

УДК 681.2.08

**А.П. Васютенко, доцент, канд. техн. наук, О.В. Филипович, доцент, канд. техн. наук,
Л.В. Недобой, магистр, И.В. Дементьева, магистрант**

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: ps@sevgtu14.sebastopol.ua

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НА БАЗЕ ИНТЕГРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА РАЗОМКНУТОГО ТИПА

Приведена схема измерительного преобразователя с пневматическим аналоговым интегратором, теоретическое обоснование принципа измерения, рассмотрены результаты моделирования статических характеристик с целью определения оптимальных параметров преобразователя.

В приборах активного контроля линейных размеров деталей и контрольно-сортировочных автоматах широко используются пневматические преобразователи, обеспечивающие малые габаритные размеры измерительной оснастки, что важно при многопараметрическом контроле, высокую точность измерения, простоту конструкции и надежность в эксплуатации [1]. В качестве отсчетных устройств, как правило, используются сильфонные или мембранные пневмоэлектроконтактные преобразователи, обеспечивающие формирование либо двух, либо четырех управляющих команд. Для получения аналогового выходного электрического сигнала измерительная схема усложняется за счет использования комбинированного пневмоиндуктивного преобразователя, что приводит к значительному удорожанию конструкции.

В настоящее время разработаны и применяются аналоговые пневматические интеграторы с интегрированием входного сигнала по времени. Такие устройства реализуют зависимость [2]

$$H_{\text{вых}} = \frac{1}{\Theta \int_0^t H_{\text{вх}} dt}, \quad (1)$$

где $H_{\text{вх}}$ и $H_{\text{вых}}$ – давление на входе и выходе интегратора; t – время; Θ – постоянная времени интегратора.

Величина $H_{\text{вх}}$ может произвольно изменяться во времени, причем время является независимой переменной. Простейшим интегрирующим устройством разомкнутого типа является глухая пневматическая камера с ламинарным пневматическим сопротивлением R на входе (рисунок 1).

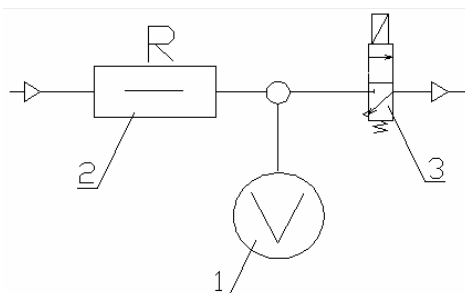


Рисунок 1 – Схема интегрирующего устройства разомкнутого типа

Целью статьи является разработка схемы измерительного преобразователя с пневматическим аналоговым интегратором и анализ его характеристик. Указанная пневматическая измерительная система предназначена для контроля линейных размеров, ее структурная схема изображена на рисунке 2.

Система включает в себя блок подготовки воздуха 1, состоящий из фильтра 2, регулятора-стабилизатора давления воздуха 3 и манометра 4, клапан с электромагнитным управлением 5, ламинарное пневмосопротивление 6, входное сопло 7, измерительное сопло 8 с заслонкой 9 и глухую пневматическую камеру 10.

Для обеспечения выработки, преобразования сигнала измерительной информации и формирования управляющих команд, измерительная система снабжена электронным блоком, состоящим из измерительного преобразователя давления воздуха 11, реле времени 12, генератора 13, устройства управления 14, вычислительного устройства 15, отчетного устройства 16, устройства сравнения 17 и задатчика 18.

