

УДК 621.757

А.П. Васютенко, доцент, канд. техн. наук**Л.В. Недобой, ассистент****В.А. Губарев, инженер***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: ps@sevgtu14.sebastopol.ua***ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА БАЗЕ ИНТЕГРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА**

Приводится схема измерительного преобразователя, зависимость, описывающая его статическую характеристику, анализ составляющих погрешности измерения и методика определения и расчета коэффициентов влияния и суммарной погрешности измерения.

Пневматические средства измерения широко используются для контроля размеров и формы деталей как в процессе их изготовления, так и после обработки. В качестве вторичных преобразователей в измерительных устройствах применяются сильфонные и мембранные, формирующие на выходе дискретный электрический сигнал [1]. При решении задач активного контроля размеров деталей и регулирования процесса их обработки возникает необходимость получения сигнала измерительной информации в цифровой форме, удобной для дальнейшей обработки, выполнения логических и вычислительных операций.

Целью работы является исследование точности пневматического преобразователя линейных перемещений, построенного на базе интегрирующего устройства, анализ составляющих и определение суммарной погрешности измерения.

В работе [2] рассмотрена схема (рисунок 1) измерительного преобразователя с пневматическим аналоговым интегратором, реализующим зависимость $H_2 = \frac{1}{\Theta} \int_0^t H_1 dt$, где H_1 и H_2 – давление на входе и выходе интегратора; t – время; Θ – постоянная времени интегратора.

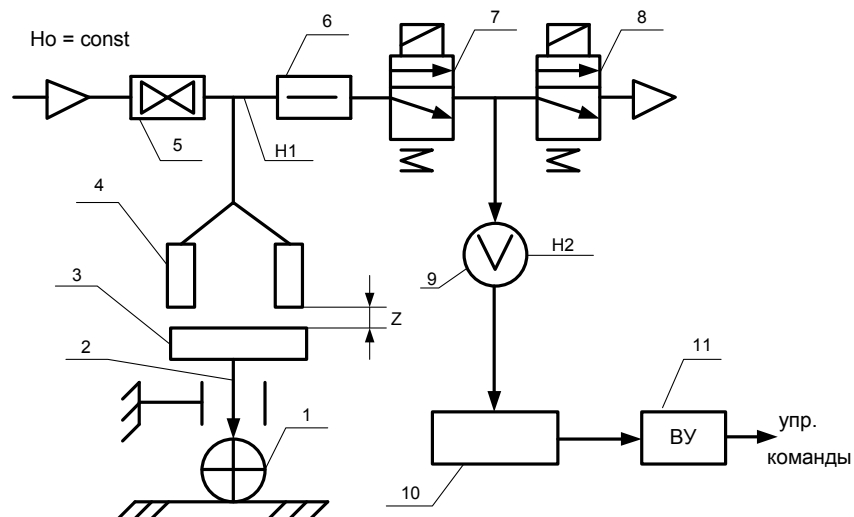


Рисунок 1 – Измерительный преобразователь с пневматическим аналоговым интегратором:

- 1 – деталь; 2 – шток; 3 – заслонка; 4 – измерительное сопло; 5 – входное сопло;
6 – сопротивление интегратора; 7 – входной пневмоклапан; 8 – клапан сброса давления;
9 – пневмокамера; 10 – реле давления; 11 – вычислительное устройство

Принцип действия преобразователя заключается в измерении времен заполнения пневмокамеры 9 с помощью реле давления воздуха 10 при открытом клапане 7. Время заполнения камеры 9 при $V = \text{const}$ до давления H_2 зависит от измерительного давления воздуха H_1 , являющегося функцией зазора z между измерительным соплом 4 и заслонкой 3

$$H_1 = \frac{H_0}{1 + 16 \left(\frac{d_2}{d_1^2} \right)^2 z^2}, \quad (1)$$

где d_1 – диаметр входного сопла, d_2 – диаметр измерительного сопла.

Дифференциальное уравнение глухой пневматической камеры 3 (рисунок 1) с линейным входным сопротивлением имеет вид:

$$\Theta \left(\frac{dH_2}{dt} \right) + H_2 = H_1. \quad (2)$$

После интегрирования уравнения (2) при увеличении входного давления скачком от нуля до H_1 получим выражение

$$H_2 = H_1 (1 - e^{-t/\Theta}). \quad (3)$$

Подставим в выражение (3) значение H_1 согласно (1), проведем преобразование и получим зависимость между зазором z и временем переходного процесса t

$$z = \frac{d_1^2}{4d_2} \sqrt{\frac{H_0}{H_2} (1 - e^{-t/\Theta}) - 1}. \quad (4)$$

Анализ зависимости (4), описывающей статическую характеристику преобразователя, позволяет выделить основные составляющие погрешности измерения:

- погрешность срабатывания реле давления 10, определяющего величину давления H_2 в пневмокамере 9;
- погрешность стабилизатора давления воздуха ΔH_0 ;
- погрешность измерения времени заполнения пневмокамеры Δt ;
- погрешность постоянной времени апериодического пневматического звена $\Delta \Theta$, связанная с колебанием объема пневмокамеры и проводимостью сопротивления 6;
- погрешность изготовления входного сопла 5 (Δd_1);
- погрешность изготовления измерительного сопла 4 (Δd_2).

