

## ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД И УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ

М. М. Мордасов<sup>1</sup>, М. Д. Мордасов<sup>2</sup>, Г. В. Мозгова<sup>1</sup>

*Кафедры: «Мехатроника и технологические измерения» (1), kafedra@uks.tstu.ru, «Материалы и технология» (2), ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия*

**Ключевые слова:** автоматическое устройство; жидкость; контроль; плотность; пневматический метод.

**Аннотация:** Предложен и рассмотрен пневматический метод контроля плотности жидкости. Дано описание конструкции и принципа действия устройства, реализующего метод. Приведены результаты теоретических исследований.

---

Измерение плотности жидкостей осуществляется на многих производствах как в целях управления технологическими процессами, так и для проведения учетно-товарных операций. В ряде случаев величину плотности легко и просто можно определять пневматическими методами и средствами [1].

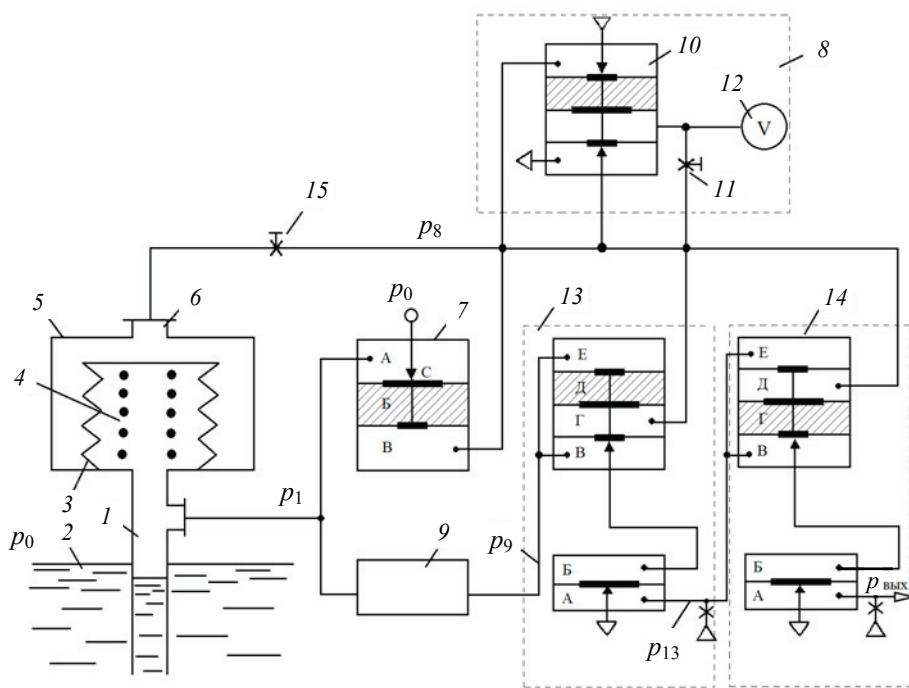
Основным методом оценки качества является измерительный метод, посредством которого определяется одно или несколько свойств продукции. Физическая величина не может быть определена сама по себе, а может восприниматься только через тот физический процесс, в котором она проявляется.

Наиболее простыми методами контроля плотности являются гидростатические, разновидностью которых являются пневмометрические методы, основанные на статическом или динамическом воздействиях на жидкость газом, при этом мерой контролируемого параметра служит изменение состояния газа или деформация жидкости. Основное преимущество данных методов – простота физических процессов и их конструктивной реализации. Пневматические методы измерения, в силу присущих им особенностей, могут быть с успехом использованы для контроля пожаро- и взрывоопасных сред, расплавов солей, высококонцентрированных сиропов и других сред со специфическими свойствами. В отдельную группу можно выделить пневматические колокольные методы и устройства контроля плотности жидкости без подачи газа в измерительный элемент [2, 3].

