

## ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ АБСОЛЮТНОГО ДАВЛЕНИЯ

М.М. Мордасов, М.М. Голосницкая

*Кафедра «Управление качеством и сертификация», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»;  
lvlasha@yandex.ru*

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** измерение абсолютного давления; компрессионный метод; отбор пробы; пневматический преобразователь.

**Аннотация:** Рассмотрен компрессионный метод преобразования абсолютного давления в пропорциональную величину избыточного давления. Описаны конструкция и принцип действия пневматического преобразователя абсолютного давления, выполненного из элементов промышленной пневмоавтоматики.

### Обозначения

$K$ – коэффициент пропорциональности;	$V_{к1}$ – объем соединительного канала между выходом пульсирующего пневматического сопротивления $1$ и входом элемента памяти $2$ , м <sup>3</sup> ;
$P_1$ – избыточное давление на выходе пульсирующего пневматического сопротивления, Па;	$V_{к2}$ – объем соединительного канала между измерительной емкостью $4$ и мембранным узлом пульсирующего пневматического сопротивления $1$ , м <sup>3</sup> ;
$P_3$ – избыточное давление на выходе генератора $3$ , Па;	$V_{общ}$ – общий объем измерительной емкости, м <sup>3</sup> ;
$P_{абс}$ – абсолютное давление, Па;	$\Delta P$ – изменение давления в емкости $1$ , Па;
$P_{атм}$ – атмосферное давление, Па;	$\Delta V$ – изменение объема измерительной емкости, м <sup>3</sup> ;
$P_{вх}$ – входное давление устройства, Па;	$\theta$ – масса газа в измерительной емкости, кг.
$P_{изб}$ – избыточное давление, Па;	
$R$ – газовая постоянная, Дж/(кг·К);	
$T$ – абсолютная температура, К;	
$V$ – объем емкости $1$ , м <sup>3</sup> ;	
$V_4$ – объем измерительной емкости $4$ , м <sup>3</sup> ;	

Пневматические методы преобразования физических величин находят широкое применение в измерительной технике. Отдельную группу представляют измерительные преобразователи, в которых совмещены операции измерения и преобразования полученного результата в сигнал дистанционной передачи.

Абсолютное давление представляет собой параметр, определяющий состояние веществ. Известны непрерывные аэродинамические методы измерения и преобразования абсолютного давления, в основу которых положены свойства течения газа в дросселях, профилированных соответствующим образом соплах, в вихревых струйных элементах [1]. В преобразователях абсолютного давления манометрического типа могут использоваться различного вида пружинные элементы (мембраны, сильфоны, трубки Бурдона), деформация которых, вызванная действием давления, преобразуется стандартным преобразователем в сигнал дистанционной передачи [2].

Использование известных преобразователей затруднительно, когда для проведения измерений необходимо осуществлять отбор контролируемого вещества. Для всех измерительных преобразователей, исключая жидкостные и грузопорш-

новые, необходима индивидуальная тарировка по образцовым приборам. При реализации аэродинамических методов выходной сигнал неприменим для дистанционной передачи. Указанные недостатки в большей степени устраняются путем применения компрессионного принципа преобразования и измерения абсолютного давления.

В настоящей работе рассматривается компрессионный метод измерения давления, приведены конструкция и принцип действия автоматического устройства для преобразования абсолютного давления, которое выполнено из элементов промышленной серийно выпускаемой пневмоавтоматики.

Разработанный измерительный преобразователь может быть использован при измерении:

- атмосферного давления;
- небольших отклонений абсолютных давлений от атмосферного;
- плотности газов по измеренной величине абсолютного давления.

Для пояснения метода измерения на рис. 1 представлена схема устройства, реализующего пневматический компрессионный метод измерения абсолютного давления. Устройство состоит из измерительной емкости 1 с поршнем 2. К штуцеру 3 емкости 1 подключен манометр 4 и клапан 5, выход которого соединен с источником давления.

Принцип измерения абсолютного давления состоит в том, что в начальный момент времени открывают клапан 5, соединяя емкость 1 с источником давления, устанавливают поршень 2 в положение, которому соответствует объем емкости 1, равный  $V$ . После этого закрывают клапан 5 и перемещают поршень 2, уменьшая объем емкости 1 на величину  $\Delta V$ . Давление в емкости 1 увеличится на величину  $\Delta P$ , пропорциональную первоначальному абсолютному давлению.

