

Показані шляхи розв'язання завдання вільнопрограмованого позиціонування при наявності часу запізнювання в системі керування. Розв'язання такого завдання дозволить створити багатопозиційний пневмоагрегат на базі стандартної пневмоапаратури

Показаны пути решения задачи свободнопрограммируемого позиционирования при наличии временного запаздывания в системе управления. Решение такой задачи позволит создать многопозиционный пневмоагрегат на базе стандартной пневмоапаратури

The ways of decision of task are rotined freely programmable pozicionirova-niya at presence of temporal delay in control system. Decision that-which will allow to create tasks multiposition pnevmoagregat on a base stan-dartnoy pnevmoapparatury

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕННОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРОЦЕСС ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА ПНЕВМОАГРЕГАТА

М. В. Черкашенко

Доктор технических наук, профессор
Кафедра гидромашин*
Контактный тел.: (057) 707-66-46

Г. А. Крутиков

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра гидропневмоавтоматики*
Контактный тел.: (050) 512-63-35

*Национальный технический университет "Харьковский
политехнический институт"
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

Введение

Одним из наиболее перспективных направлений при разработке многопозиционных свободнопрограммируемых пневмоагрегатов (ПА) является использование стандартной релейной пневмоапаратуры в сочетании с микропроцессорным адаптивным управлением. При этом подобный ПА рассматривается как система переменной структуры (СПС), у которой переключение коммутационных связей происходит в зависимости от нахождения рабочего органа (РО) в той или иной области фазового пространства [1, 5].

Постановка задачи

Предлагается рассмотреть вопрос создания многопозиционного ПА, использующего самообучение,

на основе серийной пневмоапаратуры. Это довольно привлекательная идея сталкивается с достаточно серьезными препятствиями – временным запаздыванием в системе управления, связанным, прежде всего с невысоким быстродействием серийных пневмораспределителей. Как показывают исследования, это создает серьезную проблему и может сделать невозможной реализацию идеи создания свободнопрограммируемого ПА на основе дешевой стандартной пневмоапаратуры. Поэтому разработка рецептов по преодолению этого негативного явления представляется актуальной.

Выбор стратегии управления

Для получения информации о координатах изображающей точки в фазовой плоскости СПС снабжены,

как и классические следящие системы датчиком положения и имеют контур обратной связи.

Однако, в данном случае такие ПА вместо аналогового сервоклапана, реагирующего на величину и знак рассогласования между входным воздействием и положением РО, имеют дискретно срабатывающий пневмораспределитель с ярко выраженной релейной характеристикой, и реагируют только на знак рассогласования. Причем, под рассогласованием понимается более сложная функция координаты РО и его скорости, т.е. некоторая граничная линия в фазовой плоскости. Чаще всего фазовая область разбивается на две подобласти с помощью наклонной линии переключения, проходящей через точку позиционирования [5].

$$U = x_z - x - K_v \cdot V \tag{1}$$

где U – функция переключения, x – текущая координата РО, x_z – заданная координата позиционирования, V – скорость РО, K_v – коэффициент усиления обратной связи по скорости.

Наиболее рациональным представляется 3-х этапный режим позиционирования: разгон, радикальное («грубое») торможение, отслеживание линии переключения $U(x, \dot{x})$, когда один из распределителей (реверсивный) переключается в зависимости от знака функции переключения [3]. Причем первые две фазы движения (разгон, радикальное торможение) ПА совершает оставаясь разомкнутым без использования дросселирующих элементов в питающем и выхлопном трактах, что позволяет значительно повысить быстродействие ПА. Переход к третьему этапу, т.е. отслеживанию линии переключения при тестировании начинается после первой остановки РО в результате радикального торможения. Новая координата начала радикального торможения x_T^i в режиме тестирования выбирается в зависимости от разности $x_V^{i-1} - x_z$:

$$x_T^i = x_T^{i-1} - \frac{x_V^{i-1} - x_z}{r} \tag{2}$$

где x_T^{i-1} – координата радикального («грубого») торможения при предыдущем (i-1)-ом опыте, x_V^{i-1} – координата первой остановки РО в результате «ГРУБОГО» торможения при предыдущем опыте.

Надобность в третьем этапе позиционирования отпадает, когда при очередном опыте

$$|x_z - x_V^{i-1}| \leq \varepsilon \tag{3}$$

где ε – заданная точность позиционирования.

