

УДК 531.75.08

**ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ  
УДЕЛЬНОГО ОБЪЕМА ТВЕРДОЙ ФАЗЫ  
ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ**

**Д.М. Мордасов**

*Кафедра «Автоматизированные системы и приборы», ТГТУ*

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** гетерогенные системы; пневматическая камера; пневматическое устройство; удельный объем.

**Аннотация:** Разработано пневматическое устройство, реализующее метод контроля удельного объема твердой фазы гетерогенных систем. Дано описание его конструкции и принципа действия. Приведены результаты теоретических исследований.

---

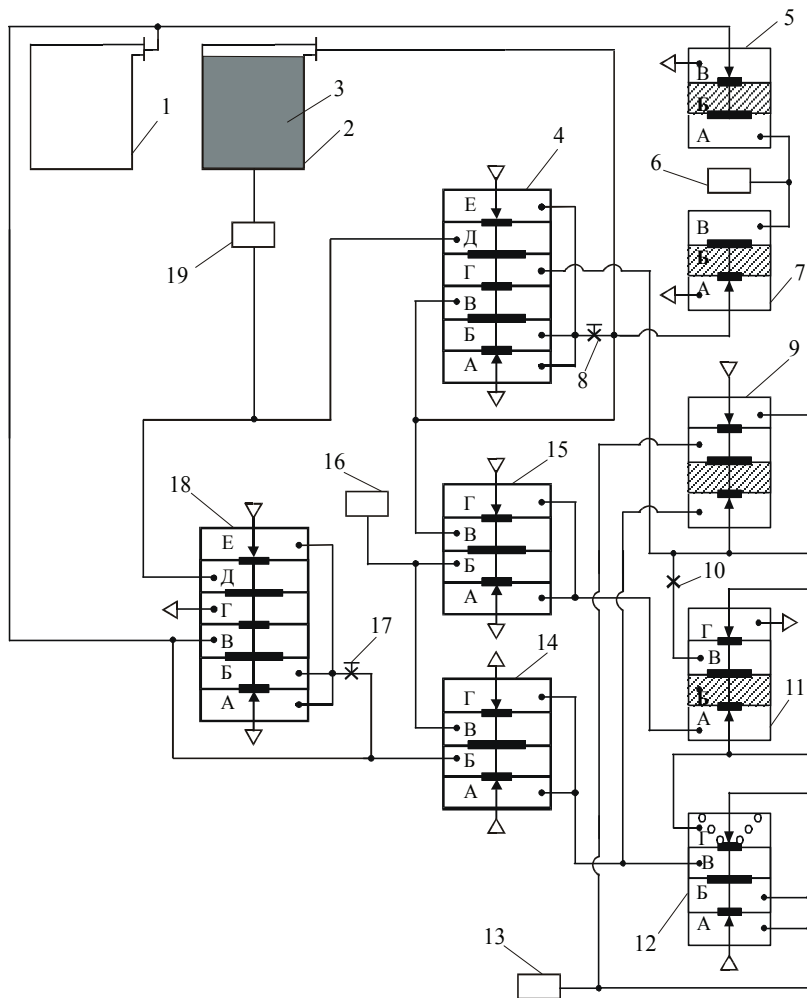
Для контроля удельного объема  $\nu$  твердой фазы гетерогенных систем в виде пористых, волокнистых и сыпучих материалов в настоящее время наиболее точным является абсолютный метод, согласно которому осуществляют измерение массы и объема и по их отношению судят о контролируемой величине. Контроль материалов, не допускающих смачивания, возможен только пневматическими методами. В [1] предложен пневматический метод контроля, в котором конечный результат получается в едином процессе. В основу такого контроля положены закономерности заполнения сжатым газом измерительного элемента, выполненного в виде глухой пневматической камеры. При этом пневматическая камера, в силу происходящих в ней процессов, используется как для измерения объема материала, так и для деления величин, определяющих удельный объем контролируемого материала [2, 3].

На рис. 1 показана принципиальная пневматическая схема устройства контроля удельного объема.

Пуск устройства осуществляют подачей давления питания пневматическим тумблером 6 в камеры  $A_5$  и  $B_7$  пневматических клапанов 5 и 7, в камеры  $B_5$  и  $B_7$  которых подано давление подпора. Давлением  $P_6 = 1$  с выхода тумблера 6 закрываются сопла пневмоклапанов 5 и 7, при этом емкости 1 и 2 изолируются от атмосферы.

Устройство для контроля удельного объема содержит весоизмерительный блок 19, соединенный с платформой, на которой размещена измерительная емкость 2, заполненная контролируемым материалом 3, объем которого  $V_m$ . На выходе весоизмерительного блока 19 будет давление  $P_{19} = km$ , где  $k$  - коэффициент пропорциональности;  $m$  - масса контролируемого материала в пробе.

