

6. Batham J. Pressure distributions on circular cylinders at critical Reynolds numbers.— J. Fluid Mech., 1973, vol. 57, N 2.
7. Kistler A. L. Fluctuating wall pressure under a separated supersonic flow.— J. Acoust. Soc. Amer., 1964, vol. 36, N 30.
8. Shvets A. I. Base flow.— In: Progress in Aerospace Sci. Vol. 18. N. Y., 1978.
9. Горлин С. М. Экспериментальная аэродинамика. М.: Высшая школа, 1970.
10. Speaker W. V., Ailman C. M. Static and fluctuating pressures in regions of separated flow. AIAA Paper, 1966, N 456.
11. Назаренко В. В., Невежина Т. П. Пульсации давления на осесимметричном теле при трансзвуковых скоростях потока.— Учен. зап. ЦАГИ, 1980, т. 11, № 1.
12. Авиационная акустика/Под ред. А. Г. Мунина, В. Е. Квитки. М.: Машиностроение, 1973.
13. Heller H. H., Clemente A. R. Unsteady aerodynamic loads on slender cones of free-stream Mach numbers from 0 to 22. AIAA Paper, 1973, N 73—998.
14. Кушцов В. М., Остроухова С. И. Пульсации донного давления за цилиндром и диском при обтекании дозвуковым потоком.— Изв. АН СССР. МЖГ, 1977, № 1.
15. Панов Ю. А., Швец А. И., Хазен А. М. Исследование колебаний донного давления за конусом в сверхзвуковом потоке.— Изв. АН СССР, МЖГ, 1966, № 6.

УДК 533.853.4.004.14 : 533.605

## К ИЗУЧЕНИЮ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ РАЗРЫВНЫХ ТЕЧЕНИЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫМ МЕТОДОМ

В. А. Комиссарук, Н. П. Менде

(Ленинград)

При исследовании разрывных течений с помощью интерферометра прежде всего необходимо установить соответствие интерференционных полос по обе стороны изображения разрыва. Известный экспериментальный способ — получение вспомогательной картины в белом свете — не всегда может быть реализован. Сравнительно недавно предложен расчетный способ идентификации полос, детально изложенный в [1]. Мы пользуемся этим способом в форме, которая ему придана в [2], где разность хода, вносимая объектом, рассматривается как функция переменной  $\alpha = \sqrt{1 - (y/R)^2}$ ; Здесь  $y$  — текущая координата в расчетном сечении, отсчитываемая от оси симметрии.  $R$  — радиус сечения (координата изображения ударной волны). Отрезок  $\alpha R$  составляет половину геометрической длины пути луча в неоднородности.

Как показано в [2], разность хода  $\Delta N$  — нечетная функция аргумента  $\alpha$  и может быть аппроксимирована полиномом

$$\Delta N = a_1\alpha + a_3\alpha^3 + \dots,$$

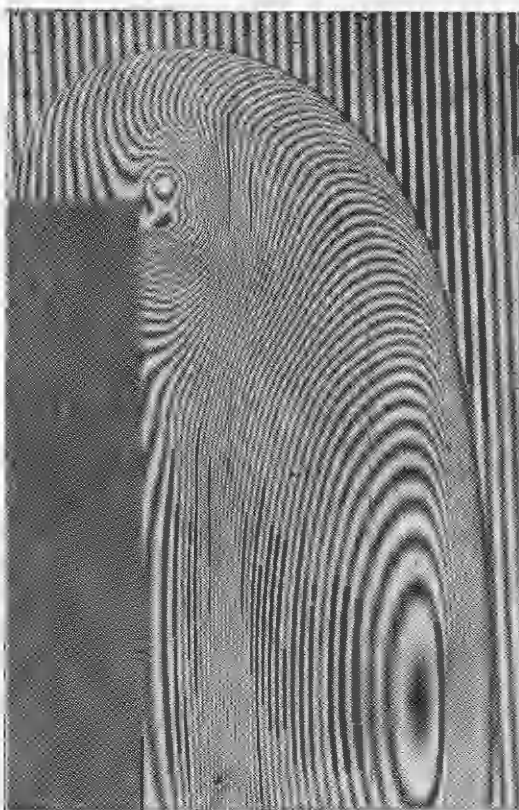
$a_{1,3}$  — постоянные.

По интерферограмме сначала находят некоторую условную разность хода  $\Delta N_{\text{усл}} = a_0 + \Delta N$ , где  $a_0$  — неизвестная целочисленная поправка. Ее определяют посредством экстраполяции функции  $\Delta N_{\text{усл}}$  в окрестность точки  $\alpha = 0$ ; найденную величину  $\Delta N_{\text{усл}}(0)$  округляют до ближайшего целого числа, которое и принимают в качестве искомой поправки.