Считая, что газ в емкости 1 является идеальным, на основании закона Бойля–Мариотта можно записать равенство состояний газа до и после сжатия в виде

$$P_{\text{абс}}V = (P_{\text{абс}} + \Delta P)(V + \Delta V). \quad (1)$$

Из (1) выразим

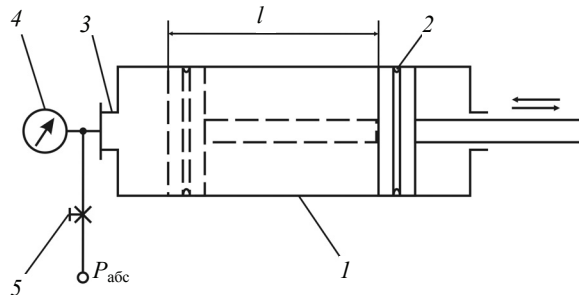
$$\Delta P = \frac{\Delta V}{V - \Delta V} P_{\text{абс}}. \quad (2)$$

При условии, что  $\Delta V = 0,5V$  уравнение (2) примет вид

$$\Delta P = P_{\text{абс}}. \quad (3)$$

Так как  $P_{\text{абс}} = P_{\text{изб}} + P_{\text{атм}}$ , то при  $P_{\text{изб}} = 0$

$$\Delta P = P_{\text{атм}}. \quad (4)$$



**Рис. 1. Схема устройства для реализации метода измерения абсолютного давления:**  
1 – измерительная емкость; 2 – поршень; 3 – штуцер; 4 – манометр; 5 – клапан

Таким образом, изменение начального объема измерительной емкости в два раза вызывает изменение давления в ней, равное величине абсолютного давления.

Совокупность активных действий, направленных на реализацию рассматриваемого пневматического метода измерения абсолютного давления, может быть осуществлена с использованием как электрических, так и пневматических элементов и устройств автоматики.

Принципиальная пневматическая схема преобразователя абсолютного давления представлена на рис. 2; на рис. 3 приведены временные диаграммы его работы (рис. 3, *a* – временная диаграмма изменения давления  $P_3$  на выходе генератора прямоугольных импульсов 3; рис. 3, *б* – изменение во времени входного давления  $P_{вх}$ ; рис. 3, *в* – изменение во времени давления  $P_1$  на выходе пульсирующего пневматического сопротивления 1; рис. 3, *г* – изменение во времени давления  $P_{вых}$  на выходе преобразователя).

Преобразователь выполнен из элементов промышленной пневмоавтоматики [3–6] и состоит из пульсирующего пневматического сопротивления (ППС) 1, выход которого подключен к входу элемента памяти 2. Входы управления (камеры Б<sub>1</sub>, Е<sub>1</sub> и Д<sub>2</sub>) ППС 1 и элемента памяти 2 подключены к выходу генератора 3 прямоугольных пневматических импульсов. Емкость 4 ППС 1 выполнена переменной в виде цилиндра 5 с поршнем 6. В измерительной части 7 емкости 4 размещена пружина 8. В камеру Г<sub>1</sub> мембранного блока ППС 1 подано измеряемое давление  $P_{вх} = P_{абс}$ . Малые жесткие центры совместно с соплами 9 и 10 образуют пары сопло–заслонка. В камеры А<sub>1</sub> и Д<sub>1</sub> от задатчиков 11 и 12 заводится давление большего и меньшего подпора, соответственно. В камеру Г<sub>2</sub> элемента памяти 2 подано давление подпора с выхода задатчика 12.

При поступлении в момент времени  $t_0$  (см. рис. 3, *a*) давления  $P_3 = 0$  с выхода генератора 3 в камеры управления соответствующих элементов 1 и 2, последние занимают такое положение, при котором поршень 6 под действием пружины перемещается и занимает крайнее верхнее положение, при этом измерительная

