

А. Г. МИРЗАХАНИЯН

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АППАРАТОВ
 С НЕОДНОРОДНЫМ ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ

Большинство установок, работающих с псевдоожигенным слоем, относится к системам, в которых контактируются твердые частицы и газ. Как известно, при псевдоожигении твердых частиц газом наблюдается неравномерное псевдоожигение с образованием сгустков частиц и пузырьков газа. Гидродинамика пузырькового псевдоожигения, имеющего место при больших отношениях диаметров аппарата и частиц, изучена недостаточно, что во многих случаях препятствует успешному проектированию промышленных аппаратов. В настоящей статье на основе изучения гидродинамики процесса представлена математическая модель пузырькового псевдоожигения достаточно монодисперсных твердых частиц в аппаратах постоянного и переменного поперечного сечения.

Рассмотрим псевдоожигенный слой небольшой высоты L (м) в цилиндрическом аппарате. В этом слое из общего расхода газа Q ($\text{м}^3/\text{с}$) часть Q_0 ($\text{м}^3/\text{с}$) проходит через непрерывную фазу, а другая часть Q_1 ($\text{м}^3/\text{с}$) в виде пузырей

$$Q = Q_0 + Q_1 \tag{1}$$

Объем псевдоожигенного слоя V (м^3) есть сумма объемов непрерывной фазы V_0 (м^3) и пузырей V_1 (м^3)

$$V = V_0 + V_1 \tag{2}$$

Средняя скорость подъема пузырей β ($\text{м}/\text{с}$) и объемы V_0 , V_1 определяются следующими уравнениями

$$\beta = Q_1 L / V_1 \tag{3}$$

$$V_0 = L_0 F \tag{4}$$

$$V_1 = L F \tag{5}$$

где L_0 — высота непрерывной фазы без пузырей (высота нарыхлого неподвижного слоя), м; F — сечение аппарата, м^2 . Подставляя значения V , V_0 и V_1 из (5), (4), (3) в уравнение (2) и учитывая (1), получим:

$$\frac{L}{L_n} = \beta \cdot \left(\beta - \frac{Q}{F} + \frac{Q_0}{F} \right). \quad (6)$$

Здесь $Q/F = u$ — скорость газа, рассчитанная на полное сечение аппарата, м/с;

$Q_n/F = u_n$ — скорость воздуха через непрерывную фазу или скорость начала псевдооживления. м/с (при небольших числах псевдооживления).

Для элементарного участка слоя длиной dl (м) уравнение (6) примет дифференциальную форму:

$$\frac{dl}{dl_n} = \frac{\beta}{\beta - u + u_n}, \quad (7)$$

где dl_n — высота непрерывной фазы в элементарном участке без пузырей, м.

Скорость u_n в каком-нибудь сечении слоя, где давление P (Па) выражается уравнением (1):

$$u_n = u_{n0} \left(\frac{P_0}{P} \right)^z. \quad (8)$$

Здесь u_{n0} (м/с) — скорость начала псевдооживления частиц, находящихся в верхнем сечении слоя, где давление P_0 (Па). u_{n0} можно определить уравнениями, приведенными в работе [1].

Показатель степени z зависит от режима падения частиц, определяемого приведенным критерием Рейнольдса

$$Re_0 = \frac{C_s \delta^2}{\mu}, \quad (9)$$

где C_s — скорость свободного падения одиночной частицы, м/с; δ — диаметр частиц, м; ρ — плотность среды, кг/м³; μ — вязкость среды, Па·с.

$$\text{При } Re_0 < 0,5 - z = 0,$$

$$0,5 < Re_0 < 750 - z = 0,285,$$

$$Re_0 > 750 - z = 0,5.$$

Скорость газа u и давление P в данном сечении слоя можно выразить через скорость u_n и давление P_0 в верхнем сечении слоя следующими уравнениями:

$$u = u_n P_0 / P; \quad (10)$$

$$P = P_0 + \rho_s \varphi_0 g l_n, \quad (11)$$

где ρ_s — плотность твердых частиц, кг/м³, l_n — высота слоя непрерывной фазы над данным сечением, м; φ_0 — объемная концентрация твердых частиц в псевдооживленном слое при минимальном псевдооживлении; g — ускорение силы тяжести, м/с².

Скорость пузырей β определяется уравнением (2)

$$\beta = A \left(\frac{gL_n}{2} \right)^{\frac{1-x}{2}} (u - u_n)^x \quad (12)$$

Здесь коэффициент A и показатель степени x определяются экспериментально для каждой конкретной системы.

