

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Р. М. МИРЗАХАՅԱՆ, Ն. Խ. ԴԱՆՈՇԵԼՅԱՆ

НЕОДНОРОДНОЕ ПОРШНЕВОЕ ПСЕВДООЖИЖЕНИЕ  
 ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ГАЗОМ

Аппараты, работающие в псевдооживленных системах газ—твердые частицы, имеют широкое применение в различных отраслях промышленности. Как известно [1], когда оживляющим агентом является газ, наблюдается так называемое неоднородное псевдооживление твердых частиц в пузырьковом или поршневом режиме. Поршневое псевдооживление имеет место при сравнительно малых соотношениях диаметров аппарата ( $D$ ) и частиц ( $d$ ) в достаточно широких слоях сыпучего материала [1]. В настоящей заметке дана модель неоднородного поршневого псевдооживления в вертикальной колонке с целью ее дальнейшего применения для расчета пневмотранспортных линий сыпучих материалов, в частности, кварцевого песка.

Картина поршневого псевдооживления представлена на рис. 1, где темные участки представляют собой сгустки частиц—«поршни», с объемной концентрацией твердых частиц  $\varphi_0$ , равной концентрации

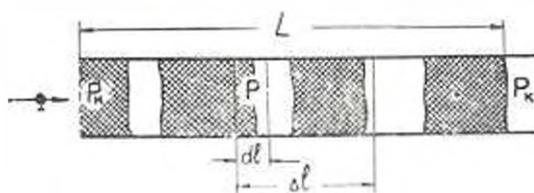


Рис. 1

высокого неподвижного слоя, которые непрерывно движутся и расширяются в верхней части колонки. Часть подаваемого в колонку газа проходит через поры поршней со скоростями, обусловленными перепадом давления в поршнях  $\Delta P$ , согласно следующему уравнению:

$$\Delta P = \lambda \frac{\Delta l_0}{d} \frac{u^2 \rho}{2}, \quad (1)$$

где  $\lambda$ —коэффициент трения;  $\Delta l_0$ —длина поршня;  $d$ —эквивалентный диаметр пор поршней;  $u$ —скорость газа, проходящего сквозь поршни, относительно частиц, рассчитанная на все сечение колонки;  $\rho$ —плотность газа.

Скорости  $u$  можно выразить через скорость газа в порах поршней ( $w$ ) и скорость движения поршней ( $\dot{z}$ ) так:

$$u = (w - \dot{z})(1 - \varphi_0). \quad (2)$$

Другая часть подаваемого в колонку газа (сверх пропускных способностей поршней) движется вверх по слою в виде пузырей, диаметр которых при поршневом псевдооживлении равен диаметру колонки, со скоростью  $\beta$ .

Рассмотрим участок длиной  $\Delta l$  в слое неоднородного поршневого псевдооживления (рис. 1). Длина  $\Delta l$  является суммой длин поршней ( $\Delta l_n$ ) и пузырей ( $\Delta l_0$ ) на этом участке, т. е.

$$\Delta l = \Delta l_n + \Delta l_0. \quad (3)$$

Общий расход газа, проходящего через этот участок  $Q$  является суммой расходов газа сквозь поршни  $Q_n$  и в виде пузырей  $Q_0$  этого же участка:

$$Q = Q_n + Q_0. \quad (4)$$

$\Delta l_0$  и  $Q_n$  определяются следующими выражениями:

$$\Delta l_0 = \frac{Q_0 \Delta l}{\beta F}, \quad (5)$$

$$Q_n = \omega F (1 - \varphi_0). \quad (6)$$

Перепад давления  $\Delta P$  на участке  $\Delta l$  можно определить как [2]:

$$\Delta P = \Delta P_n + \Delta P_t, \quad (7)$$

где  $\Delta P_n$  — потери давления на преодоление веса слоя поршней длиной  $\Delta l_n$ ;  $\Delta P_t$  — потери давления на трение движущихся поршней о стенки колонки;

$$\Delta P_n = \gamma_s \varphi_0 \Delta l_n; \quad (8)$$

$$\Delta P_t = \frac{K \gamma^m}{D^e} \cdot \Delta l_n. \quad (9)$$

В этих выражениях удельная масса твердых частиц ( $\gamma_s$ ), коэффициент  $K$  и показатели  $m$  и  $e$  для каждого сыпучего материала определяются экспериментально.

