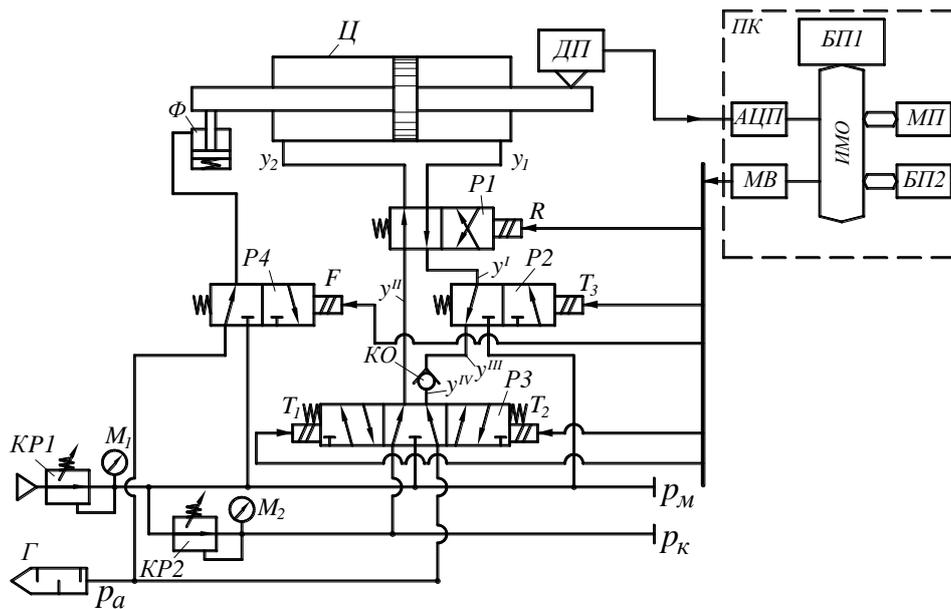


Рисунок 3 – Универсальный пневматический модуль для трех этапного позиционирования на базе 5-ти линейного 3-х позиционного распределителя

Все алгоритмы управления, реализуемые с помощью этого пневматического модуля и представляющие практический интерес, представлены в таблице 4, причем нумерация схем соответствует порядку, изложенному в таблицах 1, 2 и 3.

Наиболее перспективными алгоритмами управления из приведенных в табл. 4 представляются I.2.б, I.3.б, I.2.в, IV.2.в. Причём последний, при определённых условиях эксплуатации, рассматривается как энергосберегающий. Однако, как показали исследования проведенные на ЭВМ, наиболее рациональными при самых разнообразных условиях эксплуатации оказались алгоритмы I.3.б и I.2.б. Проигрывая схемам IV.2.в и I.2.в в энергетических характеристиках, они проявили исключительную "всеядность"

при варіюванні масової навантаженості в широких межах, при різних комбінаціях координат позиціонування, виявились найменш чутливими до затримок в часі спрацювання пневморозподільця $P1$ і фіксатора Φ , а також найбільш придатними при роботі в умовах навантаженості типу "сухе тертя".

Таблиця 4 – Програма управління пневморозподільцями при різних способах позиціонування

