

Выбор алгоритма рационального управления релейным многопозиционным пневмоприводом

61002, Украина, Харьков, НТУ «Харьковский политехнический институт»,
кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропривод»

vyaroz@bmstu.ru

$$\frac{dv}{dx} = \frac{F}{m \cdot v} \Delta p_M \sin U \quad (1)$$

The diagram illustrates a control system for a two-stage compressor. The main components include:

- Compressor Stages:** P₁ and P₂.
- Motor:** МП (Electric Motor).
- Sensors and Measurement:**
 - ДПД (Differential Pressure Detector) at the inlet.
 - ДС (Differential Pressure Transducer) at the outlet.
 - ДП (Differential Pressure Transducer) measuring the pressure difference between P₁ and P₂.
 - РМ (Pressure Gauge) and Р_А (Pressure Indicator) for both stages.
- Control and Protection:**
 - КР (Control Relay) for the motor.
 - КВ (Control Valve) for the gas flow.
 - К_{РΔP} (Control Relay for Differential Pressure) monitoring the pressure difference between the stages.
- Flow and Signals:**
 - X_z (Gas Flow) entering the system.
 - X (Gas Flow) leaving the system.
 - U (Control Signal) from the motor to the valve.
 - V (Control Signal) from the valve to the motor.

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/585800.html>

Оптимальная функция линии переключения при таких допущениях:

$$U = v^2 \cdot \text{sign} v - \frac{2F \cdot \Delta p_M}{m} (x_Z - x) = 0 \quad (2)$$

Графическое изображение такой линии переключения дано на рис. 2, где она (Bx_ZB') разделяет фазовую плоскость, заполненную траекториями прямого хода (слева) и плоскость, заполненную траекториями реверса (справа). Однако, следует учесть, что линия переключения вида Bx_ZB' получена при достаточно грубом допущении о том, что давление в полостях цилиндра меняется дискретно от p_M до p_a и наоборот и это изменение носит мгновенный характер при срабатывании пневмораспределителей.

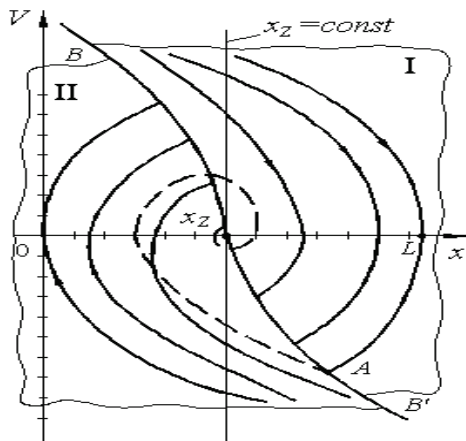


Рис. 2. Линия переключения в фазовой плоскости

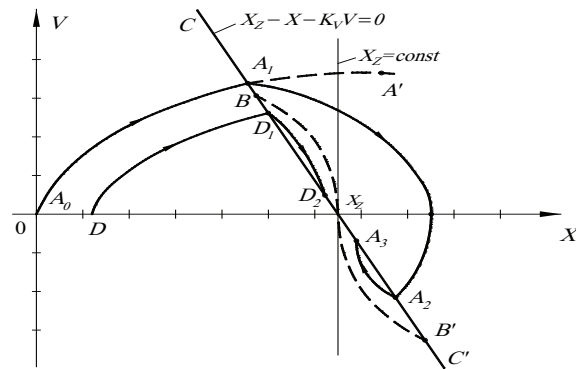


Рис. 3. Движение РО ПП вдоль линии переключения в фазовой плоскости

На самом деле, полости цилиндра обладают большой избыточной памятью и достаточно долго "помнят" своё предыдущее состояние. В виду сложности газодинамических процессов в полостях и коммутационных трактах ПП нахождение реальной линии переключения представляет трудноразрешимую задачу. Более предпочтительным является использование релейной обратной связи в виде двухконтурного ПД-регулятора, которая в фазовой плоскости интерпретируется в виде прямой линии переключения, проходящей через точку позиционирования (рис. 3). Такие пневмоаппараты (ПА), как и классические следящие системы имеют контур обратной связи, но вместо аналогового сервоклапана, реагирующего на величину и знак рассогласования, они имеют дискретный пневмораспределитель с ярко выраженной релейной характеристикой и реагируют только на знак функции рассогласования U .

Алгоритм управления в данном случае применительно к базовой пневмосхеме на рис. 1 имеет вид:

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{1 - \text{sign} U}{2} = \frac{1 - \text{sign}(x_z - x - K_v \dot{x})}{2}; \\ T_2 &= \frac{1 + \text{sign} U}{2} = \frac{1 + \text{sign}(x_z - x - K_v \dot{x})}{2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где T_1 и T_2 – булевы переменные ($T_1 = 1$ – ток на электромагнит пневмораспределителя подан; $T_1 = 0$ – ток отключен).

