

УДК 681.5.08

А. А. Плешаков, аспирант,

Научный руководитель: **М. Г. Кристаль**, д.т.н., проф., Волгоградский государственный технический университет

E-mail: akrense@yandex.ru

Сравнительный анализ схем измерения линейных размеров в пневмоэлектронных средствах контроля

В работе изложена сущность схем измерения линейных размеров с применением прямого и интегрального типов временного преобразования измерительного сигнала в пневмоэлектронных средствах контроля. Отражены результаты аналитического исследования чувствительности предложенных схем.

***Ключевые слова:** измерение линейных размеров, измерение диаметра, пневматическое устройство, временное преобразование.*

A. A. Pleshakov, M. G. Kristal

Comparative Analysis of Dimensional Gauging Schemes for Pneumo-Electronic Control Devices

Given paper covers dimension gauging schemes with direct and integral types of gauging signal temporal conversion, used to increase the sensitivity of pneumo-electronic gauging devices. Paper also reflects the results of analytic research of the sensitivity of proposed schemes' performance.

***Keywords:** linear measurement, diameter measurement, pneumatic device, temporal conversion.*

1. Введение

Наиболее распространенная технология изготовления бурового породоразрушающего инструмента, вооруженного твердосплавными зубками с цилиндрическим хвостовиком, в том числе буровых коронок типа КНШ, предполагает запрессовку зубков в отверстия в корпусе инструмента. При этом для обеспечения рациональной величины натяга применяют метод групповой взаимозаменяемости. Зубки и отверстия

измеряют и сортируют на селективные группы по величине диаметра. На ряде предприятий, изготавливающих буровые коронки типа КНШ, количество таких измерений достигает трех тысяч в смену. Это обуславливает актуальность разработки автоматических контрольно-сортировочных устройств.

Для измерения зубков в цеховых условиях целесообразно использовать устройства, в основе работы которых лежит пневматический принцип измерения, так как пневматические средства измерения нечувствительны к электромагнитным полям, к вибрациям и ударным воздействиям.

Групповой допуск на диаметр хвостовика твердосплавного зубка составляет, как правило, 5 мкм. Для измерения деталей с таким групповым допуском целесообразно использовать средства измерений, допустимая погрешность измерения которых не превышает 10% величины группового допуска, то есть составляет 0,5 мкм.

2. Схемы измерения линейных размеров с применением прямого и интегрального типов временного преобразования измерительного сигнала

2.1. Прямой тип временного преобразования

Известна схема (рис. 1) измерения линейных размеров с применением временного преобразования измерительного сигнала прямого типа [1, 2, 3], посредством которой осуществляется преобразование размера контролируемой детали в величину временного интервала опустошения пневматической камеры.

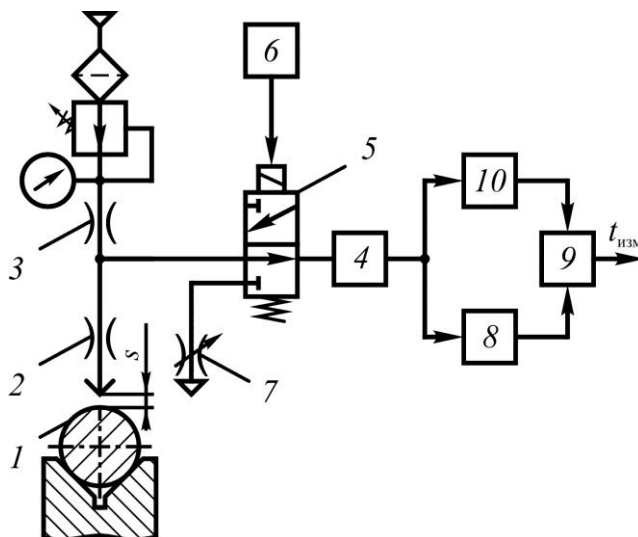


Рис. 1. Схема измерения линейных размеров с применением временного преобразования измерительного сигнала прямого типа, где