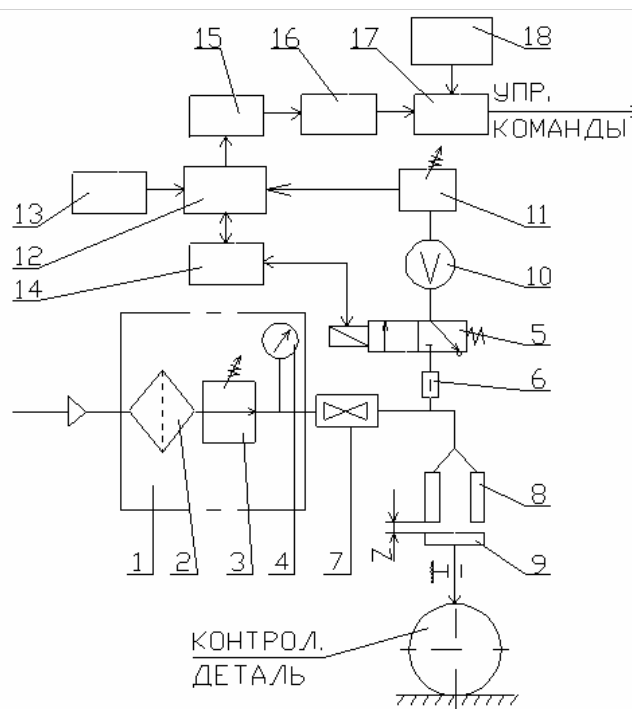


Рисунок 2 – Схема пневматической измерительной системы

Принцип действия измерительной системы заключается в следующем. Воздух от пневмосети подается на блок фильтра 2 со стабилизатором – регулятором давления 3. Величина рабочего давления отсчитывается по манометру 4. Клапан с электромагнитным управлением 5 работает в соответствии с циклом, задаваемым устройством управления 14. От стабилизатора давления 3 воздух поступает через входное сопло 7 к измерительному соплу 8. В зависимости от диаметра контролируемой детали между торцом сопла 8 и заслонкой 9 устанавливается соответствующий зазор Z. Величина зазора Z определяет значение пневматического сопротивления измерительного сопла 8 и давления воздуха в измерительной ветви.

При закрытом клапане 5 давление воздуха в пневмокамере 10 равно атмосферному (избыточное давление равно нулю). В момент подачи электрического сигнала с блока управления 14 клапан 5 открывается и давление на выходе сопла 6 скачкообразно изменяется от нуля до значения h . При этом давление воздуха в глухой пневмокамере постоянного объема 10 начнет нарастать со скоростью, величина которой зависит от зазора Z между измерительным соплом 8 и заслонкой 9.

Датчик давления 11 настроен на определенную величину давления воздуха, и при достижении этого давления в пневмокамере 10 он подает сигнал на реле времени 12. Время между включением клапана 5 и срабатыванием датчика 11 зависит от зазора $t = f(Z)$. Реле времени включается от устройства управления 14, а выключается сигналом с датчика давления 11. Время переходного процесса в пневмокамере 10 передается в устройство 15, которое вычисляет значение отклонения диаметра детали от размера рабочего эталона, по которому предварительно была настроена измерительная система. Найденное значение измеряемой величины отображается на панели отсчетного устройства 16 и поступает в устройство 17, где сравнивается с заданными значениями, соответствующими границам поля допуска контролируемого параметра или границам подналадки и уровням управляющих процессом обработки команд.

Пневматическая схема измерительной системы включает в себя последовательно соединенные входное 1 и измерительное 2 сопла, глухую пневмокамеру 3 с установленным на ее входе ламинарным пневмосопротивлением 4 и электромагнитный клапан со сбросом в атмосферу (рисунок 3).

Давление воздуха H_1 в измерительной ветви связано рабочим давлением воздуха H_0 , диаметром входного сопла 1 и зазором Z между торцом измерительного сопла 2 и заслонкой зависимостью

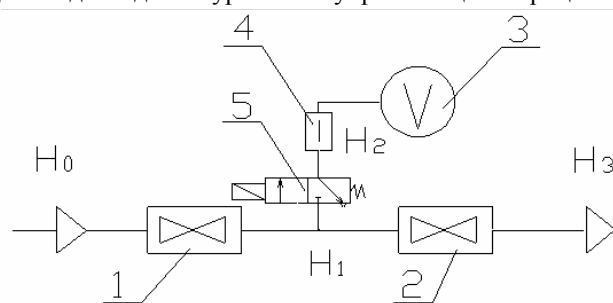


Рисунок 3 – Пневматическая схема измерительной системы

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

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

Выражение (1) для пневматического интегрирующего устройства с учетом принятых на рисунке 3 обозначений может быть представлено в виде