Техническая реализация заданного алгоритма не составляет труда, т.к. по сути своей он идентичен реализации пропорционально-дифференциальной обратной связи (двухконтурный ПД-регулятор) при наличии релейного элемента в прямой цепи. Если функция рассогласования имеет вид $U = x_z - x - K_v \dot{x}$, а релейный элемент (3/2 дискретный распределитель) реагирует только на знак функции рассогласования, то это и обеспечивает движение РО вдоль линии переключения, задаваемый уравнением $x_z - x - K_v \dot{x} = 0$, с большим или меньшим отклонением от нее (рис. 3).

Наиболее перспективным с точки зрения повышения быстродействия является такой режим движения РО, при котором большую часть расстояния между координатами позиционирования ПА проходит оставаясь разомкнутым без использования дросселирующих элементов в питающем и выхлопном трактах

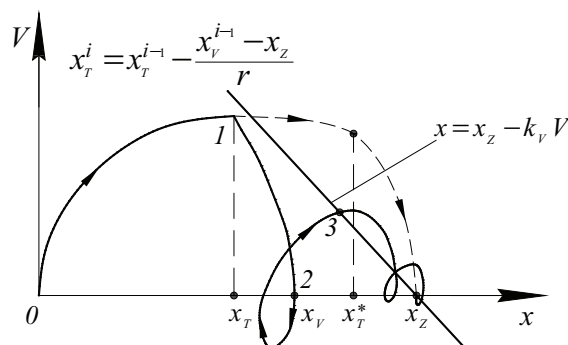


Рис. 4. Процесс автоматического определения оптимальной координаты торможения x_T^*

В связи с этим наиболее рациональным для ПП, работающего в системе позиционного управления, представляется 3-х этапный режим позиционирования, при котором первые два этапа – разгон и радикальное (грубое) торможение вплоть до первой остановки РО осуществляется при разомкнутом ПА (траектория 0-1-2 на рис. 4), и только третий, завершающий этап, представляет собой отслеживание линии переключения

(траектория 2-3- x_Z), когда один из распределителей (реверсивный) переключается в зависимости от знака функции рассогласования. При этом реализация наиболее протяженных первых двух этапов позиционирования не требует вычисления скорости и функции U .

В этом случае достаточно легко реализуется режим самообучения, при котором корректировке подвергается лишь координата радикального (грубого) торможения x_T в соответствии с формулой:

$$x_T^i = x_T^{i-1} - (x_V^{i-1} - x_Z) / r, \quad (4)$$

где x_T^{i-1} , x_V^{i-1} – координаты торможения и первой остановки РО при предыдущем опыте.

Такая корректировка проводится либо в режиме предварительного тестирования, либо непосредственно в эксплуатационном режиме и, в конечном итоге, ведет к исключению третьего этапа позиционирования. Это произойдет, когда по завершении очередного этапа радикального торможения

$$|x_Z - x_V^i| < \varepsilon, \quad (5)$$

где ε – заданная точность позиционирования.

Найденная координата оптимального торможения x_T^* запоминается. Переход к третьему этапу позиционирования в эксплуатационном режиме возможен, когда условия функционирования изменятся настолько, что координата позиционирования выйдет за пределы заданной точности ε . Третий этап в этом случае осуществляет "страховку", т.е. безусловную обработку заданной координаты позиционирования с заданной точностью. При этом произойдет корректировка координаты начального торможения. В этом смысле данный алгоритм с полным основанием можно считать адаптивным.

Отработка заданного алгоритма управления на основе простейшей базовой схемы на рис. 1 имеет один существенный недостаток: ограниченное число коммутационных ситуаций создаваемых этой схемой. Использование одних и тех же коммутационных ситуаций в режиме "разгон-торможение" и режиме отслеживания линии переключения во многих случаях ведёт к неустойчивой отработке линии переключения. Отработка линии переключения требует создания намного более "деликатного" режима управления РО, чем режим "разгон-торможение". На рис. 5 представлен управляющий пневматический модуль

многопозиционного ПП, обладающий большой функциональной гибкостью, в наибольшей степени отвечающей предложенной стратегии управления.

