

УДК 532.5

**ДИССИПАТИВНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОСАЖДЕНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ В ТУРБУЛЕНТНЫХ ГАЗОКАПЕЛЬНЫХ ПОТОКАХ**

М.З. Ескендилов, Б.А. Кирикбаев, Л.И. Раматуллаева
ЮКГУ им. М.Ауезова, г. Шымкент

Характер течения газового потока является одним из определяющих факторов, влияющих на эффективность осаждения частиц аэрозоля в турбулентных потоках с организованной вихревой структурой взаимодействия фаз, в которых реализуется синфазный режим вихреобразования при отрывном обтекании потоком газа дискретно расположенных вдоль него тел.

На основе рассмотренных в работе [1] механизмов осаждения аэрозолей за счет диффузионных и инерционных сил в турбулентных газокпельных потоках, определим эффективность осаждения аэрозолей в локальном объеме потока. При решении задачи примем, что осаждение происходит только на каплях. Обоснованность такого допущения была нами доказана в работе [1].

Так как ширина ячейки равна наружному диаметру вихря, общее количество газа, проходящее через ячейку равно:

$$q_z = u_g S_g \quad (1)$$

где $u_g = 0.86u_z$ - скорость движения вихря [2]; $S_g = \pi d_g^2/4$ - площадь поперечного сечения вихря.

Объемный расход жидкости через эту же ячейку составит:

$$q_{жс} = u_k S_g V_{жс} \quad (2)$$

где $V_{жс}$ - объем жидкости в объеме ячейки; u_k - скорость капли.

Массовый расход частиц, осевших на каплях в единицу времени в объеме ячейки, очевидно, будет равен:

$$\Delta M_r = K_z m_r N \Delta V_{яч} \quad (3)$$

где K_z - коэффициент захвата; m_r - масса одной частицы; $\Delta V_{яч} = S_g \Delta h_{яч}$; $h_{яч}$ - высота ячейки; N - число столкновений частиц с каплями в единицу времени и объема, которое определяется по полученному нами уравнению:

$$N = \pi n_{r(n)} n_k (r_k + a_r)^2 \left| \xi_2 \left(\frac{\rho_r - \rho_z}{\rho_z} \right) a_r^2 \frac{\mathcal{E}_0^{3/4}}{v^{5/4}} - \xi_1 \left(\frac{\rho_k}{\rho_z} \right)^{1/3} \mathcal{E}_0^{1/3} r_k^{1/3} \right| \quad (4)$$

где $n_k = V_{жс}/V_k$ - число капель в элементарном объеме; V_k - объем единичной капли; $n_{r(n)}$ - начальная счетная концентрация частиц; a_r - радиус частицы; r_k - радиус капли; \mathcal{E}_0 - энергия диссипации; ξ_1, ξ_2 - масштабные коэффициенты.

Выражение, заключенное в модульные скобки уравнения (4), представляет собой разность относительных скоростей частицы и капли. При этом размер капли намного больше внутреннего масштаба турбулентности среды l_0 , т.е. $r_k \gg l_0$.

Запишем материальный баланс по аэрозолю:

$$q_z m_r n_{r(n)} - q_z m_r (n_{r(n)} - \Delta n_r) - m_r n_{r(n)} n_k K_z A S_g \Delta h_{яч} = 0 \quad (5)$$

Здесь $A = N/n_{r(n)} n_k$

Разделив переменные в уравнении (5), получим:

$$\frac{\Delta n_r}{\Delta h_{яч}} = \frac{n_{r(n)}}{q_z} n_k K_z A S_g \quad (6)$$

Переходя к пределу:

$$\lim_{\Delta h \rightarrow 0} \frac{\Delta n_r}{\Delta h_{яч}} = \frac{dn_r}{dh_{яч}} \quad (7)$$

после подстановки значений $n_k, V_k, v_{жс}$ и преобразований запишем:

$$\frac{dn}{n} = \frac{3}{4\pi} \frac{q_{жс}}{q_z} \frac{K_z A}{r_k^3 u_k} dh_{яч} \quad (8)$$

При образовании капель в результате дробления орошающей жидкости в турбулентном потоке несущей среды, когда $r_k \gg l_0 > a_r$, пренебрегая первым слагаемым в модульных скобках уравнения (4) из-за его малости, определим параметр A :

$$A = \xi_2 \pi r_k^2 \left(\frac{\rho_{жс}}{\rho_z} \right)^{1/3} \mathcal{E}_0^{1/3} r_k^{1/3} \quad (9)$$

Теперь проинтегрировав уравнение (8) с учетом (9), получим:

$$n_{r(k)} = n_{r(n)} \exp\left(-\frac{3}{4} \xi_2 K_3 \frac{q_{жс}}{q_2} \left(\frac{\rho_{жс}}{\rho_2}\right)^{1/3} \frac{\mathfrak{E}_0^{1/3} h_{яч}}{r_k^{2/3} u_k}\right) \quad (10)$$

где $n_{r(k)}$ - конечная счетная концентрация частиц.

