

5. Козлов Н. П., Малащенко В. А., Протасов Ю. С. Излучательные характеристики зоны взаимодействия гиперзвуковых плазменных потоков с преградами в области вакуумного ультрафиолета.— *Журн. прикл. спектроскопии*, 1977, т. 27, № 1, с. 28—31.
6. Малявина Т. Б., Немчинов И. В. Параметры стационарной радиально-симметричной струи паров, нагреваемых излучением.— *ПМТФ*, 1972, № 5, с. 58—75.
7. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. Изд. 2-е. М., «Наука», 1966.
8. Виленская Г. Г., Немчинов И. В. Численный расчет движения и нагрева излучением ОКГ плазмы, образованной при вспышке поглощения в парах твердого тела.— *ПМТФ*, 1969, № 6, с. 3—19.
9. Бергельсон В. И., Голубь А. П., Немчинов И. В., Попов С. П. Образование плазмы в слое паров под действием излучения ОКГ на твердое тело.— В кн.: *Квант. электроника*, № 4 (16). М., «Сов. радио», 1973.
10. Бергельсон В. И., Немчинов И. В., Новикова В. В. «Горение» конденсированного вещества под действием излучения сплошного спектра.— *ФГВ*, 1975, т. 11, № 5, с. 730—733.

УДК 533.6.011

## ЭКРАН ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДАТЧИКОВ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ПОТОКЕ ГАЗА

*В. И. Алферов, А. С. Бушмин*

*(Жуковский)*

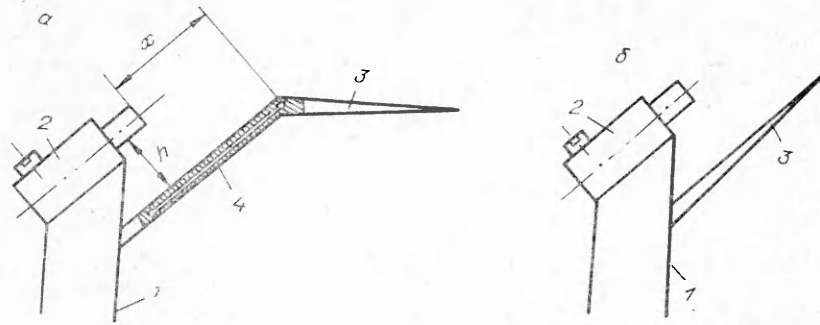
В настоящее время широкое распространение получили установки с электродуговыми нагревателями, поток газа в которых загрязнен механическими примесями, появляющимися из-за эрозии материала электродов, сопла и других элементов конструкции.

Наличие в потоке примесей во многих случаях является нежелательным явлением. Например, исключается возможность использования для исследований в этих установках методов измерений, основанных на регистрации процессов на поверхности измерительного элемента. К таким относится метод каталитических датчиков, применяемый для изучения отклонения состояния газа в потоке от термодинамического равновесия и для изучения каталитических свойств поверхностей. На установках с электродуговыми нагревателями вероятность отклонения состояния газа от равновесного высока из-за неупругого соударения электронов с частицами газа, а также вследствие замораживания состояния газа при расширении его в сопле.

Для исключения влияния механических примесей на исследуемую поверхность целесообразно воспользоваться сепарацией частиц при помощи специальных экранов, работа которых основана на инерционности движения частиц. Течение за экраном должно удовлетворять таким требованиям: быть свободным от примесей, иметь достаточный размер области невозмущенного газодинамического потока, хорошо контролируемой расчетными или экспериментальными методами. В качестве такого течения может быть выбрано течение Прандтля — Майера.

При этом течение около экрана в виде угла не является двумерным. Оно существенно искажается из-за перетекания газа с подветренной стороны экрана, что приводит к образованию вихревых систем с последующим их взаимодействием с набегающим потоком газа. Расчет полной картины течения с учетом трехмерных эффектов весьма затруднен. Поэтому особое внимание обращено на экспериментальное исследование обтекания экранов с применением методов, позволяющих визуализировать трехмерную картину течения и оценить размеры областей, в которых реализуется течение Прандтля — Майера.