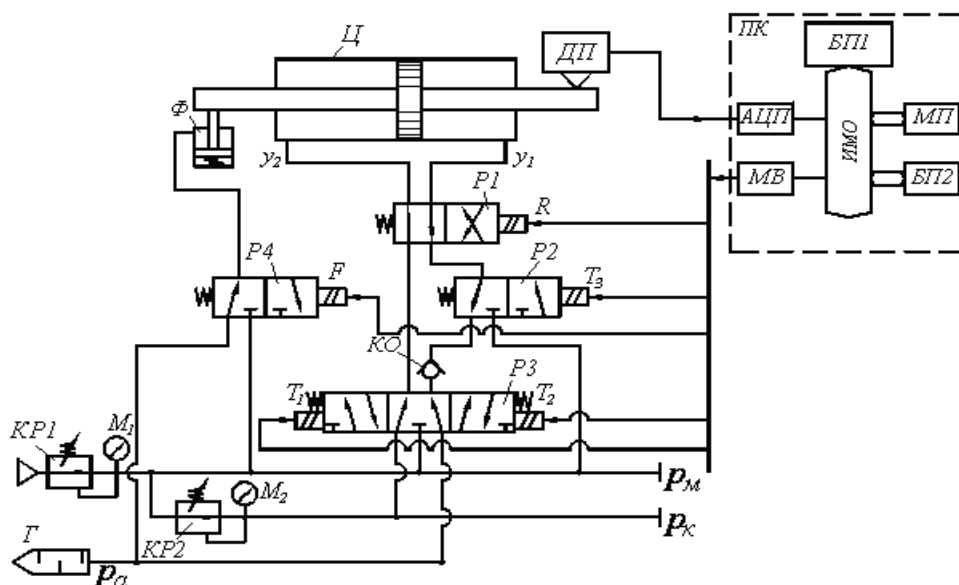


Рис. 5. Универсальный пневматический модуль для трёхэтапного позиционирования на базе 5-ти линейного 3-ех позиционного распределителя

Алгоритм №1

Фазы движения	T_1	T_2	T_3	R
разгон	1	0	0	0
грубое торможение	0	1	1	0
отслеживание линии переключения	0	1	1	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$
фиксация	1	0	0	0

Алгоритм №2

Фазы движения	T_1	T_2	T_3	R
разгон	1	0	0	0
грубое торможение	0	1	0	0
отслеживание линии переключения	0	0	0	$\frac{1 - \text{sign}U}{2}$
фиксация	0	0	0	0

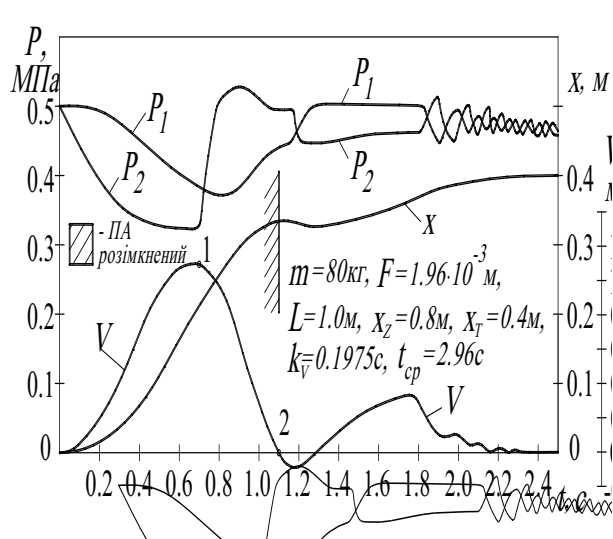


Рис.6. Переходной процесс для ПП с алгоритмом № 1

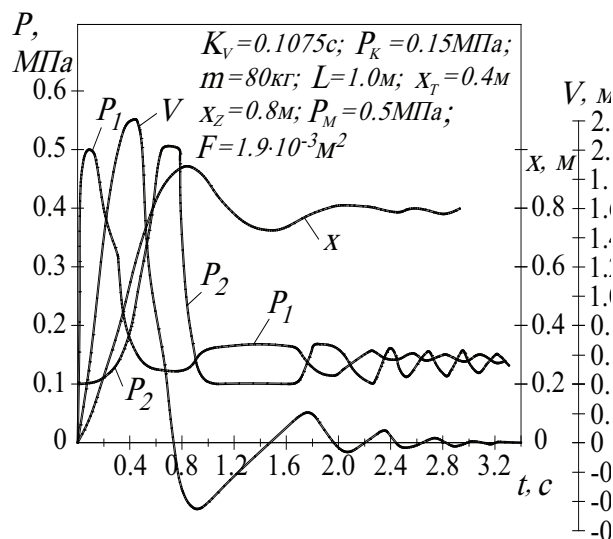


Рис. 7. Переходной процесс для ПП с алгоритмом № 2

Контур питания пневмомодуля на рис. 5 включает в себя три стабилизированных уравнения давления p_m , p_k и p_a . Причём $p_m > p_k > p_a$. Схема обеспечивает около десяти алгоритмов позиционирования, два из которых представлены в виде таблицы включения электромагнитов пневмораспределителей. При реализации алгоритма № 1 давление настройки p_k редукционного клапана КР2 выбирается близким к магистральному давлению p_m . Достоинство этого алгоритма – жёсткая отработка линии переключения ввиду того, что в этом случае пневмоцилиндр обладает наивысшей пневматической жёсткостью [1].

