

ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКИЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ УДЕЛЬНОГО ОБЪЕМА ВЕЩЕСТВ С ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ПОДАЧЕЙ ГАЗА

Д.М. Мордасов, М.М. Мордасов

Кафедра “Автоматизированные системы и приборы”, ТГТУ

Представлена членом редколлегии профессором С.В. Мищенко

Ключевые слова и фразы: пневмодинамический метод; пульсирующая подача газа; сыпучий материал; удельный объем.

Аннотация: Предложен пневмодинамический метод контроля удельного объема, обладающий повышенной точностью, в котором за счет пульсирующей подачи газа в измерительную емкость устранено влияние неконтролируемых величин (температуры газа и проводимости входного дросселя) на результат измерения. Дано описание конструкции и принципа действия устройства, реализующего разработанный метод. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Обозначения

G_T – массовый расход газа, кг/с;	$P_{пит}$ – давление питания, Па;
G – расход газа в измерительную емкость, кг/с;	R – газовая постоянная, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$;
k – коэффициент пропорциональности, $(м \cdot с^2)^{-1}$;	T – абсолютная температура, К;
m_m – масса сыпучего материала, кг;	V_m – объем частиц сыпучего материала, м ³ ;
M – масса газа, кг;	V_0 – объем измерительной емкости, м ³ ;
n – число импульсов;	β – проводимость дросселя, м.с.
P_1, P_2 – начальное и конечное давления, Па;	ΔP_c – перепад давления, Па;
$P_{п1}, P_{п2}$ – давления большого и малого подпора, Па;	υ_m – удельный объем, м ³ /кг.

Измерение удельного объема υ_m наиболее актуально для сыпучих, волокнистых, пористых материалов и изделий сложной конфигурации, когда их объем не может быть определен путем измерения линейных размеров. Для контроля удельного объема наиболее точным является абсолютный метод, согласно которому осуществляют раздельное измерение объема и массы вещества с последующим делением полученных значений.

Анализ методов контроля удельного объема твердой фазы гетерогенных систем позволяет сделать вывод, что наиболее универсальными, а также предпочтительными при контроле материалов, не допускающих смачивания, являются пневматические методы.

В известном пневмодинамическом методе измерения удельного объема [1] в заполненную сыпучим материалом измерительную емкость известного объема V_0 подают газ с постоянным массовым расходом G_T пропорциональным массе m_m сыпучего материала. Постоянство расхода газа обеспечивается за счет поддержа-

ния перепада давления ΔP_c на пневматическом сопротивлении с проводимостью β , пропорциональной массе m_m , и равным $\Delta P_c = km_m$, так как при этом $G_T = \beta \Delta P_c = \beta km_m$. Об удельном объеме материала судят по времени t_{12} изменения давления в измерительной емкости на заданную величину $\Delta P = P_2 - P_1$. Расчетная зависимость, положенная в основу такого метода, имеет вид

$$t_{12} = \frac{V_0 \cdot (P_2 - P_1)}{RTkm_m\beta} - \frac{V_m \cdot (P_2 - P_1)}{RTkm_m\beta},$$

или

$$t_{12} = \frac{V_0 \cdot (P_2 - P_1)}{RTkm_m\beta} - \frac{(P_2 - P_1)}{RTk\beta} \cdot v_m. \quad (1)$$

Из уравнения (1) видно, что на точность измерения удельного объема существенное влияние оказывают неконтролируемые величины T и β .

В статье предложен пневмодинамический метод контроля удельного объема, обладающий повышенной точностью, в котором устранено влияние неконтролируемых величин T и β на результат измерения путем пульсирующей подачи газа в измерительную емкость. Пульсирующая подача газа в измерительную емкость может быть осуществлена с помощью пульсирующего линейного пневматического сопротивления [2, 3].

На рис. 1 представлена схема устройства для реализации метода измерения удельного объема сыпучих материалов, использующая пульсирующую подачу газа в процессе измерения.

В измерительную емкость 1 помещается контролируемый материал. Емкость 1 подключена к выходу (к камере B_4) пульсирующего пневматического сопротивления 4 (элемент УСЭППА типа П-1828). Выход пневмоповторителя со сдвигом 12 (П2П.2) подключен к камере Γ_4 сопротивления 4 , в которую через постоянный пневматический дроссель (П2Д.4) подано давление питания $P_{пит} = (1,400 \pm 0,014) \times 10^5$ Па. Камера E_4 соединена с камерой B_4 сопротивления 4 и подключена к генератору импульсов 10 , счетчику импульсов 9 и пневматическому переключателю 8 . В камеру A_4 сопротивления 4 подано давление большего подпора $P_{п1} = 0,7 \cdot P_{пит}$, в камеру D_4 – меньшего подпора $P_{п2} = 0,3 \cdot P_{пит}$. К измерительной емкости 1 подключен манометр 2 . Камера 5 между соплами 6 и 7 пневматического пульсирующего сопротивления 4 соединена с емкостью 3 переменного объема. Давление на выходе повторителя со сдвигом 12 измеряется манометром 11 .