Весоизмерительный блок соединен с входами двух интеграторов, первый из которых включает в себя пятимембранный элемент 4, дроссель 8 (П2Д.1) и измерительную емкость 2. Выход элемента 4 соединен со своей камерой  $B_4$  непосредственно, а с камерой  $B_4$  и с камерой  $B_{15}$  элемента сравнения 15 через



**Рис. 1 Пневматическая принципиальная схема устройства для контроля удельного объема твердой фазы материалов**

переменный дроссель 8. При этом камера В<sub>4</sub> соединена с измерительной емкостью 2 и с соплом одноконтактного пневмоклапана 7 (ПЗК.1). Второй интегратор состоит из пятимембранного элемента сравнения 18 (П2ЭС.3), камера В<sub>18</sub> которого соединена со сравнительной емкостью 1, с выходом переменного дросселя 17 (П2Д.1), с камерой Б<sub>14</sub> трехмембранного элемента сравнения 14 (П2ЭС.1), с соплом одноконтактного клапана 5 (ПЗК.1). Выход элемента сравнения 18 соединен с камерой Б<sub>18</sub> и с входом переменного дросселя 17.

При поступлении давления  $P_4$  на входы первого и второго интеграторов на их выходах, а следовательно, и в емкостях 1 и 2 давления будут определяться из уравнений

$$P_1 = \frac{1}{\tau_{и1}} \int_0^{t_1} P_{19} dt, \quad (1)$$

и

$$P_2 = \frac{1}{\tau_{и2}} \int_0^{t_2} P_{19} dt, \quad (2)$$

где  $\tau_{и1} = \frac{V_2 - V_M}{\beta_8 T R}$ ,  $\tau_{и2} = \frac{V_1}{\beta_{17} T R}$  - постоянные интегрирования.

При условии, что в процессе заполнения емкостей 1 и 2 с объемами  $V_1 = V_2 = V$  через дроссели с проводимостями  $\beta_8 = \beta_{17} = \beta$  происходит изменение давлений  $P_1$  и  $P_2$  (рис. 2) в них от атмосферного  $P_{атм}$  до давления  $P_{16}$ , устанавливаемого задатчиком 16, из (1) и (2) получим уравнения для определения времен заполнения в виде

$$t_1 = \frac{P_{16}(V - V_M)}{\beta T R k m}, \quad (3)$$

$$t_2 = \frac{P_{16}V}{\beta T R k m}. \quad (4)$$

Вычитая из (3) уравнение (4), получим

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{P_{16}V_M}{\beta T R k m} = \frac{P_{16}}{\beta T R k} \upsilon. \quad (5)$$

Плотность твердой фазы материала через удельный объем  $\upsilon$  можно выразить в виде  $\rho_B = \frac{1}{\upsilon} = \frac{m}{V_M}$ , поэтому

$$\Delta t = \frac{P_{16}}{\beta T R k} \frac{1}{\rho_B} = C \frac{1}{\rho_B}.$$

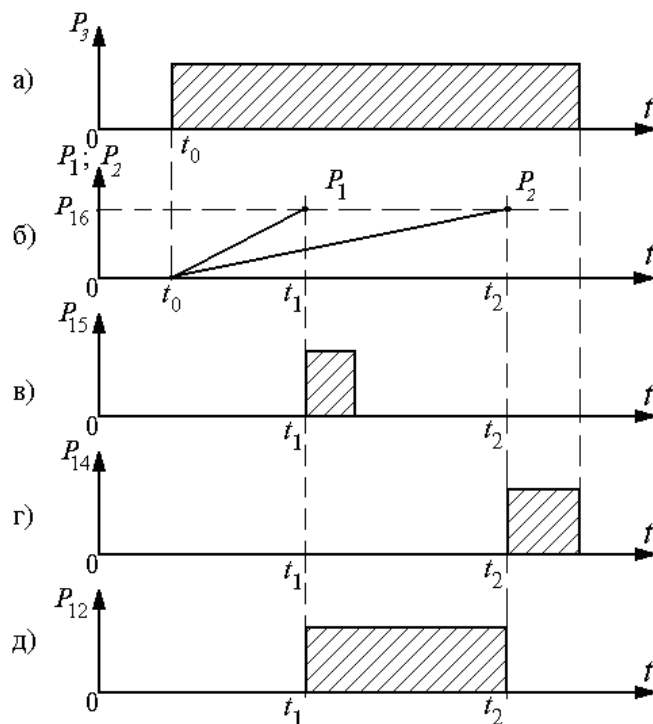


Рис. 2 Временные диаграммы изменения давлений  $P_1, P_2, P_{12}, P_{13}, P_{14}$  в процессе работы устройства

Оставшаяся часть схемы устройства представляет собой блок формирования выходного сигнала, длительность которого пропорциональна плотности частиц СМ.