Номер схеми	Фази движенья	T_1	T_2	T_3	R	Номер схеми	Фази движенья	T_1	T_2	T_3	R
I.1.a движение вправо	разгон	1	0	0	0	III.3.б движение вправо	разгон	1	0	0	0
	грубое тормо- жение	1	0	0	1		грубое тормо- жение	0	1	0	0
	отслеж. линии пере- ключе- ния	1	0	0	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$		отслеж. линии пере- ключе- ния	0	1	1	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$
	фикса- ция	1	0	1	0		фикса- ция	0	1	1	0
I.2.б движение вправо	разгон	1	0	0	0	IV.2.в движение вправо	разгон	1	0	0	0
	грубое тормо- жение	0	1	0	0		грубое тормо- жение	0	1	0	0
	отслеж. линии пере- ключе- ния	0	1	1	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$		отслеж. линии пере- ключе- ния	0	0	0	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$
	фикса- ция	1	0	1	0		фикса- ция	0	0	0	0
I.3.б движение вправо	разгон	1	0	0	0	IV.3.в движение вправо	разгон	1	0	0	0
	грубое тормо- жение	0	1	1	0		грубое тормо- жение	0	1	1	0
	отслеж. линии пере- ключе- ния	0	1	1	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$		отслеж. линии пере- ключе- ния	0	0	0	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$
	фикса- ция	1	0	0	0		фикса- ция	0	0	0	0
I.2.в движение вправо	разгон	1	0	0	0	V.1.a движение вправо	разгон	1	0	0	0
	грубое тормо- жение	0	1	0	0		грубое тормо- жение	1	0	0	1
	отслеж. линии пере- ключе- ния	0	0	0	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$		отслеж. линии пере- ключе- ния	1	0	0	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$
	фикса- ция	1	0	1	0		фикса- ция	1	0	0	1

На рис. 4 представлен расчётный переходной процесс, полученный на ЭВМ, при работе ПА со схемой на рис. 3 при алгоритме управления I.3.б.

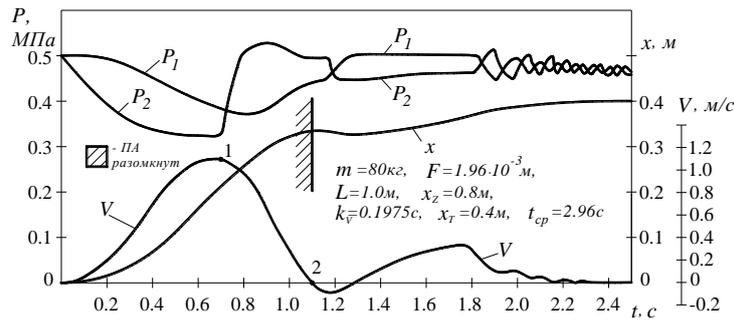


Рисунок 4 – Переходний процес для ПА с алгоритмом 1.3.6 при первоначальном процессе позиционирования

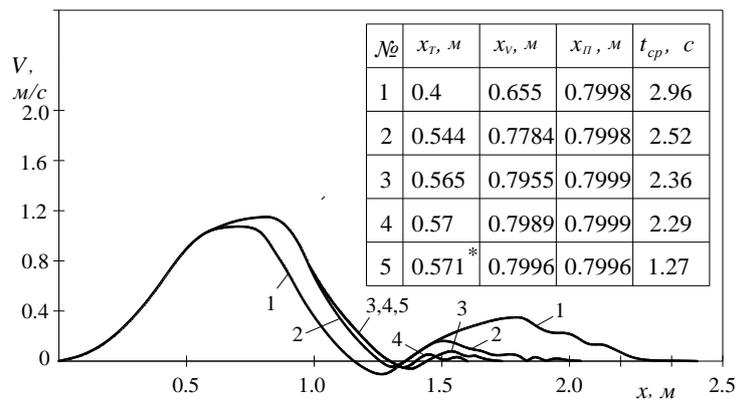


Рисунок 5 – Процесс самообучения ПА при трёхэтапном процессе позиционирования

Показан переходный процесс при первом тестировании, когда координата позиционирования выбирается равной: $x_T = \frac{(x_0 - x_z)}{2}$, где x_0 – начальная координата позиционирования. Абсолютная устойчивость процесса отработки линии переключения в третьей фазе движения РО, который начинается после его первой остановки, позволяет достаточно эффективно произвести тестирование и определить оптимальную координату "грубого" торможения (рис. 5).

Как видно, в результате пяти опытов контроллер автоматически определяет координату радикального торможения x_T^* , добиваясь оптимизации переходного процесса как по быстродействию, так и по точности.

