

ДВИЖЕНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ПЛОСКОМ КАНАЛЕ С ТЕЧЕНИЕМ КУЭТТА

Скапцов А.С., Светлова Т.В.

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
г. Могилев, Беларусь

Экспериментальные исследования движения двухфазных потоков (суспензий, аэрозолей) в плоских или цилиндрических каналах показали, что взвешенные частицы среды способны смещаться в направлении перпендикулярном стенкам канала. Результатом такого поведения частиц является либо образования вблизи стенок канала области свободной от частиц, либо осаждение частиц на стенках на некотором удалении от входа в канал. На движение частиц оказывает влияние множество различных факторов таких как, геометрия канала; направление, профиль и градиент скорости течения; размер и форма частиц, плотности частиц и среды [1]. Осаждение аэрозольных частиц размером от доли микрона до нескольких десятков микрон на входе в различные устройства (трубы, каналы) и на внутренних поверхностях этих элементов представляет интерес с практической точки зрения. Поэтому задача о движении аэрозольных частиц в сдвиговых газовых потоках и привлекает внимание исследователей.

Аэрозольные частицы в потоке испытывают действие гравитационной силы, силы сопротивления со стороны потока, подъемной силы и силы Магнуса. Выражение для расчета подъемной силы, действующей на частицу в неоднородном потоке, впервые было получено Сэфмэном [2], который решил задачу об обтекании сферы плоскопараллельным сдвиговым потоком при малых, но конечных числах Рейнольдса. Расчеты показали, что в сдвиговом потоке при определенных условиях подъемная сила может заметно превосходить силу Магнуса [2].

В настоящей работе рассмотрено действие подъемной силы на аэрозольные частицы, движущиеся с ламинарным потоком в плоском горизонтальном канале с простым сдвиговым потоком. Примером такого потока может служить течение Куэтта, система координат которого представлена на рисунке 1. Предположим, что гравитационные силы не оказывают существенного влияния на движение частиц, а режим течения является континуальным (число Кнудсена $Kn \ll 1$). Для рассмотрения задачи применен метод Лагранжа, в основе которого лежит расчет траектории движения

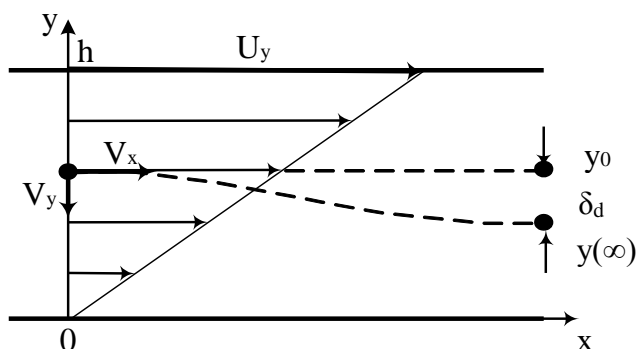


Рисунок 1 – Движение аэрозольной частицы в плоском канале с течением Куэтта

частицы в двумерном потоке.

Уравнения движения частицы можно представить в виде:

$$\frac{dV_x}{dt} = \frac{1}{\tau}(U_x - V_x), \quad (1)$$

$$\frac{dV_y}{dt} = \frac{1}{\tau}(U_y - V_y) + \frac{1}{\tau_d}(U_x - V_x), \quad (2)$$

где U_x и U_y – составляющие скорости газового потока; V_x и V_y – составляющие скорости частицы; τ – время установления силы Стокса; τ_d – время отклонения

частицы от линии тока. Систему уравнений (1)-(2) удобнее переписать и решать в

безразмерной форме с использованием безразмерных параметров: чисел Рейнольдса Re , Стокса Stk и числа Pl , характеризующего подъемный эффект:

$$\frac{Pl}{Stk} \left(\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{1}{Stk} \frac{dy}{dt} \right) = \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad (3)$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{2}{Stk} \frac{dy}{dt} + \left(\frac{1}{Stk^2} - \frac{1}{Pl} \right) y = \frac{1}{Stk^2} y_0 - \frac{1}{Pl} V_{x0}, \quad (4)$$

здесь V_{x0} , y_0 – скорость и координата частицы на входе в канал.

Анализ решения системы уравнений (3)-(4) показывает, что траектория частицы в простом сдвиговом потоке зависит не только от числа Стокса, но и подъемного параметра Pl . Если скорость скольжения частицы относительно газового потока достаточно мала, то частица строго следует линиям тока. Если скорость скольжения частицы не равна нулю, то под действием силы сопротивления и подъемной силы частица отклоняется от линий тока и можно оценить величину максимального смещения δ_d (см. Рисунок 1). Результаты расчетов проекций скоростей частиц V_y/V_x от безразмерной координаты x представлены на рисунке 2. Кривые рассчитаны для одной и той же начальной координаты частицы, но различных скоростях потока U_0 . Графики А (сплошная линия), В (линия в виде точек) и С (пунктирная линия) получены для

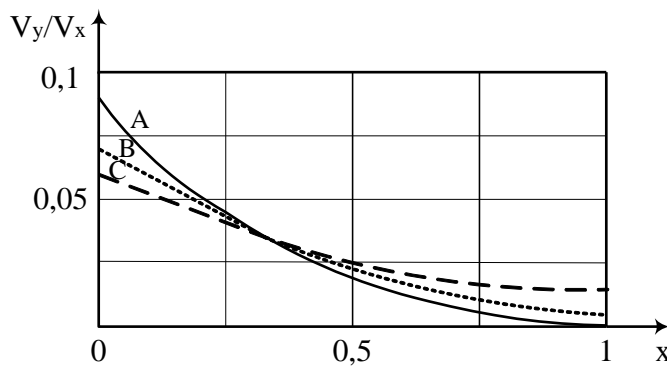


Рисунок 2 – Изменение поперечной составляющей скорости частицы при движении по плоскому каналу

скоростями $U_0 = 1$ м/с, $U_0 = 3$ м/с и $U_0 = 5$ м/с. На входе в канал продольная составляющая скорости частицы V_x увеличивается вместе со скоростью газового потока U_0 и вклад поперечной составляющей V_y , при одной и той же начальной координате, уменьшается. На начальном участке $0 < x < 0,5$ доля поперечной составляющей скорости монотонно уменьшается, причем с разной

скоростью. Более быстрое изменение наблюдается для меньшей скорости потока U_0 , а наименьшее изменение – при самой высокой скорости газа. Для графика А вклад поперечной составляющей скорости частицы на выходе из канала практически равен нулю. Физически это означает, что частица перестает испытывать действие подъемной силы и перемещается вдоль линии тока. Для графиков В и С отношение V_y/V_x на выходе из канала не равно нулю. Это свидетельствует о том, что к частице все еще приложена подъемная сила, но длины канала недостаточно, чтобы частица вышла на некоторую траекторию, совпадающую с линией тока газа.

Список использованных источников

1. McLaughlin, J.B. Inertial migration of a small sphere in linear shear flows / J.B. McLaughlin J.B. // J.Fluid Mech. – 1991. - Vol.224. - P.261-274.
2. Saffman, P.G. The lift on a small spheres in a slow shear flow/ P.G. Saffman // J.Fluid Mech. – 1965. - Vol.22. - P.385-400.