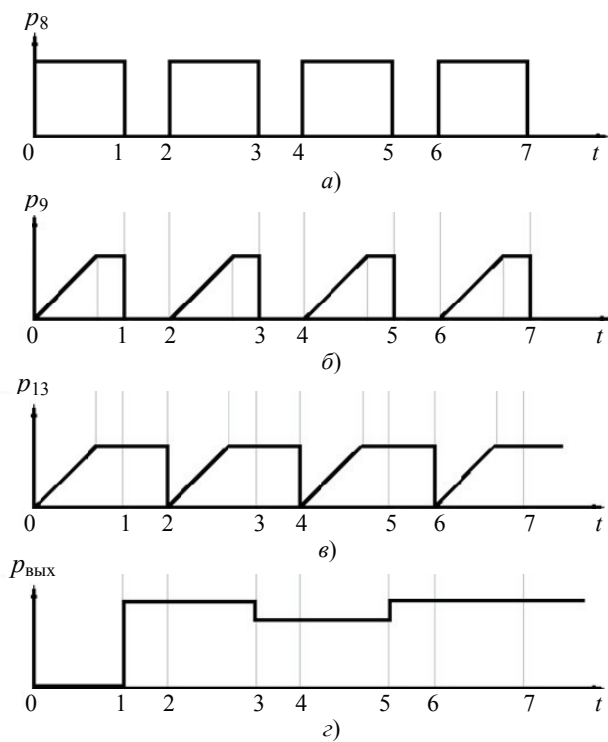
Невысокое быстродействие пневматических средств измерения ограничивает область их использования, однако при технологических измерениях часто это ограничение не имеет существенного значения.

В настоящей статье рассматривается пневматический метод контроля плотности и устройство для его автоматической реализации, выполненное на элементах универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА) [4, 5] и позволяющее получить непрерывный выходной сигнал. На рисунке 1 представлена принципиальная пневматическая схема устройства, на рис. 2 – временные диаграммы работы.

К измерительной трубке 1, погруженной на постоянную глубину в контролируемую жидкость 2, подключена полость сильфона 3, снабженного пружиной 4 и помещенного в корпус 5 со штуцером 6. К штуцеру 6 присоединены камера



**Рис. 1. Принципиальная пневматическая схема устройства контроля плотности жидкости**



**Рис. 2. Временная диаграмма работы устройства контроля плотности:**  
*а, б, в, г* – изменения давлений  $p_8, p_9, p_{13}, p_{\text{вых}}$  во времени соответственно

управления В пневматического одноконтактного клапана 7 и выход генератора прямоугольных импульсов 8. Пневматический контакт принято считать замкнутым, если у него заслонка удалена от сопла С и пневматическая цепь не прервана. Пневматический контакт разомкнут, если заслонка полностью прикрывает сопло и пневматическая цепь прервана. В одноконтактном клапане типа ПЗК.1 (элемент УСЭППА) применяют давление подпора, создаваемое в камере Б, и командный сигнал  $p_8$  с выхода генератора прямоугольных импульсов, вводимый в камеру В. При  $p_8 = 1$  сигнал  $p_1$  из измерительной трубки 1 проходит на вход датчика давления 9.

Генератор выполнен на пневматическом реле 10 П1Р.1, включенным по схеме отрицания и введенным в режим автоколебаний с помощью обратной связи, в цепь которого помещено инерционное звено (переменный дроссель 11 П2Д.1, пневматическая емкость 12 ПОЕ-50). Период следования импульсов  $T$  определяется величиной пневматического сопротивления 11 и объемом пневматической емкости 12.

Выход генератора 8 подключен в камеры управления Г<sub>13</sub> и Д<sub>14</sub> пневматических дискретных устройств памяти 13 и 14 П2ЭП.1 соответственно. Два последовательно включенных элемента памяти П2ЭП.1 образуют пневматическое устройство задержки на такт, которое осуществляет ступенчатую аппроксимацию входного сигнала  $p_9$ , поступающего с выхода преобразователя давления 9. Сигналы управления  $p_8$  подводятся к устройству задержки на такт от генератора 8 прямоугольных импульсов, при этом длительность ступенек аппроксимации определяется частотой их появления. При  $p_8 = 1$ , подаваемый в момент времени  $t_0$  (см. рис. 2, а) на вход первого элемента памяти 13 сигнал  $p_9$  проходит в камеру повторения Б<sub>13</sub>. В результате на выходе элемента памяти 13 обрабатывается сигнал  $p_{13} = p_9$ . В это время в элементе памяти 14 входная камера Б<sub>14</sub> повторения оказывается отсеченной от выхода элемента памяти 13 и в ней сохраняется давление, равное подаваемому от элемента 13 на момент окончания действия импульса  $p_8 = 0$ . В рассматриваемом случае это давление равно атмосферному.

