

Режимы взаимодействия газодисперсного потока с твердым телом в широкой области значений управляющих параметров

Г.В. Моллесон¹, А.Л. Стасенко^{1,2}

¹Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского

^{1,2}Московский физико-технический институт (государственный университет)

На основе развитой ранее физико-математической модели, верифицированной сравнением с экспериментальными данными, численно исследованы параметры газодисперсной струи, взаимодействующей с твердым телом [1]. Проведены исследования газодисперсного потока в виде распределения скорости и плотности потока массы частиц на срезе ускоряющего сопла и на обтекаемом теле, а также представлены области падающих, отраженных и хаотизированных частиц в сжатом слое у тела. Использовались сопла с числом Маха на срезе сопла 2.25, 3.8, 6; частицы SiO_2 , Al_2O_3 , Cu , Fe , Fe_2O_3 радиусом от 0.1 до 50 мкм и массовой долей 1–50%.

В широкой области значений температуры и давления в камере смешения, плотности материала, размера и массовой доли частиц, геометрии сопла и формы обтекаемого тела, отношения удельных теплоемкостей и числа Маха несущего газа проведены расчеты, позволяющие определить влияние перечисленных фактор на границу области абсолютно упругого (режимы отскока) и неупругого (эрозийного) столкновения частиц с твердым телом. Поскольку при большом расширении потока ($M = 6$) температура падает ниже дебаевской, учтено влияние значительного изменения удельной теплоемкости и теплопроводности частиц.

Представленные параметры дисперсной массы характеризуют «качество» двухфазного и полидисперсного потока как инструмента для наземного моделирования взаимодействия летательного аппарата с запыленной атмосферой (содержащей, например, частицы вулканических выбросов или кристаллы льда) или в технологиях обработки поверхности.

Изменение коэффициента сопротивления частицы в полидисперсном потоке по оси сопла и до точки торможения на теле показано на рис.1. Области численных расчетов получены на основе данных с протоколов экспериментальных исследований на установках ЦАГИ с холодными ($T_0=290$ К) и горячими потоками ($T_0=1500$ – 1650 К) [2], а также по данным работы [3] с дисперсными потоками при $T_0=500$ – 800 К и схематично представлены на рис. 2.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант 16-19-10472.

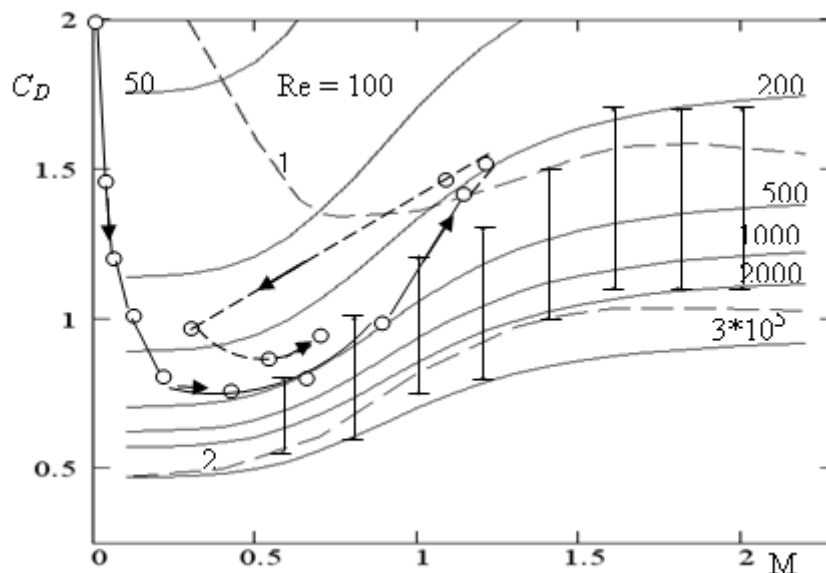


Рис. 1. Зависимость коэффициента сопротивления от чисел Маха и Рейнольдса. Вертикальные отрезки – результаты экспериментов с микрочастицами. Штриховая кривая 1 – условная граница непрерывного обтекания $\text{Kn}(M) \sim 10^{-2}$, кривая 2 – стандартная кривая. Кривая с маркерами соответствует траектории частицы SiO_2 радиусом 12.3 мкм в полидисперсном потоке при $T_0 = 1550$ К