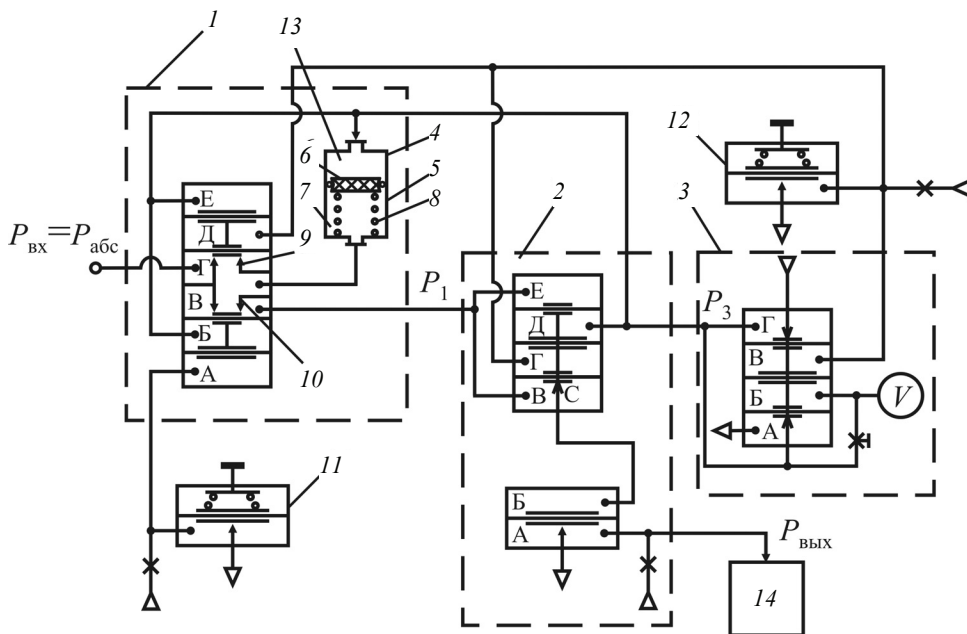
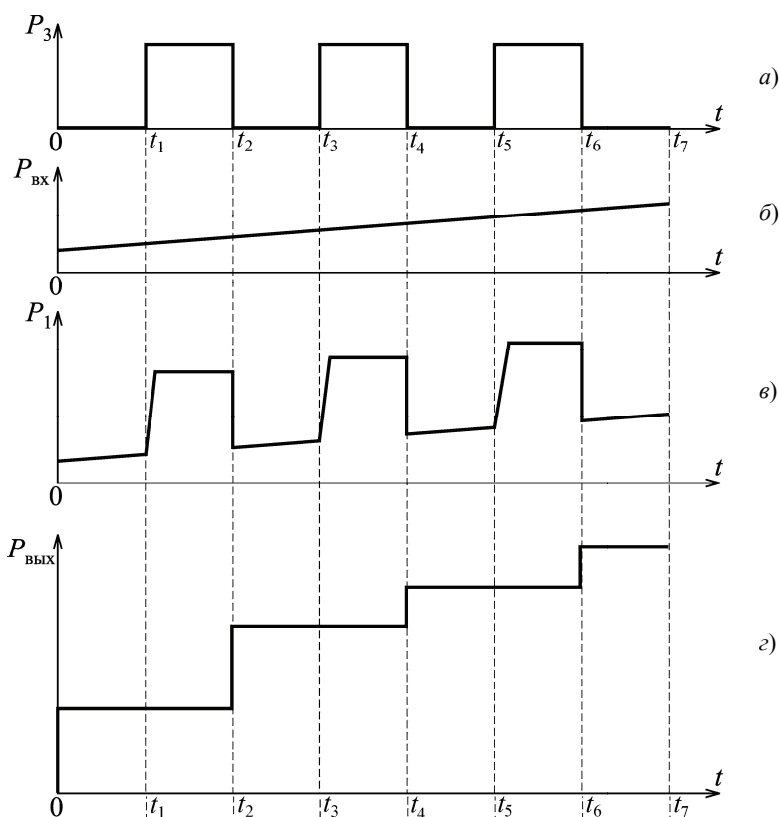


Рис. 2. Принципиальная пневматическая схема преобразователя абсолютного давления



**Рис. 3. Временная диаграмма работы пневматического преобразователя абсолютного давления**

часть 7 емкости 4 соединяется в течение отрезка времени  $t_{01}$  (см. рис. 3, б) через открытое сопло 9 и камеру  $\Gamma_1$  с источником давления  $P_{вх}$ . Сопло С элемента памяти 2 открыто и с входа элемента на его выход проходит давление, существовавшее на входе до открытия сопла С.

При поступлении давления  $P_3 = 1$  в момент времени  $t_1$  (см. рис. 3, а) с выхода генератора мембранный блок ППС 1 занимает положение, при котором измерительная часть 7 емкости 4 через открытое сопло 10 соединяется с входом элемента памяти 2.

Сигналом  $P_3 = 1$ , поданным в момент времени  $t_1$  на вход измерительной емкости 4 в камеру 13, перемещается поршень б, при этом изменяется объем измерительной части 7 емкости 4 на заданную величину  $\Delta V$ . В общем объеме при этом давление  $P_1$  изменится на величину  $\Delta P$  (см. рис. 3, в, отрезок времени  $t_{12}$ ). В общий объем измерительной емкости входит объем  $V_{к1}$  соединительного канала между выходом ППС 1 и входом элемента памяти 2, а также объем  $V_{к2}$  канала, соединяющего измерительную емкость 4 с мембранным узлом ППС 1.