1 – деталь, 2 – измерительное сопло, 3 – входное сопло, 4 – преобразователь давления, 5 – электропневматический распределитель, 6 – блок управления, 7 – дроссель, 8 – дифференцирующий элемент, 9 – таймер, 10 – компаратор

Измерение осуществляется следующим образом. Деталь 1 поступает на измерительную позицию. Между поверхностью детали 1 и торцом измерительного сопла 2 образуется измерительный зазор s , величина которого зависит от размера детали. Первичное преобразование величины s в величину $p_{\text{изм}}$ измерительного давления осуществляется посредством первичного преобразователя, состоящего из входного 3 и измерительного 2 сопел и измерительной камеры между ними. Сжатый воздух рабочего давления p_p поступает в измерительную камеру от источника через стабилизатор и входное сопло 3 и истекает в атмосферу через измерительный зазор. Между величиной $p_{\text{ик}}$ давления в измерительной камере и величиной s измерительного зазора существует зависимость $p_{\text{ик}} = f(s)$, обусловленная тем, что величина s влияет на величину пневматического сопротивления выходного дросселя (измерительное сопло/измерительный зазор) и, следовательно, на величину G расхода воздуха.

Измерительная камера соединена с рабочей камерой преобразователя давления 4 посредством электропневматического распределителя 5. Величина $p(t)$ давления в камере преобразователя давления 4 преобразуется в величину $u(t)$ напряжения на выходе преобразователя. После поступления детали 1 на измерительную позицию $p = p_{\text{ик}} = p_{\text{изм}}$ и $u = u_{\text{изм}}$.

Блок управления 6 подает сигнал $u_{\text{пуск}}$ пуска устройства на распределитель 5, переключая его в позицию, при которой камера преобразователя давления 4 изолируется от измерительной камеры и соединяется с атмосферой посредством дросселя 7 с постоянной величиной f площади выходного сечения. Сжатый воздух начинает истекать в атмосферу из камеры преобразователя давления, величина $p(t)$ давления в ней начинает уменьшаться от $p_{\text{изм}}$ до величины $p_{\text{атм}}$ атмосферного давления, а величина $u(t)$ – от $u_{\text{изм}}$ до $u_{\text{атм}}$.

Электропневматический распределитель 5 переключается между позициями за некоторое время t_p . Величина t_p зависит от многих факторов и является случайной. Поскольку для измерения осуществляет преобразование величины $p_{\text{изм}}$ во временной интервал $t_{\text{изм}}$, величина t_p , определяющая запаздывание фактического переключения распределителя 5 от подачи блоком управления 6 пускового сигнала, является источником погрешности. Для компенсации этой схема оснащена дифференцирующим элементом 8 [4], который по скорости изменения сигнала $u(t)$ определяет момент действительного переключения распределителя 6 и подает сигнал u_d на таймер 9, который начинает отсчет времени.

Когда величина $p(t)$ уменьшается до порогового значения $p_{п}$, срабатывает компаратор 10, сравнивающий величину $u(t)$ с заранее заданной величиной $u_{п}$, соответствующей величине $p_{п}$. Компаратор подает сигнал $u_{к}$ остановки таймера 9.

Величина $t_{изм}$ временного интервала, измеренная посредством таймера 9, функционально связана с величиной s измерительного зазора и позволяет оценить диаметральный размер детали l на измерительной позиции.

На рис. 2 представлена временная диаграмма процесса измерения по схеме с применением временного преобразования измерительного сигнала прямого типа.