Найденная при подобном тестировании оптимальная координата начала «грубого» торможения x_T^i запоминается и в эксплуатационном режиме процесс позиционирования становится двухэтапным, что оптимизирует процесс позиционирования не только по точности, но и по быстродействию. Переход к третьему этапу позиционирования в эксплуатационном режиме возможен в том случае, когда условия функционирования изменяются настолько, что координата позиционирования в результате окончания «грубого» торможения выйдет за пределы заданной точности. В

этом случае третий этап будет всегда осуществлять «страховку», т.е. безусловную отработку заданной координаты позиционирования и изменение координаты начала «грубого» торможения x_T^* . В этом смысле изложенную стратегию управления можно с полным основанием считать адаптивной.

При перенесении подобного способа дискретного управления на ПА, обладающие большой сжимаемостью рабочего тела, значительными инерционными нагрузками и временным запаздыванием в системе управления возникают две проблемы:

- выбор структуры ПА и алгоритма управления пневмораспределителями, которые способны обеспечить жесткое отслеживание линии переключения;
- выбор программы управления, способной «парировать» неблагоприятное воздействие временного запаздывания в системе управления.

Первую из перечисленных задач можно решить, используя универсальный клапанно-распределительный модуль (рис. 1), который обеспечивает управление РО ПА путем изменения структуры коммутационных связей [6].

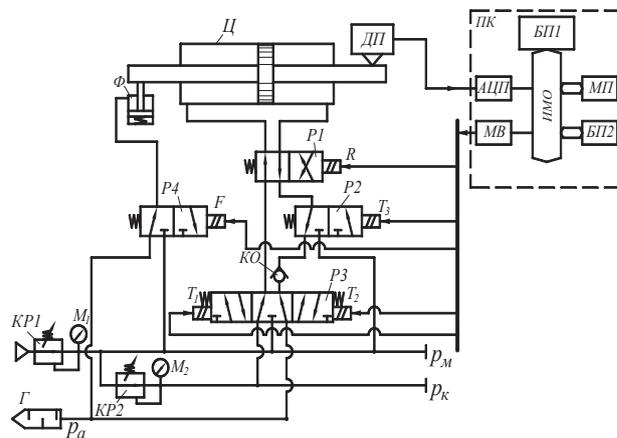


Рис. 1. Универсальный пневматический модуль для дискретного управления ПА

На рис. 1 ПК – программный контроллер; ДП – датчик положения; БПИ – блок питания интерфейсной магистрали; БП2 – блок питания свободнокомпонующих модулей контроллера; МП – микропроцессорный модуль; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; МВ – модуль вывода дискретных сигналов; ИМО – интерфейсная магистраль.

Пневматическая часть системы управления имеет три уровня давления (p_m – давление на выходе КР1, близкое к магистральному давлению; p_k – давление, настраиваемое с помощью редукционного клапана КР2; p_a – атмосферное давление).

Реверсивный распределитель P1 обеспечивает отслеживание линии переключения.

Пятилинейный трехпозиционный распределитель P3 и трехлинейный распределитель P2 обеспечивают достаточно широкий набор коммутационных ситуаций для каждой из трех фаз движения, а также в фазе фиксации.

Один из наиболее рациональных алгоритмов управления представлен в табл. 1 и соответствует движению РО слева направо.

Таблица 1

Состояние электромагнитов при рациональном управлении ПА

Фазы движения	Состояние электромагнитов				
	T ₁	T ₂	T ₃	R	F
Разгон вправо	1	0	0	0	1
Радикальное торможение	0	1	1	0	1
Отслеживание линии переключения	0	1	1	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$	1
Фиксация	1	0	1	0	0

Здесь состояние электромагнитов представлены в виде булевых переменных R, T₁, T₂, T₃, F, которые принимают значения: 1 – ток подан, 0 – ток отключен.

При таком управлении давлением настройки КР2 (р_к) следует выбирать близким к давлению р_м так, чтобы перепад давления р_м–р_к был достаточен для преодоления силы статического сопротивления.

Развернутая математическая модель ПА, построенная на уравнениях теплового (энергетического) баланса, дана в работе [4].

На рис. 2 представлен переходный процесс, полученный на ЭВМ для ПА, схема которого представлена на рис. 1 при работе в соответствии с алгоритмом, изложенным в табл. 1. Исходные данные для расчета: давление настройки соответственно КР1 и КР2 – 0.5 МПа и 0.45 МПа, площадь поршня (F_п) – 1.9·10⁻³ м², массовая нагрузка (m) – 80 кг, статическая нагрузка (P) – 50 Н, полный ход поршня (L) – 1.0 м; заданная координата позиционирования; (x_z) – 0.9 м; координата начала «грубого» торможения (x_т) – 0.4 м; коэффициент усиления обратной связи по скорости (K_v) – 0,1975 с.