Блок формирования состоит из трехмембранных элементов сравнения 14 и 15 (П2ЭС.1), в камеры  $B_{15}$  и  $B_{14}$  которых подключен выход датчика давления 16. Как только давление  $P_2$  достигнет значения  $P_{16}$ , на выходе элемента сравнения 15 появится сигнал  $P_{15} = 1$ . Давление  $P_{15} = 1$  поступает в камеру  $A_{11}$  пневматического реле 11 и через сопло, открытое под действием подпора в камере  $B_{11}$ , на первый вход в камеру  $\Gamma_{12}$  триггера с раздельными входами, выполненного на базе пневматического реле 12 (П1Р.3) с фиксированным начальным состоянием. На выходе триггера формируется сигнал в виде давления  $P_{12} = 1$  (см. рис. 2, д), которое поступает на вход вторичного прибора 13, в камеру  $B_9$  трехмембранного реле 9 (П1Р.1), реализующего логическую функцию ИЛИ. При  $P_{12} = 1$  на выходе пневмореле 9 формируется давление  $P_9 = 1$ , которое поступает в камеру  $\Gamma_4$  элемента сравнения 4 и через пневматический дроссель 10 (П2Д.4) в камеру  $B_{11}$ . При этом элемент сравнения 4 переводится в состояние с выходным сигналом  $P_4 = 0$ , и камера  $\Gamma_{12}$  триггера соединяется с атмосферой через открытое сопло пневмореле 11.

Выход элемента сравнения 14 подключен к камере  $B_{12}$  триггера с раздельными входами. Как только давление в емкости 1 достигнет значения  $P_{16}$ , на выходе элемента сравнения 14 появится сигнал  $P_{14} = 1$  (см. рис. 2, з), которым триггер с раздельными входами переводится в состояние с выходным сигналом  $P_{12} = 0$  (момент времени  $t_2$  — см. рис. 2, д).

Таким образом, на входе вторичного прибора формируется сигнал в виде импульса прямоугольной формы с длительностью  $\Delta t = t_2 - t_1$ , которая согласно уравнению (5) определяет удельный объем контролируемого вещества.

Методика пневматического измерения удельного объема твердой фазы пористых, волокнистых и сыпучих материалов состоит в следующем.

1. Давление  $P_4$  подают на вход интегратора, емкость 1 которого объемом  $V_1$  заполнена воздухом.

2. Определяют время  $t_2$ , в течение которого давление в пустой емкости изменит свое значение на заданную величину  $\Delta P = P_{16} - P_{\text{атм}}$ .

3. Заполняют емкость 2 объемом  $V_2 = V_1$  произвольным количеством контролируемого материала.

4. Определяют массу  $m$  сыпучего материала с получением выходного сигнала в виде давления  $P_{19}$  сжатого воздуха  $P_{19} = km$ , где  $k$  - коэффициент пропорциональности.

5. Определяют время  $t_1$  изменения давления в емкости объемом  $V_2$ , заполненной контролируемым материалом, на заданную величину  $\Delta P = P_{16} - P_{\text{атм}}$ .

6. По разности времен заполнения  $\Delta t = t_2 - t_1$  судят об удельном объеме контролируемого материала.

#### Список литературы

1. Патент № 2162596 РФ. Способ измерения плотности / Д.М. Мордасов, М. М. Мордасов, Н.А. Булгаков // Открытия. Изобретения, 2001, № 3.
2. Мордасов М.М., Мордасов Д.М., Булгаков Н.А. Пневматическое времяимпульсное устройство для измерения плотности сыпучих материалов // Вестник ТГТУ. 2000. - Т. 6, № 2. - С. 201-206.

3. Мордасов М.М., Мордасов Д.М., Булгаков Н.А. Пневматические времяимпульсные методы контроля объема, массы и плотности сыпучих материалов. - Тамбов: ТГТУ, 1999. - 18 с. - Деп. в ВИНТИ № 3423-В99.

---

**Pneumatic Control Device of Solid Phase Specific Volume  
of Heterogeneous Systems**

**D.M. Mordasov**

*Department of Automated Systems and Devices, TSTU*

**Key words and phrases:** heterogeneous systems; pneumatic chamber; pneumatic device; specific volume.

**Abstract:** Pneumatic device, employing control method of solid phase specific volume of heterogeneous systems is developed. Its design and operating principle is given. Results of theoretical research are presented.

---

**Pneumatische Anlage für die Kontrolle des spezifischen Volumens der Hartphase  
der Heterogenensysteme**

**Zusammenfassung:** Es ist pneumatische Anlage, die die Kontrollmethode des spezifischen Volumens der Hartphase der Heterogensysteme realisiert, erarbeitet. Es wird die Beschreibung ihrer Konstruktion und des Wirkungsprinzips gegeben. Es sind die Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen angeführt.

---

**Dispositif pneumatique du contrôle du volume spécifique de la phase solide  
des systèmes hétérogènes**

**Résumé:** On a élaboré le dispositif pneumatique qui réalise la méthode du contrôle du volume spécifique de la phase solide des systèmes hétérogènes. On a donné la description de sa construction et de son principe du fonctionnement. On a cité les résultats de l'étude théorique.

---