

3. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М., «Наука», 1967.
4. Шумский П. А. Динамическая гляциология. М., ВИНИТИ, 1969 (Итоги науки. Сер. география. Вып. 1).
5. Бостанджиян С. А., Черняева С. М. О гидродинамическом тепловом «взрыве» не-ньютоновской жидкости. Докл. АН СССР, 1966, т. 170, № 2.
6. Барзыкин В. В., Гончаровская В. Т., Мержанов А. Г., Худяев С. И. К нестационарной теории теплового взрыва. ПМТФ, 1964, № 3.

УДК 532.525.6:536.24

## ПУЛЬСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДОЗВУКОВОЙ СТРУИ И ДОЗВУКОВОГО УЧАСТКА СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУИ С ПЛОСКОЙ ПРЕГРАДОЙ

В. М. КУПЦОВ

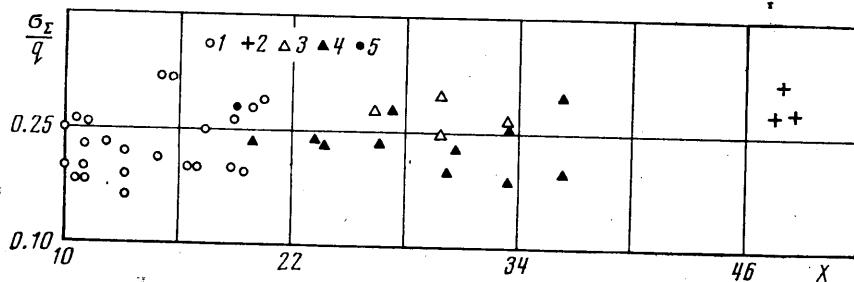
(Москва)

Проведены измерения пульсаций давления при натекании на плоскую преграду дозвуковой струи и дозвукового участка нагретой сверхзвуковой струи. Получены данные по суммарным и спектральным уровням пульсаций давления на различных расстояниях  $X$  преграды от среза сопла. Показано, что при расположении преграды на участке струи, где местная скорость дозвуковая, уровни пульсаций вне зависимости от условий на срезе сопла (числа Maxa  $0 < M_a \leq 3.0$ ; температуры торможения  $T_0 = 280-1200^\circ\text{K}$ ) изменяются прямо пропорционально местному скоростному напору  $q$ . Отношение суммарного уровня  $\sigma_x$  к  $q$ :  $(\sigma_x/q) = 0.2 \div 0.3$ . Установлено, что при дозвуковой скорости перед преградой все спектры, полученные при различных значениях  $M_a$ ,  $T_0$ ,  $d_a$  и  $X$ , в координатах  $Sh = f(d/V)$  и  $(\sigma_{1*}/q)^1/(V/d)$  ложатся на единый обобщенный спектр. Здесь  $\sigma_{1*}$  — уровень пульсаций в полосе 1 Гц;  $d$  и  $V$  — соответственно диаметр и скорость струи непосредственно перед преградой.

На практике часто требуется знать пульсации давления на обтекаемом струей теле. В настоящее время имеется значительное количество работ по исследованию пульсаций давления при взаимодействии сверхзвуковой струи с преградой (см., например, [1, 2]). Однако во всех этих работах рассматривается близкое взаимодействие, когда преграда находится вблизи среза сопла и взаимодействует со сверхзвуковым потоком. В отличие от этого в данной работе проведено исследование пульсаций давления при натекании на преграду дозвукового участка сверхзвуковой струи, т. е. когда преграда расположена далеко от среза сопла. Поскольку в прикладных задачах часто встречаются случаи взаимодействия с горячими струями, то было также проведено исследование влияния температуры на пульсации давления на преграде. В данной работе также рассмотрено взаимодействие с дозвуковыми струями.

Во всех опытах в качестве преграды использовалась плоская пластина, перпендикулярная к вектору скорости в набегающем потоке. По своим размерам пластина значительно превышала диаметр исследуемых струй. В данной работе измерения пульсаций давления были проведены только в центральной точке преграды, т. е. в точке пересечения оси струи с плоскостью преграды. Для измерения и анализа пульсаций давления использовалась та же аппаратура, что и в работе [3]. Кроме пульсаций давления на преграде были проведены измерения распределения вдоль оси струи полного давления  $P_{0x}$  и температуры торможения  $T_{0x}$ . Для измерения полного давления использовалась трубка Пито, а для измерения температуры торможения — хромель-алюмелевая термопара. Результаты измерения  $P_{0x}$  и  $T_{0x}$  позволяли определить распределение скорости  $V$  и скоростного напора  $q$  вдоль оси струи.