Блок-схема программы микропроцессорного управления ПА с трёхэтапным режимом позиционирования представлен на рис. 6. При реализации первого этапа производится выбор направления движения (условный оператор 1 на блок-схеме), разгон влево или вправо (операторы 6, 17). При достижении координаты торможения, контролируемой оператором 5 или (16), происходит переключение на второй режим – режим радикального или "грубого" торможения (оператор 9). При снижении скорости РО до некоторой малой величины ϵ_v (условная нулевая скорость) с помощью условных операторов 7 и 14 и оператора 15 происходит запоминание координаты остановки РО (x_v^{i+1}).

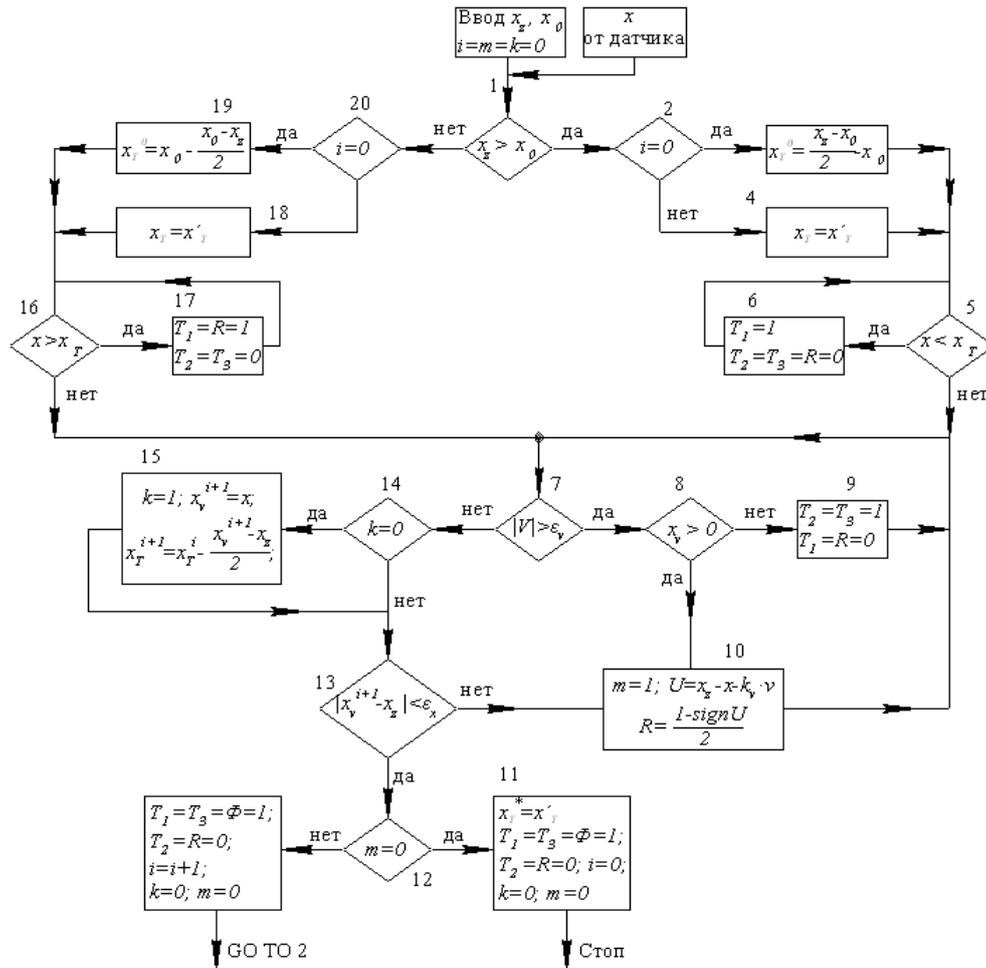


Рисунок 6 – Блок-схема програми управління ПА с трьохетапним процесом позиціонування і самообученням для варіанта І.3.б

