

**О ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОРМОЖЕНИЯ СТРУИ ГАЗА  
С ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ЧАСТИЦ  
И ИХ СКОРОСТИ**

Н. В. ПАШАЦКИЙ, Н. И. СЫРОМЯТНИКОВ

(Свердловск)

Приводятся результаты опытов по измерению температуры торможения двухфазной струи, истекающей из сопла. Опыты проводились со смесью воздух — окись алюминия (диаметр частиц 50 мк) при отношении расхода твердой фазы к расходу газа 0.3—2.5 и начальных температурах смеси 150—450°С. Из результатов эксперимента вытекает, что температура торможения двухфазного потока значительно превышает температуру смеси на входе в сопло.

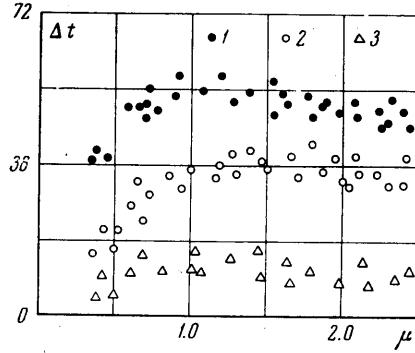
В работе [1] измерялся тепловой поток от струи ракетного двигателя на твердом топливе, содержащем алюминиевые частицы. Оказалось, что тепловое воздействие двухфазной струи в 5—6 раз больше воздействия от струи чистого газа. Существенную роль в увеличении теплового потока играет температура торможения двухфазной смеси, истекающей из сопла.

Изменение скорости частиц достигалось изменением скорости газовой фазы. Исследование производилось на экспериментальной установке, включающей в себя источник сжатого газа — компрессор, бункер с твердой фазой, шnekовый питатель, камеру смешения компонентов, нагревательный элемент, рабочий участок с соплом и пылеулавливающее устройство. В качестве исследуемой смеси использовался воздух с частицами окиси алюминия (средний диаметр частиц 50 мк). Сопло, схема которого представлена на фиг. 1, где  $D = 16$  мм,  $R_1 = R_2 = 10$  мм,  $\theta = 45^\circ$ , имело на выходе цилиндрический участок длиной 10 мм и диаметром 5 мм. Измерение температуры торможения производилось на расстоянии 5 мм от среза сопла с помощью конфузорной хромель-копелевой термопары с диаметром спая 1 мм. При истечении чистого воздуха измеренная температура торможения на выходе из сопла составляла 0.95—0.97 от температуры потока на входе в сопло.

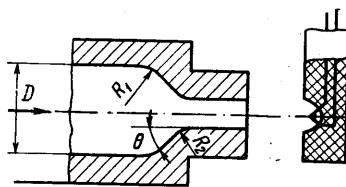
На фиг. 2 показана зависимость от концентрации твердой фазы  $\mu$  разности  $\Delta t$  между температурой, замеренной на выходе из сопла, и начальной температурой (160°С) смеси воздух — окись алюминия при различных расходах воздуха, точки 1, 2, 3 соответствуют  $G = 1 \cdot 10^{-2}$ ,  $8 \cdot 10^{-3}$ ,  $5 \cdot 10^{-3}$  кг/сек. Видно, что увеличение отношения расхода твердой фазы к расходу газа  $\mu$  до 1.5—2.0 приводит к увеличению температуры торможения двухфазного потока. При дальнейшем увеличении концентрации разность  $\Delta t$  убывает. По-видимому, это связано с уменьшением скорости частиц при возрастании их концентрации. Более высокая температура торможения потока смеси при  $G = 1 \cdot 10^{-2}$  кг/сек обусловлена более высокой скоростью твердых частиц.

Результаты исследования влияния начальной температуры  $t_0$  °С смеси на величину температуры торможения двухфазного потока на выходе из сопла при  $G = 8 \cdot 10^{-3}$  кг/сек для концентраций  $\mu = 1$  и  $0.5$  кг/кг, точки 1 и 2 соответственно, показаны на фиг. 3. Начальная температура смеси в опытах изменяется в интервале 150—450°С. Увеличение разности температур  $\Delta t$  объясняется, как и в предыдущем случае, увеличением скорости частиц, вызванным ростом скорости газовой фазы.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что температура торможения струи газа с твердыми частицами определяется скоростью частиц  $v$  и их концентрацией. Очевидно, интерес представляют собой величины скоростей частиц в исследованных потоках. В виду сложности экспериментального определения скорости частиц при больших концентрациях был произведен расчет течения в указанном выше сопле смеси воздух — окись алюминия (50 мк). При расчете предполагалось, что па-