В момент времени  $t_1$ , когда  $p_8$  становится равным атмосферному, то есть  $p_8 = 0$ , в элементе памяти 13 запоминается текущее (в момент времени  $t_1$ ) значение давления  $p_9$ . Это давление поступает на вход элемента памяти 14, обрабатывается его повторителем и поступает на выход устройства задержки на такт. Когда  $p_8$  вновь примет значение равное единице, элемент памяти 14 запоминает поступившее от элемента памяти 13 давление  $p_8$  и продолжает обрабатывать его. В элемент памяти 13 в момент времени  $t_2$  поступает новое значение входного сигнала  $p_8$  и на выходе его обрабатывается новый сигнал  $p_{13}$  в течение отрезка времени  $t_{23}$  (см. рис. 2, б). В момент времени  $t_3$  при подаче импульса управления  $p_8 = 0$  элемент памяти 13 запоминает значение входного сигнала  $p_9$ . Этот сигнал поступает на вход повторителя элемента памяти 14 и затем на выход устройства. В дальнейшем работа устройства осуществляется аналогично изложенному выше.

При непрерывном изменении входного сигнала давление на выходе устройства изменяется ступенями, причем высота каждой ступени, отсчитанной от нулевого уровня, равна мгновенному значению входного сигнала. После запоминания мгновенного значения сигнала величина сигнала на выходе устройства не изменяется в течение одного периода (такта) работы генератора.

Для исключения ударного воздействия давления  $p_8 = 1$  на поверхность жидкости в измерительной трубке 1 выход генератора 8 подключен через переменный дроссель 15 (П2Д.1) к штуцеру 6 корпуса 5.

При использовании силового действия сжатого воздуха в рассматриваемом устройстве необходимо учитывать изменение параметров газовой фазы в измерительной трубке.

Пусть в начальный момент времени  $t_0$  полость сиффона 3 и измерительной трубки 1 через открытое сопло С клапана 7 при поступлении давления  $p_8 = 0$  соединена с атмосферой. Уровень жидкости  $h$  в измерительной трубке 1 по отношению к уровню жидкости в аппарате равен нулю. Объем сиффона 3 под действием пружины будет иметь заданное значение  $V_0$ . Состояние газа в сиффоне и соединительных трубках будет описываться уравнением Менделеева–Клапейрона

$$p_0(V_0 + V_T) = Q_0RT, \quad (1)$$

где  $p_0$  – атмосферное давление, Па;  $V_T$  – объем газоподводящих трубок,  $\text{м}^3$ ;  $R$  – газовая постоянная, Дж/(кг К);  $Q_0$  – масса газа, кг;  $T$  – абсолютная температура, К.

Давлением  $p_8 = 1$  с выхода генератора 8 закрывается сопло С клапана 7, и происходит сжатие сиффона 3 на фиксированную величину  $\Delta V$ . Давление газа повышается, и жидкость в измерительной трубке 1 перемещается до уровня  $h$ . С учетом сказанного, уравнение (1) примет вид

$$(p_0 + \rho gh)(V_0 + V_T - \Delta V + S_1 h) = Q_0RT, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $S_1$  – площадь сечения измерительной трубки 1,  $\text{м}^2$ .

Учитывая, что процесс изотермический, то согласно закону Бойля–Мариотта

$$p_0(V_0 + V_{1T}) = (p_0 + \rho gh)(V_0 + V_{1T} - \Delta V + S_1 h). \quad (3)$$

При условии, что  $V_0 + V_{1T} = \Delta V$ ,  $\rho gh = \Delta p$  и  $h = \frac{\Delta p}{\rho g}$ , из (3) получим квадратное уравнение

$$\Delta p^2 + p_0 S_1 \Delta p - \rho g \Delta V p_0 = 0, \quad (4)$$

решением которого является

$$\Delta p_{1,2} = -\frac{p_0}{2} \pm \sqrt{\frac{(p_0)^2}{4} + \frac{\rho g \Delta V p_0}{S_1}}. \quad (5)$$

Уравнение (5) после разложения в степенной ряд Тейлора второго слагаемого, представленного в виде  $\frac{p_0}{2} \sqrt{1 + \frac{4\rho g \Delta V}{p_0 S_1}}$ , и использования двух первых членов ряда, что справедливо для малых значений  $\frac{4\rho g \Delta V}{p_0 S_1}$ , примет вид

$$\Delta p = \frac{g \Delta V}{S_1} \rho.$$

Основная погрешность измерения гидростатического давления определяется классом точности датчика давления и при использовании промышленных датчиков типов ДМ, ДС, ДК и других составит 1 % от пределов измерения плотности.