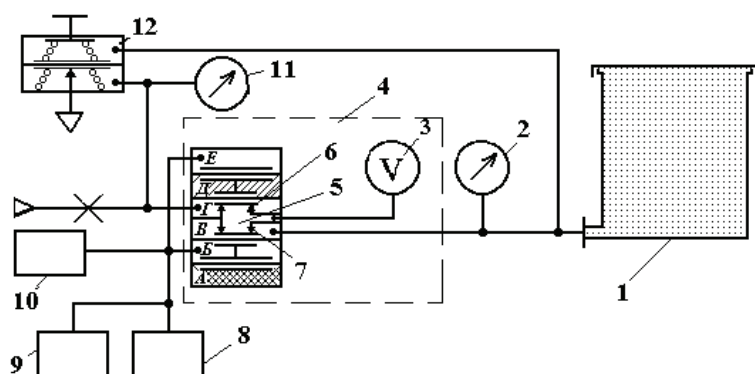


Рис. 1 Схема устройства для реализации метода измерения удельного объема сыпучего материала с пульсирующей подачей газа

В начальный момент времени t_0 на выходе генератора импульсов I_0 давление $P_{10}=0$, здесь нулю соответствует значение давления равное атмосферному.

Под действием подпора, поданного в камеру A_4 , мембранный блок нижней части сопротивления 4 занимает положение, при котором сопло 7 закрывается. Под действием подпора в камере D_4 сопло 6 открыто и емкость 3 оказывается присоединенной через камеру Γ_4 к выходу повторителя со сдвигом I_2 . В измерительную емкость I не поступает газ с выхода пульсирующего сопротивления 4 , при этом происходит заполнение емкости 3 газом, масса которого

$$M = \frac{V_3}{RT} P_{12} . \quad (2)$$

При поступлении с выхода источника импульсов давления $P_{10} = 1$, здесь единице соответствует давление в пределах 0,08 МПа до 0,14 МПа, сопло 7 открывается, а сопло 6 закрывается. В измерительную емкость I из емкости 3 (при $P_1 < P_{12}$) поступит масса газа

$$\Delta M = \frac{V_3}{RT} (P_{12} - P_1) . \quad (3)$$

Если каждый из пневмоконтактов замкнется n раз, то с выхода повторителя со сдвигом I_2 в измерительную емкость I поступит масса газа

$$M_c = n\Delta M = \frac{V_3 n}{RT} (P_{12} - P_1) . \quad (4)$$

Уравнение (4) с учетом того, что $P_{12} = P_1 + \Delta P_n$, где $\Delta P_n = km_m$ - смещение выходного сигнала повторителя со сдвигом I_2 , примет вид

$$M_c = \frac{V_3 n}{RT} \cdot km_m . \quad (5)$$

Продифференцируем равенство (5) по времени, после чего получим

$$\frac{dM_c}{dt} = G = \frac{V_3}{RT} \cdot \frac{dn}{dt} km_m . \quad (6)$$

Измерительная емкость I с пневматическим пульсирующим сопротивлением 4 представляют собой аperiodическое звено.

Изменение давления в емкости I во времени происходит в результате заполнения ее газом с расходом

$$G = \frac{\Delta V}{RT} \cdot \frac{dP_1}{dt} , \quad (7)$$

где $\Delta V = V_1 - V_m$.

Приравнявая расходы из (6) и (7), получим

$$\frac{\Delta V}{V_3} \cdot \frac{dP_1}{dn} = km_m . \quad (8)$$

Если изменять давление P_1 в емкости I на заданную величину $\Delta P_1 = P_{1к} + P_{1н}$ путем импульсной подачи газа, то количество поданных доз Δn будет определяться удельным объемом материала

$$\Delta n = \frac{\Delta P_1 \Delta V}{V_3 km_m} = \frac{\Delta P_1 V_1}{V_3 km_m} - \frac{\Delta P_1}{V_3 k} \cdot v_m$$

или

$$v_M = \frac{V_1}{m_M} - \frac{V_3 \Delta P}{\Delta P_1 m_M} \cdot \Delta n \quad (9)$$

Уравнение (9) является статической характеристикой устройства, реализующего метод измерения удельного объема материалов. Необходимым условием реализации такого метода является наличие информации о массе контролируемого материала.

Информация об удельном объеме на выходе устройства, реализующего предложенный метод, формируется в числоимпульсной форме.