Как показали наши исследования, скорость движения „поршней“ и „пузырей“ ( $\beta$ ) в вертикальной колонке довольно точно можно выразить уравнением следующего вида

$$\beta = C \left( \frac{Q}{F} - u_0 \right)^x, \quad (10)$$

где  $u_0$  — скорость начала псевдооживления твердых частиц;

$C$ ,  $x$  — коэффициент и показатель, значения которых для каждого сыпучего материала определяются экспериментально.

Напишем уравнения (1) и (7) в дифференциальном виде, учитывая (4), (6), (8) — (10), для элементарного участка  $dl$ , где давление  $P$  и скорость газа  $u$ ,

$$dP = \frac{\gamma u^2 P \rho_k}{2P_k d_s} dl_n, \quad (11)$$

$$dP = \left[ \gamma_1 \gamma_0 + \frac{K}{D^e} \left| C \left( \frac{Q_k P_k}{P F} - u_0 \right)^x \right|^m \right] dl_n, \quad (12)$$

где  $\rho_k$ ,  $P_k$ ,  $Q_k$  -- плотность, давление и расход газа в верхнем сечении слоя.

Решением этой системы уравнений одним из численных методов, в которой переменными являются  $P$ ,  $u$  и  $l_n$ , можно определить давление и скорость газа в любом сечении колонки, над которым суммарная длина поршей равна  $l_n$ . Принимая  $l_n$  равной высоте  $L_n$  неподвижного слоя всех частиц в колонке, можно определить давление  $P_n$  и скорость газа в нижнем сечении слоя.

Совместным решением уравнений (2)-(6) и (10), подставляя средние значения  $Q$  и  $u$  для данного участка, получим выражение (13), по которому можно определить среднюю высоту псевдооживленного слоя  $\Delta l$ .

$$\Delta l = \left[ (2 - \gamma_0) - \frac{\frac{Q}{F} - u}{C \left( \frac{Q}{F} - u_0 \right)^x} \right]^{-1} \Delta l_n, \quad (13)$$

Точность приведенных уравнений была проверена экспериментом псевдооживления кварцевого песка в колонке диаметром  $D = 37,4$  мм (средний диаметр частиц песка  $d_{cp} = 0,242$  мм;  $\gamma_1 = 2640$  кг/м<sup>3</sup>;  $\gamma_0 = 0,53$ ;  $K = 580$ ;  $m = 1$ ;  $e = 0,31$ ;  $C = 0,555$ ;  $x = 0,89$ ;  $u_0 = 0,726$  м/сек). Экспериментально найдено, что для кварцевого песка уравнение (1) имеет вид:

$$\Delta P = (1266,7 + 1835 u) \Delta l, \text{ кг/м}^2, \quad (u > u_0) \quad (14)$$

При  $L_n = 1$  м,  $Q_n = 0,000375$  м<sup>3</sup>/сек и  $P_n = 9250$  кг/м<sup>2</sup> расчетное значение давления по уравнению (12) получается  $P_n = 10902,7$  кг/м<sup>2</sup>. Из уравнений (14) и (12) определяем среднее для всего слоя значение скорости  $u = 0,209$  м/сек, а уравнением (13) -- высоту псевдооживленного слоя  $L = 1,24$  м. Экспериментальные значения  $P_n$  и средней высоты псевдооживленного слоя  $L$  с достаточной точностью совпадают с расчетными данными.

ИОХ АН АрмССР

Поступило 24.11.1975.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гельперс И. И., Министейн В. Г., Киши В. П. Основы техники псевдооживления. Изд. «Химия», М., 1967.
2. Мирзаханян Р. М., Гаспарян А. М. «Известия АН АрмССР, серия технич. наук», т. XXI, № 3, 1968.