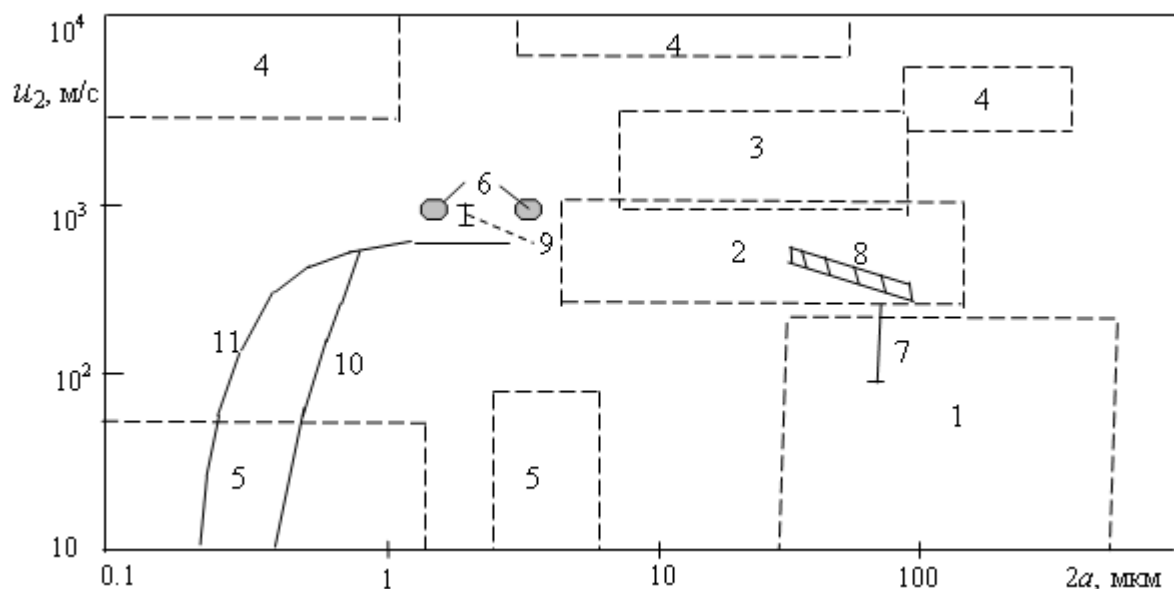


Рис.2. Режимы взаимодействия частицы с телом в координатах скорость соударения – диаметр частицы: 1 – эрозия; 2 – холодное напыление; 3 – сверхглубокое проникновение; 4 – гиперзвуковое столкновение; 5 – прилипание; 6 – частицы, ускоряемые в генераторе Ван де Граафа (позиции 1– 6 приведены в [2]); 7 – «холодная» форкамера, $T_0 = 290$ К; 8 – «горячая» форкамера, $T_0 = 1650$ К, 9 – профилированное сопло, $T_0 = 570\text{--}800$ К; 10, 11 – аналитические оценки для частиц Fe_2O_3 и Fe, соответственно. Позиции 7 – 11 численные исследования настоящей работы

Литература

1. Моллесон Г.В., Стасенко А.Л. Кинетически-тепловое воздействие газодисперсной сверхзвуковой струи на осесимметричное тело // ТВТ. 2014. Т. 52. № 6. С. 907– 916.
2. Кудин О.К., Нестеров Ю.Н., Токарев О.Д., Флакман Я.Ш. Экспериментальное исследование натекания высокотемпературной струи запыленного газа на преграду // Ученые записки ЦАГИ. 2013. Т. 44. № 6. С. 105–115.
3. Василевский Э.Б., Осипцов А.Н., Чирихин А.В., Яковлева Л.В. Теплообмен на лобовой поверхности затупленного тела в высокоскоростном потоке, содержащем малоинерционные частицы // Инж.- физический ж. 2001. Т.74. № 6. С. 34– 42.