Схемы конструктивного решения экранов представлены на фиг. 1, где 1, 2 — державка, 3, 4 — элементы экрана, который представляет собой одну или две пластины. При двух пластинах одна из них ориентирована в направлении потока, а другая расположена под углом к ней.

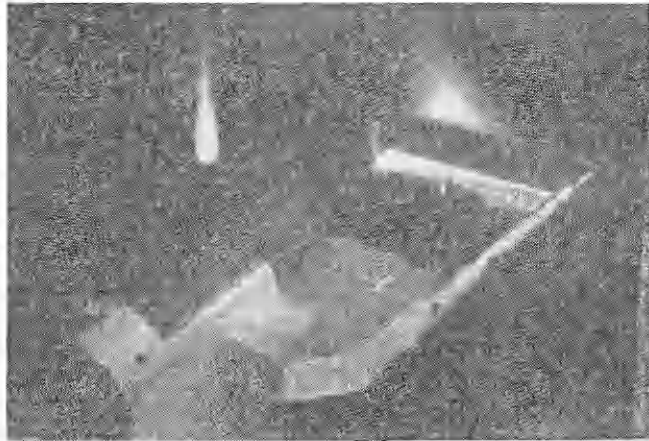


Ф и г. 1

Размеры и расположение деталей экрана выбираются из условия реализации расчетного течения за экраном, отсутствия запыления аэродинамической трубы, значения числа Маха  $M$  потока, требований к размеру зоны, свободной от примесей, условия отсутствия конденсации газа в развернутом потоке; в соответствии с этим был изготовлен экран, у которого угол наклона пластины к направлению потока составлял  $30^\circ$ , а ширина пластины 60 мм. Экспериментальное исследование картины обтекания такого экрана проводилось при  $M = 1,5; 3,0$  в аэродинамической трубе с закрытой рабочей частью, оборудованной сменными плоскими соплами и приборами для визуализации течения [1]. При этом плотность потока воздуха выдерживалась равной  $\rho = 0,15 \text{ кг/м}^3$ . Исследования проведены при различных расстояниях датчика от поверхности наклонной плоскости экрана ( $h = 8; 22 \text{ мм}$ ) и различных расстояниях торца датчика от вершины угла поворота потока ( $x = 30, 35, 40, 45, 50 \text{ мм}$ ). Визуализация течения осуществлялась по способу теневой съемки, парового экрана [2] и масляной пленки. При теневой съемке использовался прибор Теплера ТЕ-14. При визуализации способом парового экрана к двум распылителям, снабженным расходящимися соплами диаметром  $d = 1,5 \text{ мм}$  и расположенным в форкамере трубы, подавалась смесь дистиллированной воды со спиртом под давлением 2,5 атм. В результате в потоке образовывались частицы мелкодисперсного тумана. Визуализируемая область течения освещалась через щелевую диафрагму от интенсивного источника света. Наличие аэродинамических неоднородностей приводило к перераспределению концентрации частиц, интенсивности отраженного света и регистрировалось фотографированием. Картина течения в пограничном слое с использованием масляной пленки регистрировалась также фотографированием.

Эксперименты по проверке работоспособности предложенного экрана в условиях, когда поток воздуха загрязнен механическими примесями, проводились в аэродинамической трубе с электродуговым нагревателем газа при следующих условиях: давление воздуха в форкамере  $p_0 = 14 \times 10^5 \text{ Па}$ ; температура торможения  $T_0 = 3500-4000 \text{ К}$ ; ток и напряжение дуги нагревателя соответственно  $I = 900 \text{ А}$ ,  $U = 500 \text{ В}$ ; воздух разгонялся в коническом медном сопле с диаметром критического сечения  $d^* = 5 \text{ мм}$  и диаметром выхода  $d_b = 100 \text{ мм}$ . Степень загрязнения поверхности датчика при отсутствии и при наличии экрана определялась по изменению электропроводности поверхности.