Для реализации предложенного метода измерения необходимо:

- сформировать пробу контролируемого вещества массой m_M в количестве, не превышающем объем измерительной емкости;

- заполнить, используя свободную насыпку, контролируемым материалом измерительную емкость I ;

- установить на выходе повторителя со сдвигом $I2$ с помощью настроечного элемента давление $\Delta P_{II} = km_M$ при $P_1 = P_{атм}$;

- осуществляют запуск устройства, для чего переключателем δ отключают генератор импульсов $I0$ и счетчик импульсов 9 от атмосферы;

- определяют количество импульсов, в результате подачи которых давление P_1 в измерительной емкости I изменится на заданную величину $\Delta P_1 = P_{1к} + P_{1н}$, по которому судят об удельном объеме твердой фазы гетерогенных систем.

Разработанное устройство для измерения удельного объема материалов прошло экспериментальную проверку. В результате аппроксимации опытных данных в диапазоне изменения удельного объема веществ $v_M = [1,30 \div 6,85] \cdot 10^{-4}$ м³/кг полиномом первой степени, получено выражение

$$v_M = (12,73 - 0,002 \cdot \Delta n) \cdot 10^{-4}, \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Модуль наибольшего отклонения полинома от функции $-0,06 \cdot 10^{-4}$ м³/кг. Относительная погрешность аппроксимации $-0,05$ %. Средняя квадратичная погрешность аппроксимации $-0,05 \cdot 10^{-4}$ м³/кг.

При испытаниях также выявлены основные метрологические характеристики устройства. Чувствительность выражается величиной $5,6 \cdot 10^6$ имп/(м³·кг); основная приведенная погрешность $3,0$ %; воспроизводимость результатов анализа составляет $1,0$ %.

Рассмотренный метод может быть использован для измерения удельного объема пористых, сыпучих и волокнистых материалов. При контроле высокодисперсного сыпучего материала на него практически не оказывается аэродинамическое воздействие, способное вызвать пыление. Экспериментальная проверка показала, что гидравлическое сопротивление слоя контролируемого материала, нижний предел размеров частиц которого $0,01$ мм, не оказывает влияние на выходной сигнал.

Представление выходного сигнала в числоимпульсной форме позволяет с достаточной точностью проводить измерения. Рассмотренный метод прост в реализации, надежен и может быть легко автоматизирован.

Список литературы

1. Патент №2162596 РФ. Способ измерения плотности/ Мордасов Д.М., Мордасов М.М., Булгаков Н.А.// Открытия. Изобретения. - 2001, № 3.

2. Дмитриев В.Н., Градецкий В.Г. Основы пневмоавтоматики. - М.: Машиностроение, 1973. - 360 с.

3. Ибрагимов И.А., Фарзани Н.Г., Илясов Л.В. Элементы и системы пневмоавтоматики. 2-е изд. перераб. и дополн. - М.: Высшая школа, 1985. - 544 с.

Pneumo-dynamic Non-destructive Control of Specific Volume of Substances with Pulse Gas Feeding

D.M. Mordasov, M.M. Mordasov

Department "Automated Systems and Devices", TSTU

Key words and phrases: loose materials; pneumatic method; pulse gas feeding; specific volume.

Abstract: Pneumatic method of specific volume control possessing high accuracy is suggested. Due to pulse gas feeding in measuring capacitance the influence of non-controlled quantities (gas temperature and input throttle conductivity) on the result of measurement is eliminated. The description of design and the device working principle, realizing the developed method is considered. The results of theoretical and experimental research are given.

Pneumodynamische nicht zerstörende Kontrolle des spezifischen Umfanges der Stoffe mit der pulsierenden Gasabgabe

Zusammenfassung: Es ist die pneumodynamische über die erhöhte Genauigkeit verfügte Methode der Kontrolle des spezifischen Umfanges angeboten, wo der Einfluss der unkontrollierbaren Größen (der Temperaturen des Gases und der Leitungsfähigkeit der Eingangsdrossel) auf das Ergebnis der Messung mit Hilfe der pulsierenden Gasabgabe in den Messraum entfernt ist. Es ist die Beschreibung der Konstruktion und des Arbeitsprinzips der Einrichtung gegeben. Es sind die Ergebnisse der theoretischen und experimentellen Untersuchungen angeführt.

Contrôle pneumodynamique non destructif du volume spécifique de la substance avec le débi pulsé du gaz

Résumé: La méthode pneumodynamique avec une exactitude élevée est proposée pour le contrôle du volume spécifique. Le débi pulsé du gaz dans la cavité de mesure permet d'éliminer l'influence des grandeurs non contrôlées (température du gaz et conductibilité du papillon d'entrée) sur le résultat de la mesure. On a donné la description de la construction et du principe de l'action du dispositif qui réalise la méthode élaborée. On a cité les résultats des études théoriques expérimentales.
