УДК 539.612

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ «ПРЕДЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ» ДЛЯ ОПИСАНИЯ ОСАЖДЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ПЛОСКОМ КАНАЛЕ

Скапцов А.С., Светлова Т.В., Лазакович К.А.
Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
г. Могилев, Республика Беларусь

Одной из характеристик осаждения аэрозольных частиц в каналах различной формы является коэффициент проскока, который равен отношению концентрации частиц на выходе из канала к концентрации частиц на входе. Для того чтобы по результатам измерения проскока получить данные о скорости движения частиц и проанализировать влияние механизмов осаждения, необходимо основываясь на процессах, протекающих в канале, построить модель осаждения. В качестве модельного устройства для осаждения частиц рассмотрим плоский изотермический канал, между стенками которого существует градиент концентрации активной компоненты бинарной газовой смеси (на практике такие условия можно реализовать в диффузионной или термодиффузионной камере с дополнительным нагревательным элементом.).

Выберем систему координат таким образом, чтобы ось X была направлена перпендикулярно стенкам канала, а ось Z – вдоль стенок по направлению движения потока аэрозольных частиц.

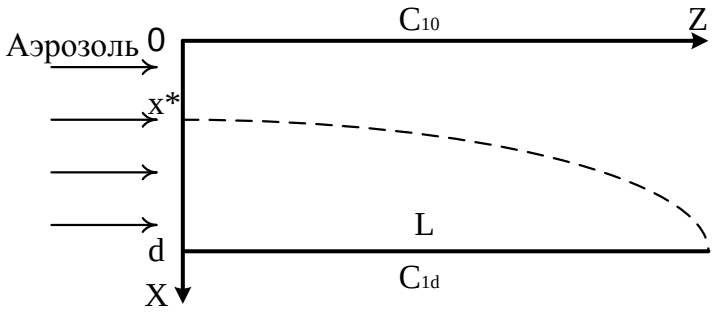

Рисунок 1 – Схема плоского канала с «предельной траекторией» аэрозольных частиц

Для расчета коэффициента проскока используем следующие предположения: на входе в канал и по всей его длине течение газовой смеси является ламинарным, а распределение скорости описывается уравнением, учитывающим фазовые превращения на стенках канала; на входе в канал концентрация аэрозольных частиц одинакова по всему сечению; взаимодействие между частицами отсутствует, так что каждая частица движется независимо от других, а их траектории не пересекаются. Последнее предположение позволяет ввести понятие «предельной траектории», то есть такой длины, проекция которой на горизонтальную плоскость определяет длину канала L для полного осаждения частиц.

Если x^* - начальная координата «предельной траектории» на входе в канал, то все частицы с координатой на входе $x>x^*$ достигнут нижней поверхности канала. Коэффициент проскока частиц через канал можно определить следующим образом $K_{\text{пр}} = 1 - K_{\text{з}}$, где $K_{\text{з}}$ - коэффициент захвата частиц равный отношению потока частиц, поступающих в канал в области (x^* - d), к потоку частиц через водное сечение канала (0-d):

$$K_{\text{пр}} = 1 - \frac{\int_{x*}^{d} V_z(x)dx}{\int_0^d V_z(x)dx}. \quad (1)$$

Для определения коэффициента проскока необходимо знать начальную координату «предельной траектории», которую можно рассчитать из решения уравнения траектории движения частицы с граничными условиями:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{V_z}{V_x};\ z = 0\ x = x^*; z = L\ x = d. \quad (2)$$

Для высокодисперсного аэрозоля можно считать, что V_z компонента скорости частицы равна z-составляющей скорости газа. Если предположить, что $V_x = const$, то можно проинтегрировать уравнение (2) и найти длину канала L, соответствующего предельной траектории частиц. Сравнение полученного выражения с рассчитанными в формуле (1) интегралами позволяет установить связь между коэффициентом проскока и параметрами, описывающими течение бинарной смеси с аэрозолем:

$$V_x\{A(1 - C_{10}) - B[C_1(d) - C_{10}]\} = \left(1 - K_{\text{пр}}\right) \cdot \frac{Q\rho_2 A}{L\rho b}, \quad (3)$$

где Q- объемный расход газовой смеси через канал; L, b и d – длина, ширина и высота канала; C_{10} и $C_1(d)$ - концентрации активной компоненты газовой смеси вблизи верхней и нижней стенок канала; ρ_2 и ρ - плотности второй компоненты и газовой смеси в целом; A и B - некоторые числовые коэффициенты, которые зависят от свойств газовой смеси и условий на стенках канала.

Введем среднюю скорость течения бинарной смеси в канале $\langle V_z \rangle$ и безразмерную поперечную скорость движения частиц V_x^*:

$$\langle V_z \rangle = \frac{Q}{bd}; \qquad V_x^* = \frac{V_x}{\langle V_z \rangle}. \quad (4)$$

С учетом введенных обозначений выражение (3) можно представить в виде:

$$K_{\text{пр}} = 1 - V_x^* \cdot \frac{L\rho}{d\rho_2}\left\{(1 - C_{10}) - {}^{B}/_{A}\,[C_1(d) - C_{10}]\right\}. \quad (5)$$

Зависимость $K_{\text{пр}}$ от V_x^* является линейной, причем с увеличением V_x^* коэффициент проскока линейно уменьшается, а угол наклона прямой определяется сомножителем при V_x^*, который зависит от свойств газовой смеси, условий на стенках канала и его размеров. Следует отметить, что указанный характер зависимости $K_{\text{пр}}$ от V_x^* сохраняется только при определенных числах Пекле (Pe), а более точно установить область применимости модели можно только по результатам численных расчетов.

Если добиться полного осаждения частиц в канале, то есть выполнения условия $K_{\text{пр}} = 0$, то выражение (3) можно переписать:

$$\frac{Q^*\rho_2}{V_x L\rho b} = (1 - C_{10}) - {}^{B}/_{A}\,[C_1(d) - C_{10}]. \quad (6)$$

Здесь под Q^* понимается пороговое значение объемного расхода газовой смеси через канал, при котором все аэрозольные частиц, поступающие на входное сечение канала, осаждаются на нижней стенке канала.

Для выполнения инженерных расчетов каналов с фазовыми превращениями на стенках, в которых происходит полное осаждения частиц, можно рекомендовать более простые соотношения, точность которых на 10-12% ниже приведенных в данной работе.