В начальный момент времени перед перемещением поршня б общий объем

$$V_{общ} = V_4 + V_{к1} + V_{к2}.$$

Состояние газа в объеме  $V_{общ}$  перед сжатием будет описываться уравнением Менделеева–Клапейрона

$$P_{вх} V_{общ} = \theta RT.$$

После сжатия газа в измерительной емкости 4 его состояние изменится, и будет описываться уравнением

$$(P_{\text{вх}} + \Delta P)(V_{\text{общ}} - \Delta V) = \theta RT .$$

Массу газа в общем объеме в процессе преобразования можно считать постоянной величиной, поэтому при условии  $\theta RT = \text{const}$  согласно уравнению Бойля–Мариотта

$$P_{\text{вх}}V_{\text{общ}} = (P_{\text{вх}} + \Delta P)(V_{\text{общ}} - \Delta V) . \quad (5)$$

Как только давление  $P_3$  на выходе генератора 3 в момент времени  $t_2$  (см. рис. 3, а) станет равным нулю, мембранный узел ППС 1 займет положение, при котором сопло 10 закроется, а сопло 9 откроется. Сопло С элемента памяти 2 открывается и давление  $\Delta P$  с его входа проходит на выход (см. рис. 3, з), после чего фиксируется вторичным прибором 14. Таким образом, с учетом (5) получим

$$\Delta P = KP_{\text{вх}} , \quad (6)$$

где  $K = \frac{\Delta V}{V_{\text{общ}} - \Delta V}$  – коэффициент пропорциональности, определяющий чувствительность устройства, настраивается путем изменения диапазона перемещения поршня 6.

При небольшой скорости изменения входного сигнала выходное давление будет непрерывной функцией времени.

Таким образом, рассмотренный преобразователь в процессе работы выполняет ряд операций: отбор газа, компрессию, преобразование входного давления в пневматический сигнал дистанционной передачи. Только последовательное выполнение перечисленных операций обеспечивает измерительный процесс.

Преобразователь давления выполнен из промышленных элементов пневмоавтоматики, что естественно будет ограничивать диапазон преобразуемых давлений предельными значениями, которые рекомендовано использовать для выбранной элементной базы. Разработанный преобразователь с параметрами  $V_{\text{общ}} = (55 \pm 1) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ ,  $\Delta V = (25 \pm 1) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  прошел экспериментальную проверку, которая показала его работоспособность. Приведенная погрешность измерительного преобразователя абсолютного давления в диапазоне от 100 до 150 кПа не превышает 1 %.

#### *Список литературы*

1. Залманзон, Л.А. Аэрогидродинамические методы измерения входных параметров автоматических систем / Л.А. Залманзон. – М. : Наука, 1973. – 464 с.
2. Измерения в промышленности : справоч. изд. : пер. с нем. / под ред. П. Профоса. – М. : Металлургия, 1980. – 648 с.
3. Универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики : каталог. – М. : ЦНИИТЭПриборостроения, 1972. – 28 с.
4. Ибрагимов, А.И. Элементы и системы пневмоавтоматики / А.И. Ибрагимов, Н.Г. Фарзани, Л.И. Илясов. – М. : Высшая школа, 1975. – 360 с.
5. Элементы и схемы пневмоавтоматики / Т.К. Берендс, [и др.]. – М. : Машиностроение, 1976. – 246 с.
6. Фудим, Е.В. Пневматическая вычислительная техника / Е.В. Фудим. – М. : Наука, 1973. – 528 с.

## **Pneumatic Converter of Absolute Pressure**

**M.M. Mordasov, M.M. Golosnitskaya**

*Department "Automated Systems and Devices", TSTU*

**Key words and phrases:** absolute pressure measurement; compression method; pneumatic transducer; sampling.

**Abstract:** The paper studies the compression method of converting the absolute pressure into the proportional magnitude of the excess pressure. The design and operation of pneumatic transducer of absolute pressure made of the industrial pneumatics elements are described.

---

## **Pneumatischer Umformer des absoluten Druckes**

**Zusammenfassung:** Es ist die Kompressionsmethode der Umformung des absoluten Druckes in die proportionellen Größe des Überschußdruckes betrachtet. Es sind die Konstruktion und das Funktionsprinzip des aus den Elementen der industriellen Pneumoautomatik gemachten Umformers des absoluten Druckes beschrieben.

---

## **Convertisseur pneumatique de la tension absolue**

**Résumé:** Est examinée la méthode de compression de la transformation de la tension absolue en grandeur proportionnelle de la tension abondante. Sont décrits la construction et le principe du fonctionnement du convertisseur pneumatique de la tension absolue exécuté à partir des éléments de la pneumatique industrielle.

---

**Авторы:** *Мордасов Михаил Михайлович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Управление качеством и сертификация»; *Голосницкая Мария Михайловна* – аспирант кафедры «Управление качеством и сертификация», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Чуриков Александр Алексеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Управление качеством и сертификация», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

---