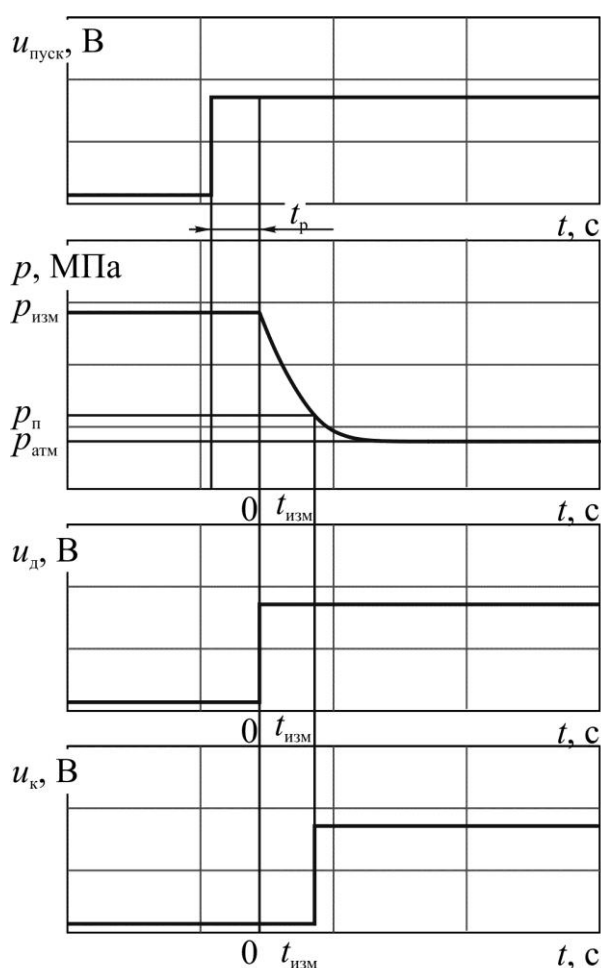


Рис. 2. Диаграмма процесса измерения с применением временного преобразования измерительного сигнала прямого типа

2.2. Временное преобразование интегрального типа

Нами предложено [5] для повышения чувствительности измерения использовать в качестве информативного параметра величину:

$F_{\text{изм}} = \int p(t)dt$, где $p(t)$ - функция изменения величины давления воздуха в камере преобразователя 4.

На рис. 3 представлена схема измерения линейных размеров с применением временного преобразования измерительного сигнала интегрального типа, дополнительно оснащенная интегрирующим 9 и запоминающим 10 элементами.

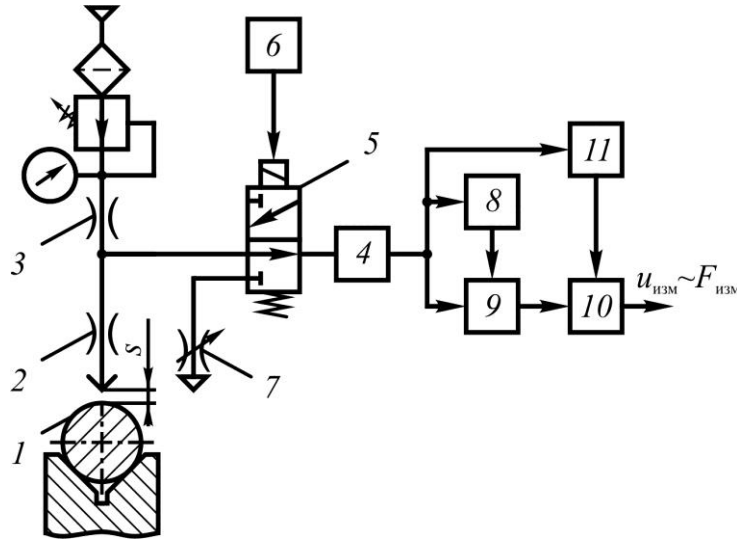


Рис. 3. Схема измерения линейных размеров с применением временного преобразования измерительного сигнала интегрального типа, где
 1 – деталь, 2 – измерительное сопло, 3 – входное сопло, 4 – преобразователь давления, 5 – электропневматический распределитель, 6 – блок управления, 7 – дроссель, 8 – дифференцирующий элемент, 9 – интегрирующий элемент, 10 – запоминающий элемент, 11 – компаратор

