

А.В. Рогудеева, Д.М. Мордасов

ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКИЙ ЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОРИСТОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Изучение и разработка методов контроля пористости представляет собой актуальную задачу в условия развития твердофазных технологий, в частности получения новых материалов. Теоретическое и экспериментальное исследование процессов, протекающих в пористых средах, является существенным для применения пористых материалов в различных отраслях науки и техники, поэтому важным аспектом в развитии современных технологий 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. 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 материала судят по изменению параметров, соответствующих резонансу давлений в образованной измерительной системе.

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

Состояние газа в емкости I описывается согласно закону Клапейрона–Менделеева уравнением

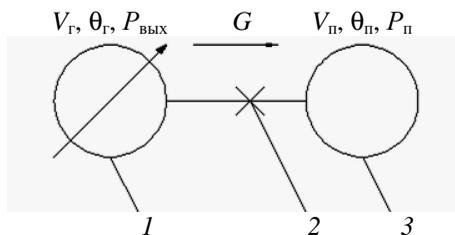


Рис. 1. Физическая модель пневмопульсационной измерительной системы

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

где V_{Γ} , θ_{Γ} , $P_{\text{ВЫХ}}$ – 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 ; ΔV – амплитуда изменений объема емкости I ; $\omega = 2\pi f$ – угловая частота; f – частота; t – время. При изменении объема V_{Γ} начинается процесс заполнения открытых пор измеряемого вещества. Через дроссель 2 инициируется расход газа G , величина которого определяется в виде

$$G = \alpha_{\Pi} (P_{\text{ВЫХ}} - P_{\Pi}), \quad (3)$$

где α_{Π} – суммарная проводимость пор вещества; P_{Π} – давление газа в емкости 3 . С другой стороны, расход G представляет собой скорость изменения масс газа в емкостях $1, 3$. При заполнении емкости 3 состояние газа в ней изменяется по закону Клапейрона–Менделеева.

С учетом протекания данных процессов в емкости получим математическое описание взаимодействия газа с пористым материалом в пневмопульсационной измерительной системе, представленное в виде системы уравнений.

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{e^{-At}}{\sqrt{A^2 - B}} \operatorname{sh}(\sqrt{A^2 - B}t); \\ A = \frac{\delta V \cos \omega t (\omega T_{\Pi} + \operatorname{tg} \omega t) + (1 - \Pi_3)}{2T_{\Pi} (1 + \delta V \sin \omega t)}; \\ B = \frac{\delta V \cos \omega t}{T_{\Pi} (1 + \delta V \sin \omega t)}, \end{array} \right. \quad (4)$$

где A – коэффициент, определяемый эффективной пористостью материала; B – коэффициент, зависящий от объема емкости I и скорости

Таблица 1

Наименование материала	Амплитуда возникновения резонансной частоты, дБ	Резонансная частота, Гц	Эффективная пористость, %
Каменный уголь	23,1	358,1	55,6
Древесный уголь	31,02	324,2	66,7
Активный уголь БАУ-А	39,93	306,2	75,5
Активный уголь АГ-3	40,64	306,9	74,5

Каменный уголь, обладающий самой низкой пористостью из представленных образцов, имеет самую большую резонансную частоту и низкую амплитуду. Данная зависимость свидетельствует о том, что вещества, обладающие высокой пористостью, имеют высокое значение амплитуды достижения резонанса и низкую резонансную частоту.

Таким образом, данный способ и реализующее его устройство позволяют осуществлять измерение эффективной пористости сыпучих материалов путем сравнения частотно-амплитудных характеристик колебаний, причем измерения производятся непосредственно в емкости, содержащей образец, что позволяет повысить точность измерения.

К основным преимуществам данного метода можно отнести простоту его реализации; малое время проведения измерительных и вычислительных операций, что в целом означает снижение трудоемкости процесса определения пористости; обеспечение неразрушающего контроля за счет использования эффектов, возникающих при взаимодействии газовой фазы с сыпучим материалом. Также преимуществом является возможность проведения экспресс-анализа, что актуально при необходимости получения результатов в кратчайшие сроки.

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.