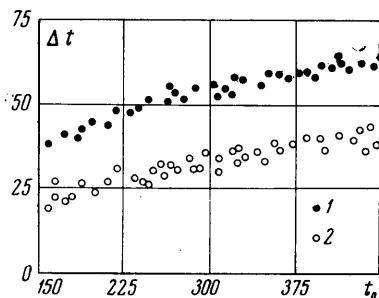
Фиг. 2



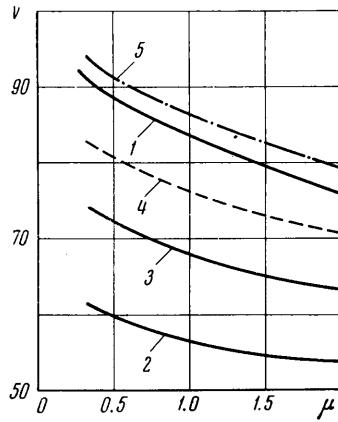
Фиг. 1

ванных потоках. В виду сложности экспериментального определения скорости частиц при больших концентрациях был произведен расчет течения в указанном выше сопле смеси воздух — окись алюминия (50 мк). При расчете предполагалось, что па-

параметры потока зависят от одной координаты, силы тяжести частиц и их объем пре-небрежимо малы, частицы сферические и одного размера. Коэффициент сопротивления частицы взят в форме, предложенной Л. С. Клячко [2]. Процесс течения газа с твердыми частицами описывается системой дифференциальных уравнений, приведенной в работе [3]. Параметры потока на входе в сопло подбирались такими, чтобы обеспечивались расходы воздуха, указанные на фиг. 2. При критическом режиме истечения ( $G = (8-10) \cdot 10^{-3}$  кг/сек) начальные значения параметров соответствовали числу Маха в выходном сечении сопла, равному единице. Решение системы уравнений производилось методом Рунге — Кутта на ЭЦВМ «Урал-2». На фиг. 4 представлен результат расчета скорости частиц  $v$  м/сек в зависимости от концентрации твердой фазы  $\mu$  при расходах воздуха  $G = 1 \cdot 10^{-2}$ ,  $5 \cdot 10^{-3}$  (кривые 1 и 2 соответственно) и  $G = 8 \cdot 10^{-3}$  (кривые 3, 4, 5), сплошные кривые соответствуют начальной температуре смеси  $t_0 = 160^\circ$ , штриховые —  $t_0 = 250^\circ$ , штриховые с точками —  $t_0 = 400^\circ$ .



Фиг. 3



Фиг. 4

Из приведенных данных эксперимента и расчета видно, что при скоростях частиц порядка  $\sim 80$  м/сек температура торможения исследованного двухфазного потока выше температуры смеси на входе в сопло на 35%. Это обстоятельство необходимо учитывать при конструировании и выборе материала деталей и узлов машин, подверженных воздействию двухфазной струи высокой температуры.

Поступило 27 III 1969  
ЛИТЕРАТУРА

1. Cose D. A., Lee B. T. Heat transfer from an impinging rocket jet. AIAA Journal, 1965, vol. 3, No. 1. (Рус. перев.: Ракетная техника и космонавтика, Мир, 1965, № 1, стр. 255—257.)
2. Клячко Л. С. Уравнения движения пылевых частиц в пылеприемных устройствах (По поводу статьи Т. С. Вавакина «О витании шарообразных тел в воздухе», помещенной в журнале «Отопление и вентиляция», 1933, № 2, 3, 4). Отопление и вентиляция, 1934, № 4.
3. Bailly W. S., Nilson E. N., Serra R. A., Zupnik T. F. Gas-particle flow in an axisymmetric nozzle. ARS Journal, 1961, vol. 31, No. 6, pp. 793—799.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЯ В ПЛОСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУЕ

Л. А. ВУЛИС, И. А. КЕЛЬМАНСОН, И. Б. ПАЛАТНИК

(Ленинград)

Излагаются результаты экспериментального исследования плоской затопленной струи воздуха. Проводится распределение средней скорости, пульсаций продольной и поперечной компонент скорости, касательного напряжения трения, коэффициента корреляции в поперечных сечениях струи. Результаты измерений сопоставлены с данными других авторов.