При реализации алгоритма № 2 давление p_k выбирается близким к атмосферному и реализуется энергосберегающий режим работы (рис. 7).

На рис. 8 показан процесс самообучения, в результате которого за 5 опытов достигается заданная точность позиционирования и процесс становится двухэтапным. Переход к двухэтапному процессу позиционирования, в свою очередь, снижает время позиционирования в 2÷2,5 раза (в данном случае от 2,96 с до 1,27 с).

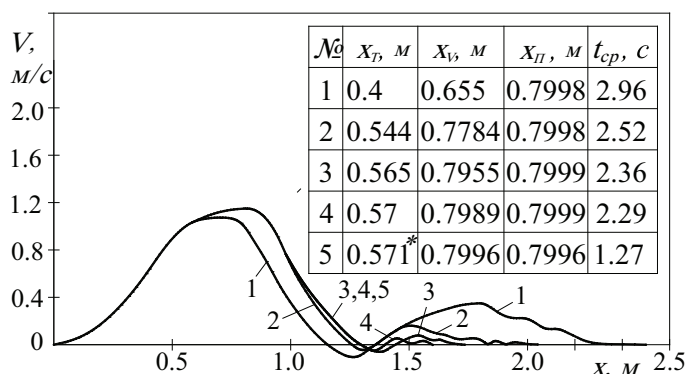


Рис. 8. Процесс самообучения для ПП с алгоритмом № 1

Результаты исследований процесса позиционирования на опытном макете ПП, работающем по схеме на рис. 5 с алгоритмом № 1 представлены на рис. 9. После осуществления тестирования (достигалась ошибка позиционирования $|\varepsilon| = 0,1$ мм) проводилось исследование разброса ошибки в результате 50 рабочих ходов. В одном случае механизм коррекции отключался (рис. 9 а), в другом случае механизм коррекции (адаптации) был включён (рис. 9б).

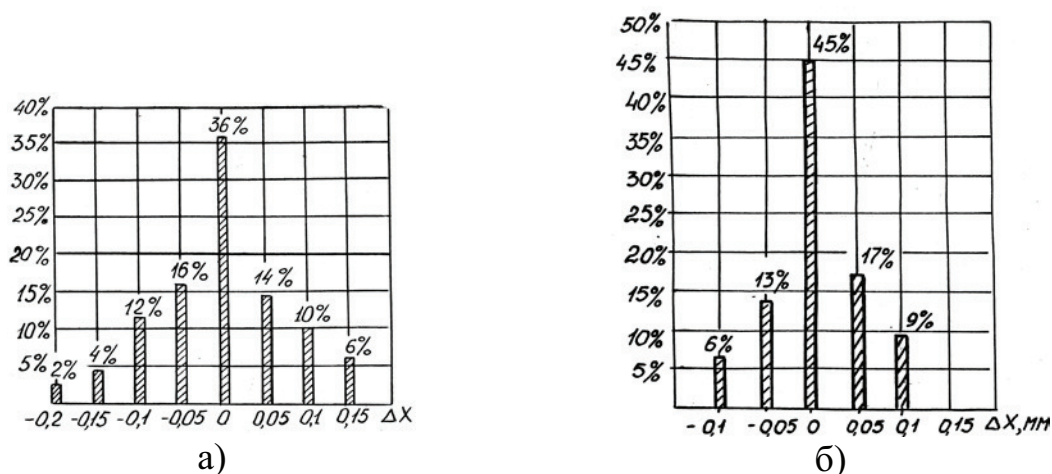


Рис. 9. Функция распределения ошибки позиционирования при $x_Z = 800$ мм для ПП без рабочей коррекции (а) и с рабочей коррекцией (б)

Как видно из графиков, во втором случае система эффективно парирует первичные ошибки, связанные, прежде всего, с нестабильностью работы пневмораспределителей и жёстко удерживает полосу рассеивания ошибки $2|\Delta y| = 0,2$ мм.

Список литературы

1. Крутиков Г.А. Расчёт параметров движения дискретного пневмоагрегата на основе его упруго-вязкостной модели / Г.А. Крутиков, М.Г. Стрижак. – Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2011, № 6/7(54). – С. 47–50.