$$H_2 = \frac{t}{\Theta} \int_0^t H_1 dt. \quad (3)$$

Дифференциальное уравнение глухой пневматической камеры с линейным входным сопротивлением имеет вид

$$\Theta \left(\frac{dH_2}{dt} \right) + H_1 = H_{20}. \quad (4)$$

Постоянная времени Θ аperiodического звена определяется согласно выражения

$$\Theta = \frac{V}{RTK_1}, \quad (5)$$

где V – объем пневмокамеры; R – газовая постоянная; T – температура воздуха; K_1 – проводимость пневматического сопротивления, которая определяется соотношением

$$K_1 = \frac{\pi \rho d_4^4}{128 \eta l_4}.$$

Здесь ρ – плотность воздуха; d_4 – диаметр пневмосопротивления; η – динамический коэффициент вязкости воздуха.

Интегралом уравнения (3) при увеличении входного давления воздуха скачком от нуля до H_1 является выражение

$$H_2 = H_1 (1 - e^{-t/\Theta}). \quad (6)$$

Подставив в выражение (6) значение H_1 согласно (2), получим

$$H_2 = \frac{H_0}{1 + 16 \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 \cdot Z^2} (1 - e^{-t/\Theta}). \quad (7)$$

После преобразования можно найти взаимосвязь между зазором Z и временем переходного процесса в глухой пневмокамере постоянного объема при известных значениях диаметров d_1 и d_2 входного и измерительного сопел и рабочего давления воздуха H_0

$$Z = \frac{1}{4 \frac{d_2}{d_1^2}} \sqrt{\frac{H_0}{H_2} (1 - e^{-t/\Theta}) - 1}. \quad (8)$$

Подставив в (8) выражение (5), получим

$$Z = \frac{1}{4 \frac{d_2}{d_1^2}} \sqrt{\frac{H_0}{H_2} \left(1 - e^{-\frac{\pi R T \rho d_4^4 t}{128 \eta V l_4}} \right) - 1}. \quad (9)$$

При решении задач автоматизации контроля в машино-приборостроении возникает необходимость в создании измерительного устройства как с малым диапазоном измерения и высокой чувствительностью (например, для контрольно-сортировочных автоматов), так и устройств с широким диапазоном измерения для приборов активного контроля. Поэтому при моделировании статических характеристик преобразователя рассматривались сочетания параметров H_0 , H_2 , d_1 , d_2 , d_4 , Θ . На рисунках 4 и 5 показаны статические характеристики преобразователя.

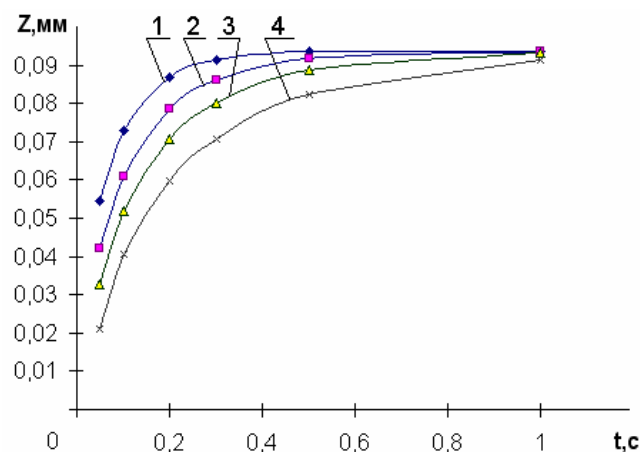


Рисунок 4 – Графическая зависимость зазора Z от времени при диаметре сопла $d_1 = 0,5$ мм: 1) $Q = 0,096$; 2) $Q = 0,152$; 3) $Q = 0,213$; 4) $Q = 0,319$

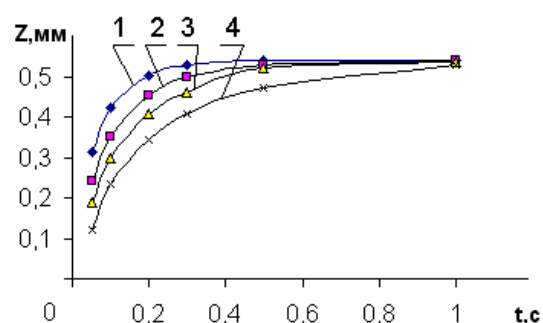


Рисунок 5 – Графическая зависимость зазора Z от времени при диаметре сопла $d_1 = 1,2$ мм: 1) $Q = 0,096$; 2) $Q = 0,152$; 3) $Q = 0,213$; 4) $Q = 0,319$

