

*А.В. Медведева**

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГАЗА С ПОРИСТЫМИ СЫПУЧИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Анализ конструкций измерительных элементов, реализующих методы контроля плотности, основанные на струйном взаимодействии газа с контролируемым веществом, позволил выделить обобщенную

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

структуру измерительного элемента в виде проточной пневматической камеры.

Конструктивно такой измерительный элемент представляет собой трубку, заполненную сыпучим материалом, к нижнему срезу которой подводят поток газа, а верхний – остается открытым и соединен с атмосферой (рис. 1).

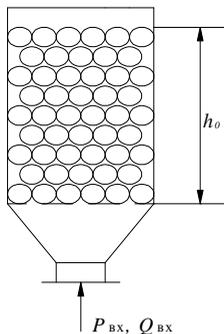


Рис. 1. Структура измерительного элемента, применяемого при струйном взаимодействии газа с сыпучим материалом ($P_{вх}$, $Q_{вх}$ – давление и объемный расход газа на входе)

Процессы, происходящие в измерительном элементе целесообразно рассматривать с позиций энергетического взаимодействия газовой струи с контролируемым веществом. При этом математическое описание представляет собой совокупность уравнений:

$$\begin{aligned}
 E &= \pi R_{\text{тр}}^2 \rho_{\text{г}} W^2 h_0; \\
 E_{\text{А}} &= (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{г}}) g V_{\text{ТВ}} h_0; \\
 E_{\text{П}} &= \frac{S^2 W h_0}{\alpha_3}; \\
 E &= E_{\text{А}} + E_{\text{П}},
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где E – энергия струи газа; $E_{\text{А}}$ – гравитационная энергия; $E_{\text{П}}$ – поверхностная энергия; $R_{\text{тр}}$ – радиус газоподводящей трубки (сопла); W – скорость газа в выходном сечении трубки (сопла); $\rho_{\text{в}}$ – плотность вещества; $\rho_{\text{г}}$ – плотность газовой фазы; g – ускорение свободного падения; h_0 – высота неподвижного слоя сыпучего материала; $V_{\text{ТВ}}$ – объем твердой фазы в слое сыпучего материала; S – площадь проходного сечения измерительной емкости с сыпучим материалом; α_3 – эквивалентная проводимость слоя сыпучего материала.

На перемещение сыпучего материала и преодоление гравитационной силы затрачивается энергия $E_{\text{А}}$, определяемая вторым уравнением математического описания (1).

Энергия газовой струи затрачивается на фильтрование и определяется третьим уравнением математического описания (1).

До момента псевдооживления перепад давления ΔP_1 на слое высотой h_0 определяется уравнением

$$\Delta P_1 = \frac{SW}{\alpha_3} = \frac{Q}{\alpha_3}, \quad (2)$$

где Q – объемный расход газа.

С учетом (2) третье уравнение математического описания (1) примет вид

$$E_{II} = \Delta P_1 S h_0. \quad (3)$$

Газовая фаза между частицами сыпучего материала может быть представлена совокупностью условных газовых каналов, проводимость которых согласно уравнению Пуазейля определяется в виде

$$\alpha_i = \frac{\pi d_i^4}{128 \eta l_i},$$

где η – динамическая вязкость газа; d_i , l_i – диаметр и длина условного газового канала.

С учетом параллельного соединения газовых каналов эквивалентная проводимость слоя сыпучего материала определяется уравнением

$$\alpha_3 = \frac{V_r^2 S^2}{8 \pi n \eta h_0 V_0^2} = \frac{S^2}{8 \pi n \eta h_0} \cdot \varepsilon_0^2, \quad (4)$$

где n – число условных газовых каналов; V_r – объем газовой фазы в слое сыпучего материала; V_0 – объем, занимаемый сыпучим материалом; ε_0 – концентрация газовой фазы в слое сыпучего материала (порозность).

После подстановки уравнения (4) в (2) получим выражение для определения концентрации газовой фазы в неподвижном слое сыпучего материала:

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\frac{8 \pi n Q \eta h_0}{S^2 \Delta P_1}}. \quad (5)$$

Совместное решение уравнений (1) с учетом (3) относительно кажущейся плотности частиц сыпучего материала дает выражение

$$\rho_B = \frac{\rho_r W^2 - \Delta P_1}{g h_0 (1 - \varepsilon_0)},$$

откуда с учетом $\rho_r W^2 - \Delta P_1 = \Delta P_2$ и (5) получим

$$\rho_k = \frac{\Delta P_2}{gh_0 \left(1 - \sqrt{\frac{8\pi n Q \eta h_0}{S^2 \Delta P_1}} \right)},$$

где ΔP_2 – перепад давления, соответствующий началу псевдооживления.

Таким образом, полученное математическое описание процесса аэродинамического взаимодействия газа с пористыми сыпучими материалами может быть положено в основу создания принципиально новых методов экспресс-контроля физико-механических свойств сыпучих материалов, не допускающих смачивания, обладающих высокой развитой поверхностью, а также характеризующихся размерами нанометрового диапазона.

Кафедра «Материалы и технологии» ГОУ ВПО ТГТУ