Измерение осуществляется аналогично предыдущей схеме, однако, дифференцирующий элемент 8 после фактического переключения распределителя 5 подает сигнал u_d на интегрирующий элемент 9, который начинает интегрировать сигнал $u(t)$ по времени. На выходе интегрирующего элемента 9 появляется нарастающий сигнал $u_{\text{инт}}(t)$, который поступает на запоминающий элемент 10. Когда величина $p(t)$ уменьшается до порогового значения $p_{\text{п}}$, компаратор 11 подает сигнал $u_{\text{к}}$ на запоминающий элемент 10, в память которого заносится значение $u_{\text{изм}}$, величина которого пропорциональна величине $F_{\text{изм}}$, функционально связанной с величиной s измерительного зазора и позволяющей оценить размер детали 1 на измерительной позиции.

На рис. 4 представлена временная диаграмма процесса измерения по схеме с применением временного преобразования измерительного сигнала интегрального типа.

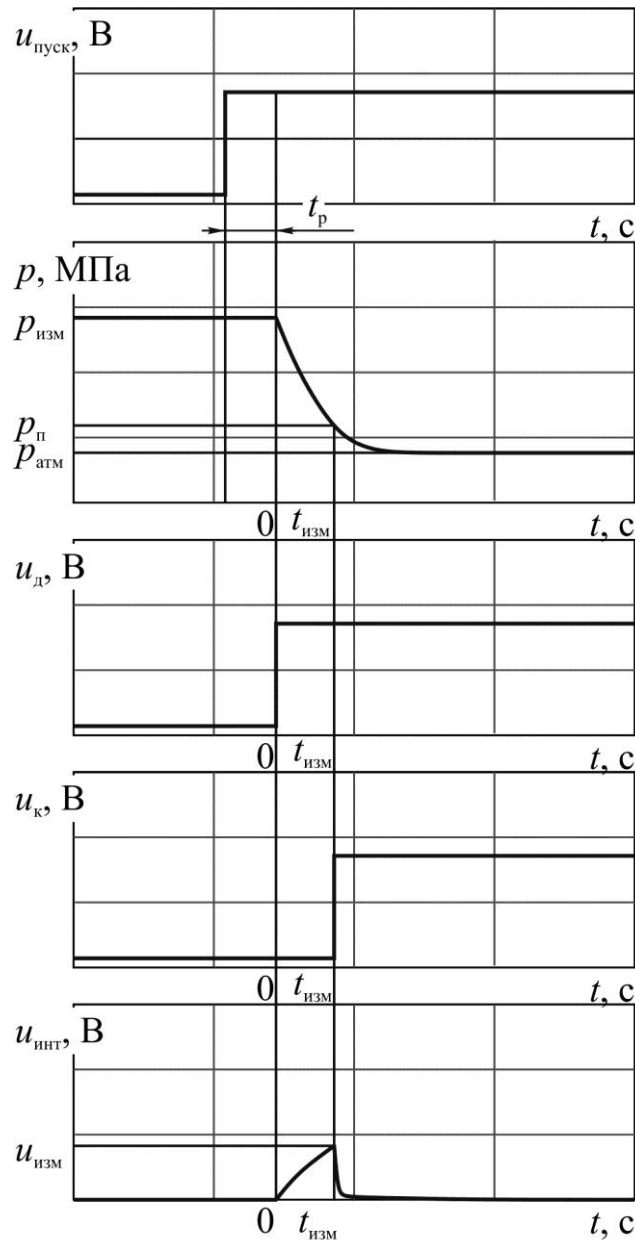


Рис. 4. Диаграмма процесса измерения с применением временного преобразования измерительного сигнала интегрального типа

3. Сравнительный анализ чувствительности предложенных схем

Оценим чувствительность рассмотренных схем измерения.