Подставляя значения u_n , u и β из (8), (10), (12) в уравнение (7) с учетом (11), получим следующее дифференциальное уравнение, в котором переменными являются l и l_n

$$\frac{dl}{dl_n} = \frac{1}{1 - \frac{1}{A (gL_n/2)^{\frac{1-x}{2}}} \left[\frac{u_0 P_0}{P_0 + \rho_r \varphi_0 g L_n} - u_{n0} \left(\frac{P_0}{P_0 + \rho_r \varphi_0 g L_n} \right)^z \right]^{1-x}} \quad (13)$$

Решая это уравнение одним из численных методов, интегрируя его в пределах l от 0 до L и l_n от 0 до L_n , можно для заданной скорости газа u_0 определить среднюю высоту псевдооживленного слоя L в зависимости от высоты L_n . Точность приведенных уравнений подтверждается опытом псевдооживления частиц глинозема в вертикальной колонке диаметром $D = 55,5$ мм. Средний диаметр частиц $d = 50$ мкм, $\rho_r = 3470$ кг/м³, $\varphi_0 = 0,25$, $u_{n0} = 0,49$ см/с, $A = 1,39$, $x = 0,713$, $Re_0 = 0,735$, $z = 0,285$. При $L_n = 100$ см и $u_0 = 0,2$ м/с расчетное значение высоты псевдооживленного слоя получается $l = 155$ см, что соответствует опытной величине средней высоты L .

Важным вопросом в технике псевдооживления является расчет аппаратов, обеспечивающих постоянное число псевдооживления N по всей высоте слоя

$$N = u/u_n \quad (14)$$

Постоянство N можно осуществить в аппаратах переменного сечения; при этом уравнение (13) для элементарного участка длиной dl примет вид:

$$\frac{dl}{dl_n} = \frac{1}{1 - \frac{1}{A (gL_n/2)^{\frac{1-x}{2}}} \left[(N-1) \left(\frac{P_0}{P_0 + \rho_r \varphi_0 g L_n} \right)^z u_{n0} \right]^{1-x}} \quad (15)$$

Сечение F аппарата, где давление P , скорость газа u , над которым находится слой непрерывной фазы высотой l_n , можно определить следующим уравнением

$$F = F_0 \left(\frac{P_0}{P_0 + \rho_r \varphi_0 g L_n} \right)^{1-z} \quad (16)$$

Высота непрерывной фазы без пузырей в элементарном участке dl аппарата переменного сечения определяется следующим уравнением:

$$dl_n = \frac{dm}{\gamma_s F \tau_0}, \quad (17)$$

где dm — масса твердых частиц в элементарном участке, кг.

Подставляя F из (16) в (17) и интегрируя последнее уравнение, получим следующие выражения, связывающие величины массы твердых частиц m над данным сечением, высоты непрерывной фазы над данным сечением l_n и площади верхнего сечения F_n .

При $Re_0 < 0,5$ —

$$\ln \frac{P_0 + \gamma_s \tau_0 g l_n}{P_0} = \frac{mg}{F_0 l_0^2}, \quad (18)$$

$Re_0 < 0,5$ —

$$(P_0 + \gamma_s \tau_0 g l_n)^2 = \frac{2mg + F_0 P_0}{l_0^2 F_0}. \quad (19)$$

Определяя скорость u_{no} и выбирая необходимое значение N , уравнением (14) определяется u_0 . Затем уравнением (18) или (19) для ряда значений l_n определяются значения m (или для ряда значений m определяются l_n), уравнением (15) — значения l и уравнением (16) — профиль аппарата.

Приведенными уравнениями (15), (16), (18) и (19) можно рассчитать аппарат переменного сечения для равномерного минимального псевдооживления монодисперсных или узких фракций твердых частиц газом. При этом следует учитывать, что $u_n = u$, $N = 1$, $l = l_n$.

ЕрПИ им. К. Маркса

Поступило 20. V. 1980

Ա. Չ. ԽԵՐՋԱՆՈՅԱՆ

ԱՆՀԱՄԱՍՆԻ ՊԵՆԷՒՐՆԵՂՈՒԿԱՑՎԱՆ ՇԵՐՏՈՎ ԱՊԱՐԱՏՆԵՐԻ
ՀԻՒՐՈՎԻՆԱՄԻԱԿԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿ

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Ներկայացված է մոնոդիսպերս պինդ մասնիկների դադով անհամասնա պսևդոճեղուկացման երևույթի մաթեմատիկական նկարագիրը: Առաջարկված են հավասարումներ պսևդոճեղուկացված շերտի բարձրությունը սրոշելու և շերտի ամրոզը բարձրությամբ հաստատուն պսևդոճեղուկացման թիվ ապահովող փոփոխական կարվածքի ապարատ հաշվելու համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мирзаханян Р. М., Мирзаханян А. Г. Критические скорости псевдооживления твердых частиц газом. Межвуз. сб. науч. тр. ЕрПИИ, сер. XIX. «Химическая технология», вып. 1, Ереван, 1974.
2. Мирзаханян Р. М., Мирзаханян А. Г. О скорости подъема газовых пузырей в неоднородном псевдооживленном слое. Межвуз. сб. науч. тр. ЕрПИИ, сер. XIX. «Химическая технология», вып. 3, Ереван, 1977.