Распределение механической примеси при обтекании экрана в виде пластины под углом атаки показано на фиг. 2 ( $M = 1,5$ ). В эксперименте, к которому относится фиг. 2, визуализировано сечение, отстоящее на 15 мм



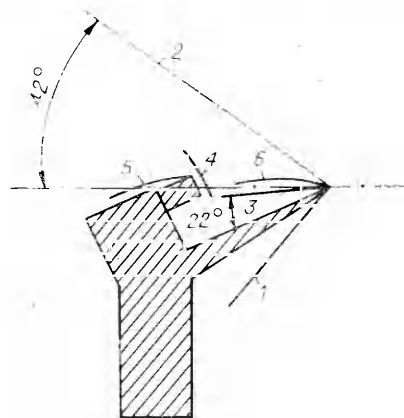
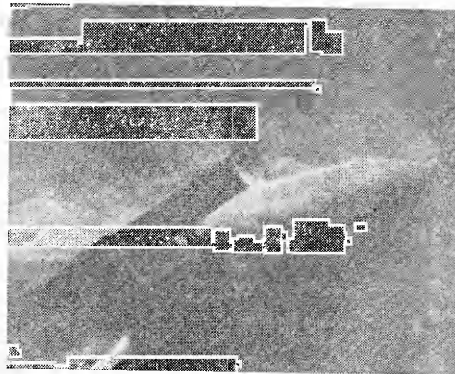
Ф и г. 2

от вершины экрана. Область наибольшей концентрации частиц примеси на фото выглядит светлой. Видно, что в область, затененную экраном, частицы примеси не проникают. Исследования показали, что заметное проникновение частиц примеси в зону затенения начинается с расстояния  $x \approx 30$  мм.

На фиг. 3 представлена картина обтекания экрана в виде наклонной пластины при условиях:  $M = 1,5$ ;  $x = 45$  мм;  $h = 22$  мм, обозначены следующие зоны: 1 — скачок уплотнения, 2, 3, — веер волн разрежения, 4 — головная ударная волна, 5, 6 — зоны пониженной плотности. Положение веера волн разрежения рассчитано по [3]. Согласно экспериментальным результатам, за экраном зона течения, свободная от механических примесей, имеет угол раствора  $\sim 22^\circ$ . Этот результат согласуется с расчетным.

Вихревые зоны, связанные с перетеканием воздуха из области высокого давления под наклонной пластиной в область низкого давления над ней, показаны на фиг. 4 ( $M = 1,5$ ;  $x = 45$  мм;  $h = 8$  мм), видно, что при условиях опыта вихри занимают граничные области наклонной плоскости, а центральная зона ( $\sim 30$  мм) от вихрей свободна.

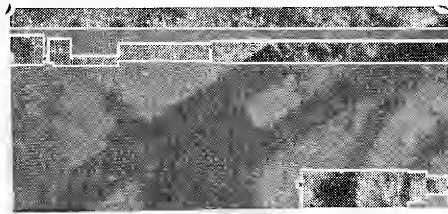
Картина обтекания датчика с экраном при  $M = 3$  представлена на фиг. 5, а картина течения



Ф и г. 3



Ф и г. 4



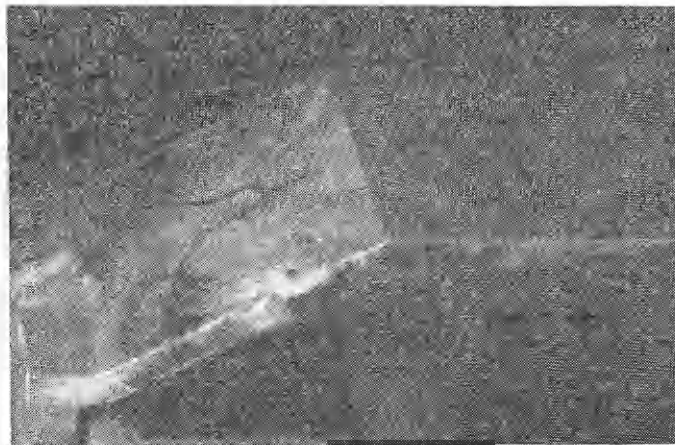
Ф и г. 5

верхность датчика покрыта, например, серебром) на установке с электродуговым нагревателем воздуха. Следует отметить, что при  $M \approx 6$ , реализуемых на этой установке, зона с течением Прандтля — Майера составляет величину  $5 - 7^\circ$  (если предполагать по аналогии с результатами при меньших  $M$ , что и в этом случае результаты экспериментов и расчетов будут согласовываться).