Согласно [6], зависимость $p_{изм} = f(s)$ может быть описана уравнением:

$$p_{изм} = \frac{p_p - p_{атм}}{1 + 16d_2^2 s^2 / d_1^4} + p_{атм}, \quad (1)$$

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

Изменение величины $p(t)$ в процессе опустошения камеры преобразователя давления 4 объемом V при условии постоянства температуры T в камере и во внешней среде описывается уравнением [7]:

$$\frac{V}{RT} \frac{dp}{dt} = -G, \quad (2)$$

где R – удельная газовая постоянная для сухого воздуха. Величину расхода G определяем из выражения:

$$G = \varepsilon f \sqrt{\frac{2g}{R}} \sqrt{\frac{p_{\text{атм}} p}{T}}, \quad (3)$$

где ε – коэффициент расхода воздуха, g – ускорение свободного падения.

Согласно [8], коэффициент расхода воздуха $\varepsilon = 1/\sqrt{1+\xi}$, где ξ – коэффициент сопротивления.

Подставляя выражение (3) в (1), получаем уравнение изменения давления:

$$\frac{dp}{dt} = af \sqrt{p - p_{\text{атм}}}, \quad (4)$$

где $a = -\frac{\varepsilon}{V} \sqrt{2RgTp_{\text{атм}}}$.

Тогда решая уравнение (4), получаем выражение:

$$p(t) = \frac{1}{4} a^2 f^2 t^2 + a f t \sqrt{p_{\text{изм}} - p_{\text{атм}}} + p_{\text{изм}}, \quad (5)$$

где t – время, прошедшее с момента включения таймера дифференцирующим элементом.

Величину $t_{\text{изм}}$ определяем, решая уравнение (5) относительно t при условии, что $p(t_{\text{изм}}) = p_{\text{атм}}$:

$$t_{\text{изм}} = \frac{2 \cdot (\sqrt{p_{\text{изм}} - p_{\text{атм}}})}{af}. \quad (6)$$

Подставляя в выражение (6) зависимость (1) получаем статическую характеристику $t_{\text{изм}} = f(s)$ схемы измерения с прямым временным преобразованием линейного размера.

Интегрируя выражение (5) от $t=0$ до $t=t_{\text{изм}}$, получаем:

$$F_{\text{изм}} = \frac{1}{12} a^2 f t_{\text{изм}}^3 + \frac{1}{2} af \sqrt{p_{\text{изм}} - p_{\text{атм}}} t_{\text{изм}}^2 + p_{\text{изм}} t_{\text{изм}}, \quad (7)$$

С учетом выражения (7) и зависимостей (1) и (6) получаем статическую характеристику $F_{\text{изм}} = f(s)$ измерения по схеме интегрального временного преобразования.

Для сравнения рассмотренных схем измерения вычислим их относительную чувствительность. Для измерения по схеме прямого временного преобразования эту величину определим как:

$$S_t = \frac{1}{t_{\text{изм}}} \frac{dt_{\text{изм}}}{ds}.$$

Для измерения по схеме интегрального временного преобразования величину относительной чувствительности определим как:

$$S_F = \frac{1}{F_{\text{изм}}} \frac{dF_{\text{изм}}}{ds}.$$

График отношения S_F / S_t относительных чувствительностей рассматриваемых схем измерения приведен на рис. 5.

