

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ С ПОРИСТЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Теоретическое и экспериментальное исследование взаимодействия газовой фазы с пористой средой является существенным для развития представлений о процессах, сопровождающих применение современных технологий использования пористых материалов, поэтому актуальной задачей является разработка неразрушающих и простых по конструктивной реализации методов и средств измерения пористости различных материалов.

Известны методики измерения пористости, основанные на заполнении порового пространства жидкостями с высокой проникающей способностью. При этом измеряют изменение объема жидкости, в которую погружен пористый материал. Такие методы не лишены ряда недостатков, вызванных необходимостью тщательного подбора иммерсионной жидкости, невысокой разрешающей способностью и сложной аппаратной реализацией.

Указанных недостатков лишены пневмопульсационные методы [1], согласно которым в измерительной емкости формируются импульсные изменения давления и о свойствах сыпучего материала судят по изменению параметров, соответствующих резонансу давлений в образованной измерительной системе.

На рис. 1 представлена физическая модель пневмопульсационной измерительной системы, включающей в себя емкость 1 переменного объема, пневматическое сопротивление 2, представляющее собой аналог сопротивления пор измеряемого вещества, и емкость 3, характеризующую объем открытых пор.

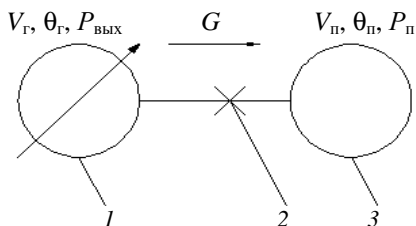


Рис. 1. Физическая модель пневмопульсационной измерительной системы

\* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ГОУ ВПО ТГТУ Д.М. Мордасова.

Состояние газа в емкости  $I$  описывается согласно закону Клапейрона-Менделеева уравнением

$$P_{\text{вых}} V_{\Gamma} = \theta_{\Gamma} RT, \quad (1)$$

где  $V_{\Gamma}$ ,  $\theta_{\Gamma}$ ,  $P_{\text{вых}}$  – объем, масса и давление газа в емкости  $I$ ;  $R$  – газовая постоянная;  $T$  – температура газа. Объем емкости  $I$  подвергают изменению по закону

$$V_{\Gamma}(t) = V_0 + \Delta V \sin \omega t, \quad (2)$$

где  $V_0$  – начальный объем емкости  $I$ ;  $\Delta V$  – амплитуда изменений объема емкости  $I$ ;  $\omega = 2\pi f$  – угловая частота;  $f$  – частота;  $t$  – время. При изменении объема  $V_{\Gamma}$  начинается процесс заполнения открытых пор измеряемого вещества. Через дроссель  $2$  инициируется расход газа  $G$ , величина которого определяется в виде

$$G = \alpha_{\text{п}} (P_{\text{вых}} - P_{\text{п}}), \quad (3)$$

где  $\alpha_{\text{п}}$  – суммарная проводимость пор вещества;  $P_{\text{п}}$  – давление газа в емкости  $3$ . С другой стороны, расход  $G$  представляет собой скорость изменения масс газа в емкостях  $I$  и  $3$ , т.е.

$$G = \frac{d\theta_{\Gamma}}{dt} = \frac{d\theta_{\text{п}}}{dt}. \quad (4)$$

При заполнении емкости  $3$  состояние газа в ней изменяется по закону Клапейрона-Менделеева

$$P_{\text{п}} V_{\text{п}} = \theta_{\text{п}} RT, \quad (5)$$

где  $V_{\text{п}}$ ,  $\theta_{\text{п}}$  – объем и масса газа в камере  $3$ . Уравнения (1) – (5) образуют систему уравнений математического описания процесса, проходящего в пневмопульсационной измерительной системе. Решением системы относительно  $P_{\text{вых}}(t)$  является дифференциальное уравнение [2], описывающее динамику изменения давления в емкости  $I$  при изменении ее объема в виде

$$\frac{d^2 P_{\text{вых}}(t)}{dt^2} + K_1 \frac{dP_{\text{вых}}(t)}{dt} + K_2 P_{\text{вых}}(t) = 0, \quad (6)$$

где  $K_1$ ,  $K_2$  – коэффициенты, определяемые параметрами пористой среды и величиной возмущающего воздействия. Решение дифференциального уравнения (6) находим при помощи обратного преобразования Лапласа в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{вых}}(t) = \frac{e^{-At}}{\sqrt{A^2 - B}} \operatorname{sh}(\sqrt{A^2 - B} \cdot t); \\ A = \frac{\delta V \cos \omega t (\omega T_{\text{п}} + \operatorname{tg} \omega t) + (1 - \Pi_3)}{2T_{\text{п}}(1 + \delta V \sin \omega t)}; \\ B = \frac{\delta V \cos \omega t}{T_{\text{п}}(1 + \delta V \sin \omega t)}, \end{array} \right.$$

где  $A$  – коэффициент, определяемый эффективной пористостью материала;  $B$  – коэффициент, зависящий от объема емкости  $I$  (рис. 1) и скорости его изменения;  $\delta V = \Delta V / V$  – относительное изменение объема емкости  $I$ ;  $T_{\text{п}} = V_{\text{п}} / \alpha_{\text{п}} RT$  – время дросселирования при заполнении пор;  $\Pi_3 = V_{\text{п}} / V_0$  – эффективная пористость.

Таким образом, полученное математическое описание процесса, протекающего в пневмопульсационной измерительной системе, может быть положено в основу метода измерения пористости материалов путем анализа динамики изменения давления газа в емкости с измеряемым веществом при импульсном воздействии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюханов, Б.К. Измерение количества вещества, уровня, объема, давления, состава : учебное пособие / Б.К. Брюханов, Б.К. Григоровский, В.Н. Ерицев. – Куйбышев : КПТИ, 1986. – 90 с.
2. Деч, Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа / Г. Деч. – М. : Наука, 1965. – 288 с.