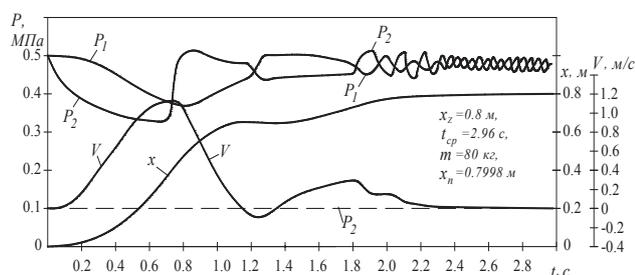


Рис. 2. Переходной процесс при трехэтапном процессе позиционирования

Как видно из графика переходного процесса выбранная стратегия управления обеспечивает достаточно жесткое отслеживание линии переключения (р₁, р₂ – давления соответственно в рабочей и выхлопной полостях; x, V – координата и скорость РО). Несмотря на неудачно выбранную координату начала «грубого» торможения $x_t = \frac{x_z - x_0}{2}$, координата позиционирования x_н = 0.7998 м (при x_z = 0.8 м) достигается за 2.96 с.

Процесс самообучения системы представлен на рис. 3. Управляющий контроллер в автоматическом режиме на основе рекуррентной формулы (2) в итоге 4-х опытов определяет оптимальную координату начала радикального торможения x_т^{*} = 0.7884 м, при

которой процесс позиционирования становится двухэтапным, а время срабатывания сокращается до 1.2 с.

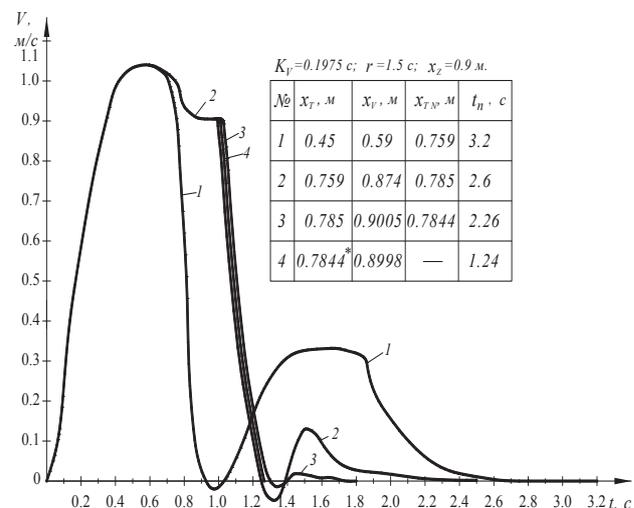


Рис. 3. Процесс самообучения при трехэтапном процессе позиционирования

В таблице на рис. 3 x_н – фактическая координата позиционирования, t_{ср} – время срабатывания, x_т – координата первой остановки.

Временное запаздывание в системе управления и способы компенсации его влияния на процесс позиционирования.

Изложенный алгоритм позиционирования, как видно из результатов машинного эксперимента, кажется безупречным. Однако, если привести в математическую модель такой отрицательный фактор, как временное запаздывание в системе управления (T_p), т.е. учесть фактор, обозначенный нами в начале статьи, как существенную проблему, результаты могут коренным образом измениться в худшую сторону.

Временное запаздывание складывается из трех составляющих:

$$T_p = T_d + T_{\Delta} + t_{cp}^p \tag{4}$$

где T_d – период дискретности управляющей ЭВМ, T_Δ – задержка в срабатывании электрических элементов, t_{ср}^p – задержка в срабатывании пневмораспределителя, которая составляет основную часть временно запаздывания.

Подставляя значение временного запаздывания в системе управления T_p в математическую модель ПА получим ярко выраженный автоколебательный процесс (рис. 4а) в районе точки позиционирования.

Для введения в математическую модель временной задержки (в случае использования в качестве численного метода интегрирования шагового метода Рунге-Куты 4-го порядка) состояния электромагнита R реверсивного распределителя Р1 определялось с помощью логического оператора:

$$\begin{aligned} B1 &= (1 + \text{sign}(U)) / 2 \\ \text{IF } B1 = B2 \text{ THEN } T_x &= T \\ B2 &= (1 - \text{sign}(U)) / -2 \\ \text{IF } T > T_x + T_p \text{ THEN } R &= B2. \end{aligned} \tag{5}$$

где T – время, T_x – момент времени, при котором происходит пересечение линии переключения $U = x_z - x - K_V \cdot V$.