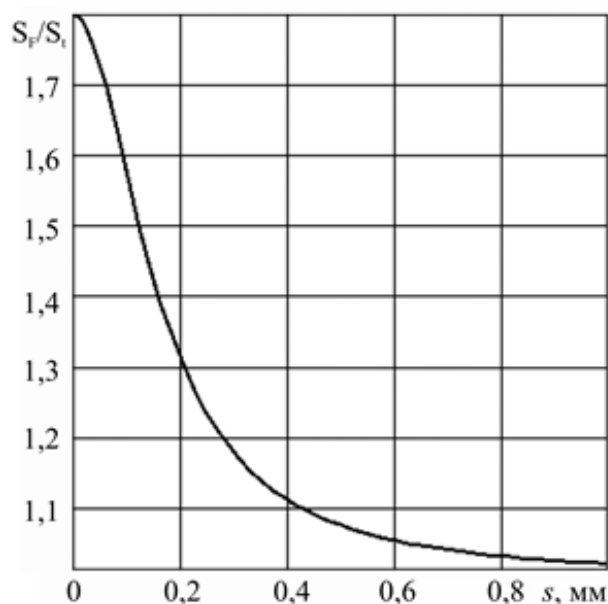


Рис. 5 – График отношения S_F / S_t относительных чувствительностей S_F и S_t схем измерения линейных размеров с применением временного преобразования измерительного сигнала прямого и интегрального типов

4. Заключение

Из рис. 5 видно, что чувствительность S_F измерения по схеме с применением временного преобразования интегрального типа выше чувствительности S_t измерения по схеме с применением временного преобразования прямого типа выше на всем диапазоне измерения, что свидетельствует о перспективности применения схемы измерения с применением временного преобразования интегрального типа. Предварительные испытания [9], проведенные с использованием лабораторного образца измерительного устройства, реализующего рассмотренные схемы, показали, что устройство позволяет обеспечить

измерение с предельно допустимой погрешностью, не превышающей 0,5 мкм. Это обуславливает целесообразность использования предложенных для измерения диаметров твердосплавных зубков буровых коронок типа КНШ с целью последующей их сортировки в селективные группы.

Список литературы

1. **А. с. 1019239 СССР, G01B13/00**, Пневматическое устройство для контроля и сортировки деталей по линейным размерам / Стефанюк Р.Ю., Сутин А.И, Волгоградский ор-дена Трудового Красного Знамени политехнический институт. – опубл. 23.05.83, Бюл. №19.

2. **Пат. 128315 Российская Федерация, МПК G01B13/00**. Пневматическое устройство для контроля и сортировки деталей по линейным размерам / Кристаль М.Г., Плешаков А.А., Стефанюк Р.Ю., Кулагин Р.Н., заявитель и патентообладатель ВолгГТУ. – опубл. 20.05.13, Бюл. №14.

3. **Кристаль М. Г.** Устройство для контроля размеров сопрягаемых поверхностей при сборке коронок для перфораторного бурения / М. Г. Кристаль, А. С. Гольцов, А. А. Плешаков [и др.]. // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2013. – № 3 –С. 3-5.

4. **Пат. 139662 Российская Федерация, МПК G01B13/00**. Пневматическое устройство для контроля и сортировки деталей по линейным размерам / Плешаков А.А., Кристаль М.Г., Горелова А.Ю., заявитель и патентообладатель ВолгГТУ. – опубл. 20.04.14, Бюл. №11.

5. **Пат. 148813 Российская Федерация, МПК G01B13/00**. Пневмоэлектронное устройство для контроля и сортировки деталей по линейным размерам / Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Кристаль М.Г., Кулагин Р.Н., заявитель и патентообладатель ВолгГТУ. – опубл. 20.12.14, Бюл. №35.

6. **Высоцкий А. В., Курочкин А. П.** Пневматические средства измерений линейных величин в машиностроении / А. В. Высоцкий, А. П. Курочкин. – М. : Машиностроение, 1979. – 206 с.

7. **Залманзон Л. А.** Аэрогидродинамические методы измерения входных параметров автоматических систем / Л. А. Залманзон. – М. : Наука, 1973. – 464 с.

8. **Залманзон Л. А.** Проточные элементы пневматических приборов контроля и управления / Залманзон Л. А. – М. : Издательство академии наук СССР, 1961. – 240 с.

9. **Плешаков, А.А.** Характеристики пневмоэлектронного модуля для контроля линейных размеров сопрягаемых деталей при селективной сборке / Плешаков А.А., Чан К.Т., Кристаль М.Г. // Technologia i automatyzacja montazu zespolow, maszyn i urzadzen. - 2014. - Nr. 3. - С. 25-28.