По графикам статических характеристик преобразователя определены прямолинейные участки характеристик для различных значений постоянной времени Θ . На рисунках 6 и 7 показаны зависимости прямолинейного участка ΔZ от диаметра входного сопла d_1 для постоянных времени $\Theta = 0,152$ с (рисунок 6) и $\Theta = 0,319$ с (рисунок 7).

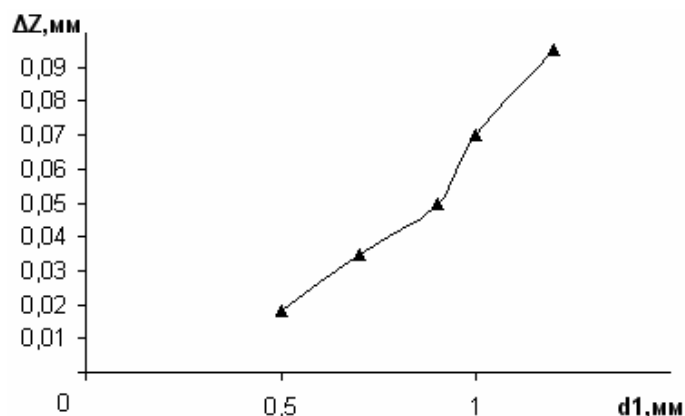


Рисунок 6 – Зависимость прямолинейного участка ΔZ от диаметра входного сопла d_1 при постоянной времени $\Theta = 0,152$ с

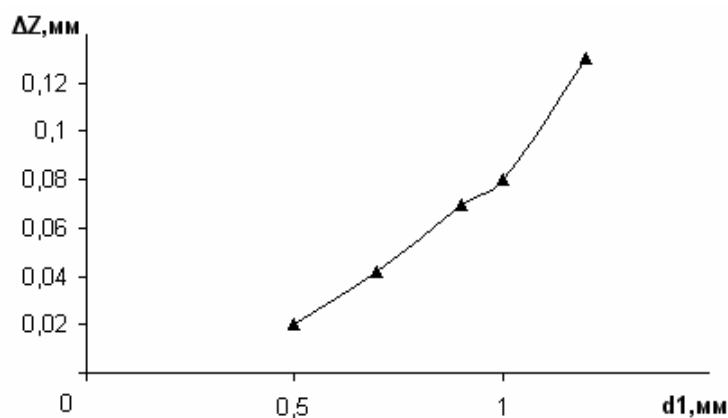


Рисунок 7 – Зависимость прямолинейного участка ΔZ от диаметра входного сопла d_1 при постоянной времени $\Theta = 0,319$ с

Из графиков видно, что величина прямолинейного участка характеристики лежит в пределах 0,02...0,14 мм, что отвечает задачам, решаемым как контрольно-сортировочными автоматами, так и приборами активного контроля. Чувствительность преобразователя находится в пределах

0,008...0,08 с/мкм. В предлагаемой схеме пневматического измерительного преобразователя измеряемая величина преобразуется в интервал времени и полученный сигнал измерительной информации может обрабатываться системой, построенной на современной элементной базе.

В дальнейшем представляет интерес проанализировать составляющие и определить суммарную погрешность измерения, а также оптимальное соотношение объема пневмокамеры и значения постоянной времени с учетом динамических характеристик измерительной системы.

Библиографический список

1. Педь Е.И. Активный контроль в машиностроении: справ. пособие / Е.И. Педь, А.В. Высоцкий, В.М. Машинистов. — М.: Машиностроение, 1975. — 336 с.
2. Ибрагимов И.Л. Элементы и системы пневмоавтоматики / И.Л. Ибрагимов, П.В. Илясов. — М.: Высш. шк., 1975 — 500 с.

Поступила в редакцию 7.09.2007 г.