Эффективность инерционного осаждения, определяемая как

$$\eta_{Stk} = (n_{r(n)} - n_{r(k)}) / n_{r(n)} \quad (11)$$

с учетом уравнения (9), коэффициента формы капли Φ и удельного орошения $q_{y\partial} = q_{жс} / q_2$ запишется в следующем виде:

$$\eta_{Stk} = 1 - \exp\left(-\frac{3}{4} \xi_2 K_3 \left(\frac{\rho_{жс}}{\rho_2}\right)^{1/3} \frac{\mathfrak{E}_0^{1/3} h_{яч} q_{y\partial} \Phi^2}{r_k^{2/3} u_k}\right) \quad (12)$$

Для процессов, где образование капель происходит не в результате дробления жидкости в турбулентном потоке сплошной среды, а в результате конденсационных процессов, где для образующихся капель справедливо неравенство $a_r \ll r_k < l_0$, то число столкновений N определяется по уравнению (4), но с учетом того, что относительная скорость капли будет определяться также, как и относительная скорость частицы. Для этого случая эффективность осаждения аэрозольных частиц при $\rho_k = \rho_r = \rho_{жс}$ запишется следующим образом (по аналогии с выводом уравнения (12)):

$$\eta_{Stk} = 1 - \exp\left(-\xi_3 K_3 q_{y\partial} \frac{\rho_{жс} r_k h_{яч} \mathfrak{E}_0^{3/4}}{\rho_2 u_k v_2^{5/4}}\right) \quad (13)$$

В связи с мелкодисперсностью образующихся капель их форма в потоке газа остается сферической и не претерпевает изменения, что и определяет отсутствие коэффициента формы Φ в уравнении (13).

Для определения изменения профиля концентрации аэрозоля по высоте элементарной ячейки, предполагая постоянство концентраций в радиальном направлении, воспользуемся однопараметрической диффузионной моделью [3], которая описывается уравнением:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = -u_z \frac{\partial C}{\partial t_g} + D_m \frac{\partial^2 C}{\partial t_g^2} \quad (14)$$

в котором C - концентрация аэрозоля; τ - время; t_g - высота ячейки.

Считая, что объемная скорость постоянная, а потоки равномерно распределены по сечению потока, уравнение материального баланса для ячейки в безразмерном виде с учетом гидродинамической обстановки запишется, как:

$$\frac{d^2 C}{dZ^2} - Pe \frac{dC}{dZ} - K' FC = 0 \quad (15)$$

Здесь $C = c_i / c_{i-1}$; $Z = h / t_g$; $K' = K_0 b / D_m$. где b - поперечный размер тел обтекания.

Число Пекле определяется, как

$$Pe = u_z b / D_m \quad (16)$$

Используя граничные условия

$$C_n = c_{i-1}; \quad \frac{dC}{dZ} = Pe(C_n - C_z) = 0; \quad Z = 0; \quad (17)$$

получим следующее решение уравнения (15):

$$c_i = \frac{c_{i-1}}{X_1 + X_2} [X_1 \exp(X_2 Z) + X_2 \exp(X_1 Z)] \quad (18)$$

где

$$X_{1,2} = \frac{Pe}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{Pe}{2}\right)^2 + K' F} \quad (19)$$

Тогда эффективность улавливания аэрозольных частиц в элементарной ячейке аппара-

та за счет диффузионного механизма осаждения будет определяться по формуле:

$$\eta_D = 1 - \left\{ \frac{1}{X_1 + X_2} [X_1 \exp(X_2 Z) + X_2 \exp(X_1 Z)] \right\} \quad (20)$$

Ввиду незначительного вклада эффекта зацепления, суммарную эффективность осаждения можно представить в виде:

$$\eta_{общ.} = 1 - (1 - \eta_{Stk})(1 - \eta_D) \quad (21)$$

Полученные расчетные данные по уравнению (21) с учетом (12) и (20) при сопоставлении с экспериментальными данными дали неплохую сходимость $\pm 18\%$.

Литература

- 1 Ескендилов М.З. Каскадный перенос частиц полидисперсного аэрозоля в турбулентном потоке // Доклады НАН РК. -2004. -№2. – С.104-109.
- 2 Хьюитт Г., Холл-Тейлор Г.Г. Кольцевые двухфазные течения. – М.: Энергия, 1974. -408 с.
- 3 Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М., Химия, 1971. -496 с.

Қорытынды

Турбулентті газтамшылары кезеңіндегі диффузиялық және инерциялық күш есебінен аэрозольдің механизімін қарастыру кезінде диссипативті келтіру негізінде олардың локалді көлем кезеңінде эсерлі тұнуын анықтау теңдеуі ұсынылды.

Summary

On a basis dissipation the approach by consideration of mechanisms of sedimentation of aerosols for the account диффузионных and inertial forces in turbulent Gas and drops streams, the equations by definition of efficiency of their sedimentation in local volume of a stream are offered.