Количественно составляющая погрешности измерения Δq определяется произведением первичной ошибки q и коэффициента влияния KB_q этой ошибки

$$\Delta q = KB_q \cdot q. \quad (5)$$

Коэффициент влияния данной первичной ошибки определяется как частная производная погрешности измерения Δ по параметру q . Определим коэффициенты влияния ошибок ΔH_0 ; ΔH_2 ; Δt ; Δd_1 ; Δd_2 и $\Delta \Theta$, дифференцируя уравнение (4) в частных производных и заменяя дифференциалы конечными приращениями

$$\Delta z = \frac{\partial z}{\partial H_0} \Delta H_0 + \frac{\partial z}{\partial H_2} \Delta H_2 + \frac{\partial z}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial z}{\partial d_1} \Delta d_1 + \frac{\partial z}{\partial d_2} \Delta d_2 + \frac{\partial z}{\partial \Theta} \Delta \Theta, \quad (6)$$

где

$$\frac{\partial z}{\partial H_0} = KB_{H_0} = \frac{d_1^2 (1 - e^{-t/\Theta})}{8d_2 H_2 \sqrt{\frac{H_0 (1 - e^{-t/\Theta})}{H_2} - 1}}; \quad \frac{\partial z}{\partial H_2} = KB_{H_2} = \frac{d_1^2 H_0 (1 - e^{-t/\Theta})}{8d_2 H_2^2 \sqrt{\frac{H_0 (1 - e^{-t/\Theta})}{H_2} - 1}};$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = KB_t = \frac{d_1^2 H_0 e^{-t/\Theta}}{8d_2 H_2 \Theta \sqrt{\frac{H_0 (1 - e^{-t/\Theta})}{H_2} - 1}}; \quad \frac{\partial z}{\partial d_1} = KB_{d_1} = \frac{d_1 \sqrt{\frac{H_0 (1 - e^{-t/\Theta})}{H_2} - 1}}{2d_2};$$

$$\frac{\partial z}{\partial d_2} = KB_{d_2} = \frac{d_1^2 \sqrt{\frac{H_0 (1 - e^{-t/\Theta})}{H_2} - 1}}{2d_2^2}; \quad \frac{\partial z}{\partial \Theta} = KB_{\Theta} = -\frac{d_1^2 H_0 e^{-t/\Theta}}{8d_2 H_2 \Theta^2 \sqrt{\frac{H_0 (1 - e^{-t/\Theta})}{H_2} - 1}}.$$

Числовые значения первичных ошибок q принимались согласно техническим условиям пневматических приборов, которые приведены в отраслевых руководящих материалах «Проектирование пневматических устройств для линейных измерений БВ–ОРТМ–32–72». Расчетные значения коэффициентов влияния согласно (6) и составляющих погрешностей измерения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значение коэффициентов влияния

Первичные ошибки			Коэффициенты влияния		Предельная погрешность Δi , мм
Наименование	Обозначение	Числовое значение	Обозначение	Числовое значение	
Погрешность срабатывания реле давления	ΔH_2	0,001, МПа	KB_{H_2}	$-3,8, \frac{мм}{МПа}$	$-3,8 \cdot 10^{-3}$
Погрешность стабилизатора давления	ΔH_0	0,001, МПа	KB_{H_0}	$0,75, \frac{мм}{МПа}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$
Время заполнения камеры	Δt	0,001, с	KB_t	$0,01, \frac{мм}{МПа}$	10^{-5}
Погрешность постоянной времени апериодического звена	$\Delta \Theta$	0,001, с	KB_{Θ}	$-0,35, \frac{мм}{с}$	$-3,5 \cdot 10^{-4}$
Погрешность изготовления входного сопла	Δd_1	0,01, мм	KB_{d_1}	0,3	$3 \cdot 10^{-3}$
Погрешность изготовления измерительного сопла	Δd_2	0,01, мм	KB_{d_2}	-0,1	-10^{-3}

Суммарная погрешность измерения определяется из выражения

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n M_i \pm 2 \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}, \quad (7)$$

где M_i – систематические составляющие погрешности измерения; $\sigma_i = \frac{\Delta i}{2}$ – случайные составляющие погрешности измерения.

Для исследуемого пневматического преобразователя в качестве систематических составляющих можно рассматривать погрешности, связанные с неточностью изготовления интегратора ($\Delta \Theta$) и диаметров сопел (Δd_1 и Δd_2). Тогда выражение (7) переписывается в виде:

$$\Delta_{\Sigma} = M_{\Theta} + M_{d_1} + M_{d_2} \pm 2 \sqrt{\sigma_{H_2}^2 + \sigma_{H_0}^2 + \sigma_t^2}. \quad (8)$$

После подстановки числовых значений погрешностей в формулу (8) имеем:

$$\Delta_{\Sigma} = -3,5 \cdot 10^{-4} + 3 \cdot 10^{-3} - 10^{-3} \pm 2 \sqrt{(1,6 \cdot 10^{-3})^2 + (3,8 \cdot 10^{-4})^2 + (10^{-5})^2} = (1,65 \pm 3,3) \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

Таким образом, получаем:

$$\Delta_{\Sigma_{\max}} = 4,95 \text{ мкм}; \quad \Delta_{\Sigma_{\min}} = -1,65 \text{ мкм}.$$

Анализ погрешностей показывает, что доминирующей составляющей является погрешность срабатывания реле давления воздуха. В дальнейшем представляет интерес исследовать характеристики различных моделей реле давления и определить способ снижения величины этой погрешности.

Библиографический список

1. Педь Е.И. Активный контроль в машиностроении: справочное пособие / Е.И. Педь, А.В. Высоцкий, В.М. Машинистов. — М.: Машиностроение, 1975. — 336 с.
2. Васютенко А.П. Пневматический измерительный преобразователь на базе интегрирующего устройства разомкнутого типа / А.П. Васютенко, О.В. Филипович, Л.В. Недобой // Оптимизация производственных процессов: сб. науч. тр. — Севастополь, 2007. — Вып. 10. — С. 86–90.

Поступила в редакцию 23.07.2008 г.