Для создания дозвуковых струй использовались сопла с различными диаметрами выходного сечения  $d_a = 8 \div 35$  мм. Измерения были проведены при числах  $M_a$  на срезе сопла  $M_a = 0.59 \div 1.04$  и различных положениях преграды  $X = (X_1/d_a) = 10 \div 20$ , где  $X_1$  — расстояние от преграды до среза сопла. Число  $M_a$  изменялось путем изменения давления в рециркуле. Для получения сверхзвуковой струи использовались два сопла: сопло с  $M_a = 3.0$  и  $d_a = 30$  мм и сопло с  $M_a = 2.0$  и  $d_a = 4$  мм. В первом случае  $M_a = 3.0$  измерения были проведены на участке  $X = 23 \div 36$  при нерасчетности  $P_a = 0.44$ , а во втором — при  $X = 50$  и  $P_a = 1.0 \div 2.0$ . Во всех опытах со сверхзвуковой

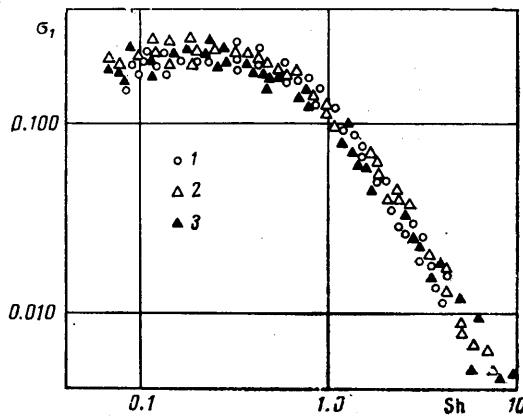


Фиг. 1

струей при указанных выше значениях  $X$  местная скорость потока перед преградой была дозвуковой.

Результаты измерения суммарных уровней пульсаций давления при различных значениях числа  $M_a$ , температуры торможения  $T_0$ , степени нерасчетности  $P_a$  и расстояния  $X$  изображены на фиг. 1. Для дозвуковых струй приведены только данные, полученные при  $X > 10$ . На фиг. 1 обозначено: 1 —  $M_a \leq 1.0$ ,  $T_0 = 280^\circ\text{K}$ ; 2 —  $M_a = 2.0$ ,  $T_0 = 280^\circ\text{K}$ ; 3 —  $M_a = 3.0$ ,  $T_0 = 280^\circ\text{K}$ ; 4 —  $M_a = 3.0$ ,  $T_0 = 700 \div 1200^\circ\text{K}$ ; 5 —  $M_a = 0.18$  [4]. Видно, что суммарные уровни пульсаций давления  $\sigma_x$  изменяются прямо пропорционально местному скоростному напору  $q$  перед преградой. Отношение  $\sigma_x/q$  не зависит ни от числа  $M_a$ , ни от температуры торможения  $T_0$ . При изменении  $X$  от 10 до 50 относительный суммарный уровень  $\sigma_x/q$  слабо увеличивается примерно с 0.20 до 0.30. Так как при увеличении  $T_0$  местный скоростной напор  $q$  при прочих равных условиях уменьшается, то интенсивность пульсаций при нагревании струи также уменьшается. Поскольку отношение максимального размаха ( $\Delta P$ )<sub>max</sub> (удвоенной амплитуды) к среднеквадратичному  $\sigma_x$ :  $(\Delta P_{\max}/\sigma_x) \approx 5$ , то из полученных данных следует, что максимальные размахи колебаний давления в центре преграды по порядку величин равны скоростному напору.

Спектральный анализ показал, что во всех испытанных случаях при  $X > 10$  и местной дозвуковой скорости перед преградой спектры широкополосные без дискретных составляющих. Было найдено, что спектральные уровни пропорциональны скоростному напору и существенным образом зависят от диаметра струи и скорости газа перед преградой. Спектральные уровни пульсаций давления на преграде определяются турбулентностью в набегающем потоке. Поскольку масштаб турбулентности пропорционален диаметру струи  $d$ , то характеристическая частота пульсаций  $f_0 \approx V/d$ , где  $V$  — местная осевая скорость в сечении  $X$ . Поэтому для обобщения спектральных данных целесообразно воспользоваться вместо  $f$  безразмерной частотой местным числом Струхала  $Sh = (f/f_0) = f \cdot d/V$ . Так как при переходе от частоты  $f$  к безразмерной частоте  $Sh$  единичная полоса частот увеличивается в  $d/V$  раз, то и энергия пульсаций в этой полосе также возрастает в  $d/V$  раз. Исходя из этого, а также из того факта, что уровни пульсаций пропорциональны скоростному напору  $q$ , введем в рассмотрение вместо спектрального уровня в полосе частот 1 гц  $\sigma_{1*}$  нормированный уровень  $\sigma_1 = \sigma_{1*}/q \cdot \sqrt{V/d}$ . На фиг. 2 представлены результаты обработки различных спектров в координатах  $\sigma_1$  по  $Sh$ . Здесь обозначено: 1 —  $M_a \leq 1.0$ ,  $X = 10 \div 20$ ,  $d_a = 8 \div 35$  мм; 2 —  $M_a = 3.0$ ,  $T_0 = 280^\circ\text{K}$ ,  $23 < X < 33$ ; 3 —  $M_a = 3.0$ ,  $T_0 = 700 \div 1200^\circ\text{K}$ ,  $23 < X < 33$ . Из фиг. 2 видно, что в координатах  $\sigma_1$  и  $Sh$  все спектры вне зависимости от  $M_a$ ,  $T_0$ ,  $d_a$  и  $X$  образуют единый обобщенный спектр с максимумом при  $Sh \approx 0.3$ .