в пограничном слое в этом случае — на фиг. 6. Из фиг. 5 можно определить размер зоны, в которой реализуется течение Прандтля — Майера, сектор составляет  $\sim 10^\circ$ . Этот результат согласуется с расчетным.

В некоторых экспериментах наблюдался отрыв пограничного слоя на поверхности экрана. Избавиться от нежелательного явления помогало использование специального устройства для отсоса пограничного слоя (см. фиг. 1, а). Устройство имеет вид камеры, соединяющей зону отрыва слоя с зоной пониженного давления. Эксперименты показали, что при использовании такого устройства отрыв пограничного слоя затягивается и за вершиной поворота потока образуется зона с расчетным течением, размер которой достаточен для размещения датчика.

Экраны использованы для защиты поверхности каталитически активных датчиков (по-



Ф и г. 6

Эксперименты продемонстрировали работоспособность предлагаемых экранов. При отсутствии экрана состояние поверхности датчика изменялось в течение одного пуска ( $\tau \approx 10$  с) — поверхность становилась неэлектропроводной. При экранировании поверхность датчика становилась неэлектропроводной после четырех—пяти десятисекундных пусков. Измерения тепловых потоков экранированными каталитическими датчиками показали, что тепловой поток в условиях опытов не зависел от каталитической активности поверхности с точностью до погрешности измерения теплового потока. Таким образом, приведенные эксперименты позволили выявить характер обтекания экранов, действие которых основано на использовании поворота потока с реализацией течения Прандтля — Майера, и уменьшить осаждение примесей на поверхности датчика на установке с электродуговым подогревателем газа.

Поступила 21 XI 1977

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алферов В. И., Бушмин А. С. Электрический разряд в сверхзвуковом потоке воздуха. — ЖЭТФ, 1963, т. 44, вып. 6, с. 1775.
2. Mc Gregor. The vapour-screen method of flow visualization. — «Fluid Mech.», 1961, vol. 12, N 4.
3. Ферри А. Аэродинамика сверхзвуковых течений. М., ГИТТЛ, 1952.

УДК 532.529.516

### РАЗРУШЕНИЕ СОВОКУПНОСТИ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТИ В УДАРНЫХ ВОЛНАХ

Б. Е. Гельфанд, С. А. Губин, Е. И. Тимофеев,  
С. М. Шепарнев

(Москва)

Развитие исследований динамики многофазных течений показывает, что процесс дробления капель жидкости существенно влияет на физические и химические явления в газожидкостной среде. Однако подавляющее большинство сведений о дроблении капель получено на примере одиночных или далеко отстоящих друг от друга капель [1, 2]. В реальных случаях совокупность капель в системе распределена произвольным образом. При этом пока нет никаких оснований полагать поведение всей совокупности идентичным поведению отдельно взятой капли из этой совокупности. Обосновано ожидать, что при некоторой плотности числа капель начнется взаимное влияние капель друг на друга. В современных энергетических установках, использующих энергию жидкого топлива, плотность числа капель в единице объема велика и возрастет с ростом давления, при котором происходит сжигание топлива. Увеличение объемной доли жидкости в системе до значений, превышающих 1% от объема газа, уже может потребовать учета взаимодействия соседних капель, так как расстояние между каплями уменьшается до величины  $\Delta l < 10 d_0$ , где  $d_0$  — размер капли. Вполне вероятно появление специфики распада капель при наличии близкорасположенных соседних частиц.

Одна из причин взаимного влияния частиц указана в [3], где высказана гипотеза о возрастании скорости дробления в цепочке последовательных капель вследствие увеличения плотности двухфазного потока из-за распада частиц, стоящих выше по потоку, чем исходная. Однако этот вывод из [3] является спорным, так как он сделан лишь на основе анализа заключительной стадии