Линии l_1 и l_2 в фазовой полости являются реальными линиями переключения с учетом временного запаздывания (рис. 4а). Расположение точек 1, 2, 3 реального переключения распределителя Р1 позволяет выявить причину автоколебательного процесса, возникающего при подходе к точке позиционирования. Методика «парирования» отрицательного воздействия временного запаздывания в системе управления основана на программных методах и связана с модернизацией формы линии переключения.

На рис. 4в показана линия переключения в виде луча, выходящего из точки позиционирования ($x_z = 0.8\text{ м}$), причем его форму можно рассматривать как некоторую линейную аппроксимацию линий переключения l_1 и l_2 .

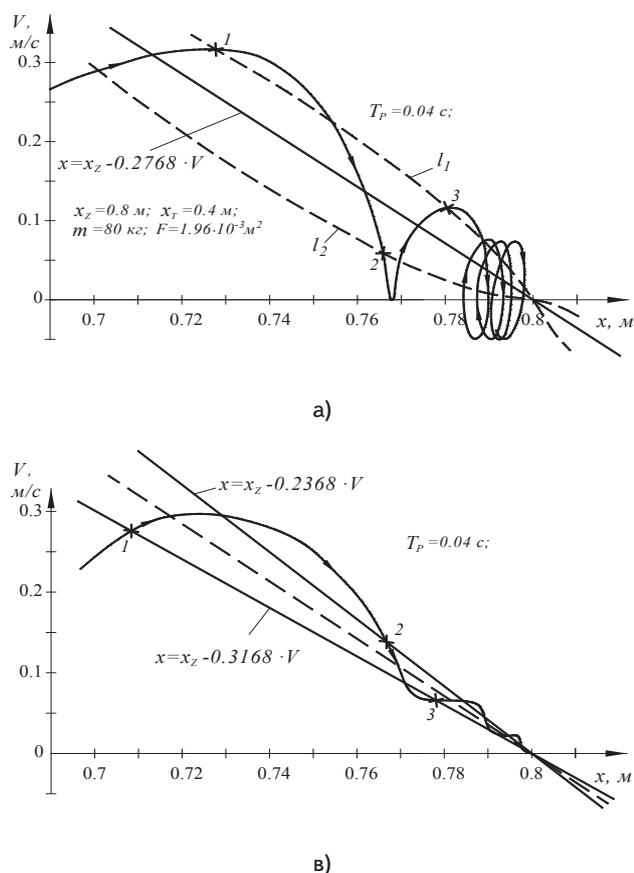


Рис. 4. Процесс позиционирования при отработке реальной линии переключения с учетом временного запаздывания в системе управления (а) и стабилизация процесса позиционирования при использовании модифицированной линии переключения (в)

Переключение распределителя Р1 производится по программе, которая имеет «предупредительный» (опережающий) характер с целью компенсации временной задержки (точки 1, 2, 3 на рис. 4в).

$$\begin{cases} \text{Если } x < x_z - (K_V + T_p) \cdot V, \text{ то } U = x_z - x - (K_V + T_p) \cdot V \\ \text{Если } x > x_z - (K_V - T_p) \cdot V, \text{ то } U = x_z - x - (K_V - T_p) \cdot V \end{cases} \quad (6)$$

$$R = \frac{1 - \text{sign} U}{2}$$

В результате такой модификации линии переключения процесс позиционирования при тех же условиях, что и на рис. 4а, обретает устойчивость, что убедительно свидетельствует о правильности выбранной методики «парирования» временных задержек в системе управления.

В том случае, когда временную задержку в системе управления трудно определить, можно выбрать более грубый метод, несколько менее эффективный, но вполне достаточный для большинства задач. Разобьем фазовую область на три подобласти с помощью двух параллельных наклонных прямых $x = x_z - \epsilon - K_V \cdot V$ и $x = x_z + \epsilon - K_V \cdot V$ (рис. 5).

Управление должно производиться по схеме:

$$\begin{cases} \text{Если } x < x_z - \epsilon - K_V \cdot V, \text{ то } U = x_z - \epsilon - x - K_V \cdot V \\ \text{Если } x > x_z + \epsilon - K_V \cdot V, \text{ то } U = x_z + \epsilon - x - K_V \cdot V \end{cases} \quad (7)$$

$$R = \frac{1 - \text{sign} U}{2}$$

Переход на двоянную линию переключения также обеспечивает устойчивый процесс позиционирования (рис. 5).