Если это была первая остановка после торможения ($k = 0$), то с помощью оператора 15 произойдёт вычисление ошибки $x_v^{i+1} - x_z$ и корректировка координаты торможения x_T . С помощью условного оператора 13 произойдёт сравнение ошибки остановки РО ($x_v^{i+1} - x_z$) с заданной точностью позиционирования ϵ . Если ошибка больше заданной, то начинается третий этап позиционирования, при котором вычисляется функция переключения U и производится управление реверсным распределителем PI (сигнал R) в зависимости от знака функции U (оператор 10). Таким образом, происходит отслеживание линии переключения и компенсация вносимых в систему первичных ошибок.

Оптимальная координата торможения x_T^* будет определена, если после $i+1$ опыта в результате фиксации в блоке 15 координаты первой остановки x_v^{i+1} будут положительно пройдены тесты 12 и 13.

Вывод

Предложенная структура ПА с рациональной программой управления распределителями даёт возможность эффективно реализовать стратегию управления многопозиционным ПА с режимом самообучения, которая решает задачу оптимизации процес-

са позиціонування як по точності, так і по швидкодії. Виділені також алгоритми управління (IV.2.в і I.2.в), які забезпечують режим енергозбереження при роботі подібних ПА. Економічно вигідне поєднання дешевої стандартної пневмоапаратури з доступними в даний час програмованими засобами управління робить такі способи дискретного управління ПА все більш вимогливими.

Литература

1. Электрогидравлические следящие системы. Под. ред. В.А. Хохлова. – М.: Машиностроение.– 1971. – 432 с.
2. Техническая кибернетика. Теория автоматического управления. Книга 1. Под ред. В.В. Солодовникова. – М: Машиностроение.– 1969.– 768 с.
3. Крейнин Г.В., Солнцева К.С., Франк В., Умбрихт А. Исследование позиционного пневматического привода // Машиноведение.– 1989.– №4.– с. 74–79.
4. Крутиков Г.А., Кудрявцев А.И., Пекарь Л.А. К вопросу выбора способа торможения пневмоприводов с большими присоединёнными массами // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. – М.: Машиностроение.– 1987– вып. 13 – с. 51–58.
5. Черкашенко М.В., Юдицкий С.А. Автоматизация программирования микропроцессорных контроллеров для управления системами гидро- и пневмоприводов.– М.:ВНИИТЭМР.– 1990.– 36 с.
6. Крутиков Г.А., Вурье Б.А. Выбор оптимального управления релейным многопозиционным пневмоприводом //Автоматизация и современные технологии.– М.: Машиностроение.– 1995.– №9.– с. 5–10.
7. Cherkashenko M. Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation //5 International Fluid Power Symposium in Aachen, Germany. March 2006 –Fundamentals, V1. – p. 147–154.
8. Черкашенко М.В. Анализ многовыходных схем гидропневмоавтоматики // Интегровані технології та енергозбереження.– 2005.– №4.– с. 120–125.

УДК 621.05

Черкашенко М.В., Крутиков Г.А.

СИНТЕЗ ВІЛЬНОПРОГРАМОВАНИХ ПНЕВМОАГРЕГАТІВ

Запропонована структура пневмоагрегата (ПА) з раціональною програмою керування розподільниками, яка дає можливість ефективно реалізувати стратегію керування багатопозиційним ПА з режимом самонавчання, що розв'язує задачу оптимізації процесу позиціонування як за точністю, так і за швидкістю.

Cherkashenko M.V., Krutikov G.A.

SYNTHESIS OF IS FREE PROGRAMMED PNEUMOAGGREGATES

The structure of the pneumoaggregate (PA) with the rational control program of distributors which gives the Possibility to realize effectively the control strategy a multiposition PA with a condition of self-training which solves optimization problem of the process positioning both behind exactitude, and behind speed is offered.