#### Список литературы

1. Контроль плотности жидких веществ пневмометрическими методами / М. М. Мордасов [и др.] // Заводская лаборатория (диагностика материалов). – 1998. – Т. 64, № 7. – С. 31 – 37.

2. Мордасов, М. М. Физические основы измерения плотности и поверхностного натяжения пневматическими методами / М. М. Мордасов, С. В. Мищенко, Д. М. Мордасов. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 1996. – 76 с.

3. Мордасов, М. М. Пневмометрические колокольные методы и устройства контроля плотности жидкости без подачи газа в измерительный элемент / М. М. Мордасов, Г. В. Шишкина, А. П. Савенков. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 2013. – 70 с.

4. Ибрагимов, И. А. Элементы и системы пневмоавтоматики : учебник для вузов / И. А. Ибрагимов, Н. Г. Фарзана, Л. В. Илясов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1985. – 544 с.

5. Технические средства автоматизации. Ч. 1. Пневматическая ветвь : учебн. пособие / М. М. Мордасов [и др.]. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 168 с.

---

## Pneumatic Method and Fluid Density Control Device

M. M. Mordasov<sup>1</sup>, M. D. Mordasov<sup>2</sup>, G. V. Mozgova<sup>1</sup>

*Departments of Mechatronics and Technological Measurements (1),  
kafedra@uks.tstu.ru, Materials and Technology (2), TSTU, Tambov, Russia;*

**Keywords:** automatic device; liquid; control; density; pneumatic method.

**Abstract:** A pneumatic method for controlling the density of a liquid is proposed and considered. A description of the design and principle of operation of the device that implements the method is given. The results of theoretical studies are presented.

### References

1. Mordasov M.M., Mishchenko S.V., Mordasov D.M., Tyshkevich A.A. [Control of the density of liquid substances by pneumometric methods], *Zavodskaya laboratoriya (diagnostika materialov)* [Factory Laboratory (diagnostics of materials)], 1998, vol. 64, no. 7, pp. 31-37. (In Russ.)

2. Mordasov M.M., Mishchenko S.V., Mordasov D.M. *Fizicheskiye osnovy izmereniya plotnosti i poverkhnostnogo natyazheniya pnevmaticheskimi metodami* [Physical principles of measuring density and surface tension by pneumatic methods], Tambov: Tambovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 1996, 76 p. (In Russ.)

3. Mordasov M.M., Shishkina G.V., Savenkov A.P. *Pnevmetricheskiye kolokol'nyye metody i ustroystva kontrolya plotnosti zhidkosti bez podachi gaza v izmeritel'nyy element* [Pneumometric bell methods and devices for controlling the density of liquids without gas supply to the measuring element], Tambov: Tambovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 2013, 70 p. (In Russ.)

4. Ibragimov I.A., Farzane N.G., Ilyasov L.V. *Elementy i sistemy pnevmoavtomatiki: uchebnyy dlya vuzov* [Elements and systems of pneumatic automation: a textbook for high schools], Moscow: Vysshaya shkola, 1985, 544 p. (In Russ.)

5. Mordasov M.M., Mordasov D.M., Trofimov A.V., Churikov A.A. *Tekhnicheskiye sredstva avtomatizatsii. CH. 1. Pnevmaticheskaya vetv': uchebnoe posobiye* [Technical means of automation. Part 1. Pneumatic branch: a training manual], Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2005, 168 p. (In Russ.)

## **Pneumatisches Verfahren und Prüfvorrichtung der Flüssigkeitsdichte**

**Zusammenfassung:** Es ist ein pneumatisches Verfahren zur Steuerung der Flüssigkeitsdichte untersucht und vorgeschlagen. Die Beschreibung der Konstruktion und des Funktionsprinzips der Vorrichtung, die das Verfahren implementiert, ist gegeben. Die Ergebnisse der theoretischen Forschungen sind angeführt.

---

## **Méthode pneumatique et dispositif de contrôle de la densité des liquides**

**Résumé:** Est proposée et examinée une méthode pneumatique de contrôle de la densité du liquide. Sont décrits la conception et le principe du fonctionnement de l'appareil qui réalise cette méthode. Sont présentés les résultats des études théoriques.

---

**Авторы:** *Мордасов Михаил Михайлович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Мехатроника и технологические измерения»; *Мордасов Михаил Денисович* – студент; *Мозгова Галина Владимировна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Мехатроника и технологические измерения», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

**Рецензент:** *Дмитриев Олег Сергеевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.