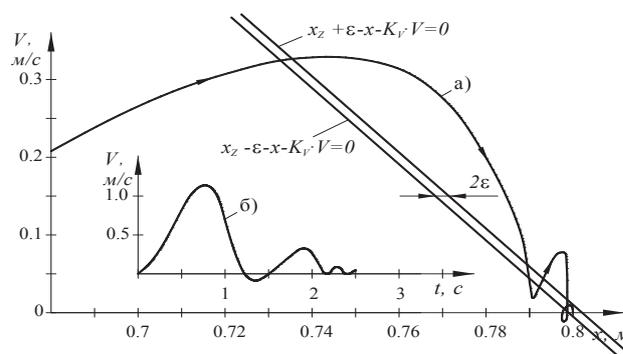


Рис. 5. Фазовая траектория РО (а) и переходный процесс (б) при $T_p = 0.04$ с и модернизированном алгоритме управления

Выводы

Как показали исследования, временное запаздывание в системе управления может стать серьезным препятствием при решении задачи высокоточного позиционирования РО ПА. Предлагаемые модификации алгоритма слежения за линией переключения делает пригодной всю изложенную выше стратегию управления даже при наличии существенного запаздывания в системе управления, что открывает путь к реализации высокоточных многопозиционных ПА на базе стандартной пневмоаппаратуры.

Литература

1. Емельянов С.В. Системы автоматического управления с переменной структурой. – М.: Наука, 1967. – 398 с.
2. Крутиков Г.А. Выбор закона управления для многопозиционного дискретного пневмопривода// Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сб. научн. трудов. – Темат. вып. «Новые решения в современных технологиях», Харьков, 2007, вып. 32. с. 59-65.

3. Крутиков Г.А., Вурье Б.А. Выбор оптимального управления релейным многопозиционным пневмоприводом // Автоматизация и современные технологии. – М.: Машиностроение.- 1995. – №10. – с. 3-6.
4. Крутиков Г.А. Универсальная математическая модель свободнопрограммируемого пневмопривода с дискретным управлением // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сб. научн. трудов. – Темат. вып. «Технологии в машиностроении», Харьков, 2008, вып. 23. с. 98-103.
5. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. Книга 3. Под ред. В.В. Солодовникова. – М: Машиностроение, 1969. – 607 с.
6. Черкашенко М.В, Крутиков Г.А. Синтез свободнопрограммируемых пневмоагратов // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2009. - №4 – с.100-112.

У статті дано аналітичне обґрунтування процесів, що відбуваються на наклонному конвеєрі при обриві стрічки наклонного конвеєра. Розглянута взаємодія потоку руди із стрічкою та зміна величини стягуючого зусилля і швидкості стрічки у міру сходу її вниз, а також коливання обірваного кінця стрічки при русі його по роликкоопорам конвеєра

В статье дано аналитическое обоснование процессов, происходящих на наклонном конвейере при обрыве ленты наклонного конвейера. Рассмотрено взаимодействие потока руды с лентой и изменение величины стягивающего усилия и скорости ленты по мере схода её вниз, а также колебания обрванного конца ленты при движении его по роликкоопорам конвейера

The analytical ground of processes, what be going on on a sloping conveyer at the precipice of ribbon of sloping conveyer is given in the article. Co-operating of stream of ore is considered with a ribbon, and similarly change of size of tightening effort and speed of ribbon as far as the tails of it downward, and similarly vibrations of the ragged end of ribbon at motion of him on rolikkooporam of conveyer

УДК 622.647.2+622.693

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ ПРИ ОБРЫВЕ ЛЕНТЫ НАКЛОННОГО КОНВЕЙЕРА

Т.В. Александрова

Аспирант

Кафедра «Горное оборудование»

Криворожский технический университет

Контактный тел.: (0564) 90-18-96, 097-479-32-89

Проблема и её связь с научными и практическими задачами

В процессе эксплуатации конвейеров иногда происходят непредвиденные сбои в их работе. Так, на наклонных магистральных конвейерах самопроизвольный сход ленты вниз при её поперечном порыве приводит к разрушению значительной части элементов этого конвейера, что приносит предприятию ощутимые экономические потери. Кроме этого, разлетающиеся с конвейера куски руды угрожают жизни обслуживающего персонала.

Анализ исследований и публикаций

Проведение экспериментальных исследований процессов, происходящих на конвейере после поперечного порыва ленты, в производственных условиях практически проводить невозможно и весьма опасно. Поэтому те немногие исследования, которые были посвящены этой проблеме, проводились на экспериментальных конвейерах или их моделях, или же в информации о них просто констатировались последствия аварий [1,2]. В теоретическом отношении в этих работах рассматриваются лишь первые мгновения поведения ленты после