Фиг. 2

## ЛИТЕРАТУРА

1. Губанова О. И., Лунев В. В., Пластинина Л. И. О центральной срывной зоне при взаимодействии сверхзвуковой недорасширенной струи с преградой. Изв. АН СССР, МЖГ, 1971, № 2.
2. Семилетенко Б. Г., Собколов Б. Н., Усков В. Н. Особенности неустойчивого взаимодействия сверхзвуковой струи с безграничной преградой. Изв. Сиб. отд. АН СССР серия техн. наук., 1972, № 13, вып. 3.
3. Ануфриев В. М., Комаров В. В., Купцов В. М., Мельников Д. А., Сергиенко А. А. Дискретная составляющая в спектре шума сверхзвуковых струй. Изв. АН СССР, МЖГ, 1969, № 5.
4. Coleman Dup. Donaldson, Richard S. Snedeker, David P. Margolis. A study of free jet impingement. Part 2, Free jet turbulent structure and impingement Heat transfer. S. Fluid Mech., 1971, vol. 45, pt 3, pp. 477–512.

УДК 532.546

## ПО ПОВОДУ ВОПРОСА О МОДУЛИРУЮЩИХ ФУНКЦИЯХ

П. Я. ПОЛУБАРИНОВА-КОЧИНА

(Москва)

В журнале МЖГ опубликованы заметка [1] и статья [2], целью которых было указать на трудности, порою возникающие при применении модулирующих функций для определения коэффициентов некоторых уравнений в частных производных, например уравнений фильтрации жидкостей в пористых средах.

По поводу этих статей нужно добавить следующее: указанные трудности при использовании модулирующих функций для определения коэффициентов дифференциальных уравнений ни в коей мере не дискредитируют интегральные методы решения обратных задач. Следует отметить, что подобного рода сложности возникают при решении большинства обратных задач, которые, как правило, являются некорректными. Проблема выбора модулирующих функций в некотором смысле аналогична выбору параметра регуляризации при решении некорректных задач [3].

В заметке [1] приведен простейший пример возможности получения большой ошибки: его можно интерпретировать не как ошибку в выборе приближенного решения, а как ошибку при вычислении интеграла от экспериментальной функции.

В статье [2] разбирался вопрос о единственности решения задачи отыскания коэффициентов уравнения типа обобщенного уравнения теплопроводности и предложен некоторый способ выбора модулирующих функций для получения переопределенной системы алгебраических уравнений, которая решается методом наименьших квадратов.

Метод модулирующих функций был предложен в [4, 5] и вызвал отклики в ряде работ [6–9], в которых даны предложения по способу получения хорошо обусловленных систем. Эти работы, относящиеся к разнообразным научно-техническим областям, не были известны авторам [1, 2]. Ряд замечаний к алгоритмической структуре метода модулирующих функций есть в работе [10], в которой широко развиваются интегральные методы при определении параметров и предложен в связи с этим ряд других способов.

После указанных статей появилась книга [11], в которой трактуются с довольно общей точки зрения вопросы определения параметров дифференциальных уравнений теории фильтрации (см. также [12]). Все эти работы направлены на развитие интегральных методов и, в частности, на то, как получить хорошо обусловленную систему уравнений.

Поступила 22 IV 1975

## ЛИТЕРАТУРА

1. Полубаринова-Кочина П. Я. К вопросу о модулирующих функциях. Изв. АН СССР, МЖГ, 1973, № 5.
2. Басович И. Б. Об определении параметров пласта с применением модулирующих функций. Изв. АН СССР, МЖГ, 1973, № 5.
3. Тихонов А. Н. О решении некорректно поставленных задач и методы регуляризации. Докл. АН СССР, 1963, т. 151, № 3.