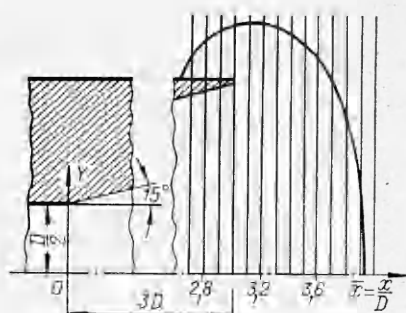
Ниже приводятся результаты, полученные для объекта с ударной волной переменной интенсивности. На практике оказалось, что обработка данных по сечениям в областях с сильной и слабой ударной волной дает разную нумерацию полос. Как будет показано, это происходит, по всей видимости, из-за небольших систематических погрешностей в определении радиуса  $R$ .

На фиг. 1 приведена интерферограмма течения за ударной волной, полученная на поляризационном интерферометре [3]. Ударная волна образована взрывом твердого взрывчатого вещества в цилиндрическом канале диаметром 34,2 мм; канал переходит в коническое сопло на расстоянии 1,4 м от места взрыва. На фиг. 2 показана конфигурация канала и расчетные сечения, параллельные срезу сопла. В качестве характерного размера взят диаметр цилиндрического канала. Рабочим газом является воздух при комнатной температуре и давлении 580 ГПа.

В данном случае нумерацию полос легко провести благодаря тому, что на снимке имеется область, где интенсивность ударной волны достаточно мала: дифрагированный участок ударной волны левее среза сопла. В этом месте выполняются условия, позволяющие установить соответст-



Фиг. 1

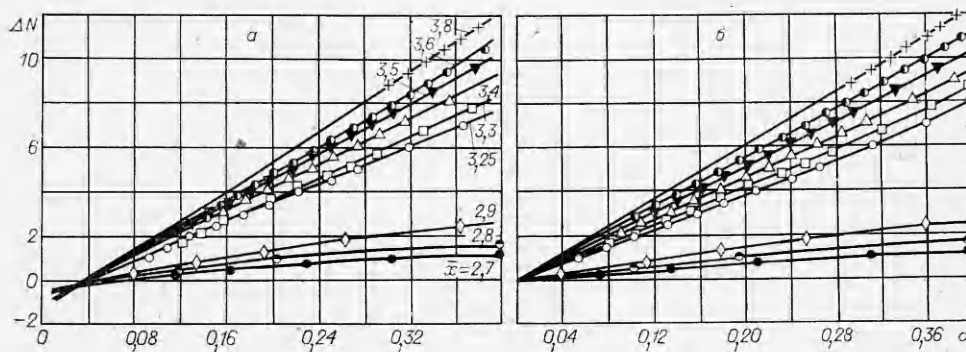


Фиг. 2

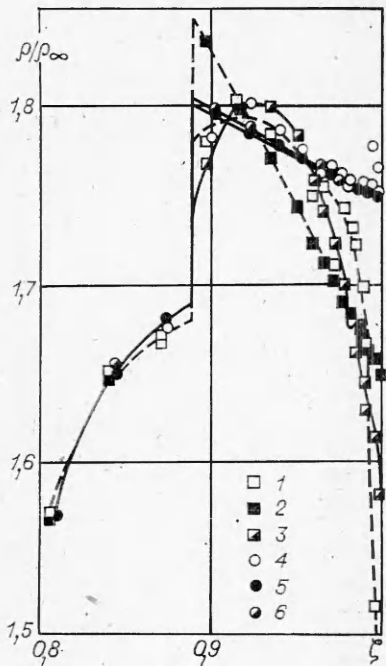
вие возмущенных и невозмущенных полос непосредственно [4]. На фиг. 3, а для нескольких сечений приведены значения истинной разности хода; видно, что нумерация полос по способу [2] для некоторых сечений привела бы к ошибке на единицу. Систематический характер ошибки позволяет установить ее причину и практически исключить ее влияние.

Наблюдаемое на фиг. 3, а смещение функций разности хода может быть вызвано либо влиянием рефракции вблизи ударной волны, либо ошибкой

в измерении радиуса расчетного сечения. Первая причина может привести к смещению интерференционных полос. Естественно ожидать, что оно будет тем сильнее, чем интенсивнее ударная волна; однако построенные графики этого не показывают (интенсивность ударной волны выражается на них в скорости нарастания разности хода). Вторая из названных причин легко поддается проверке. После небольшого изменения величины  $R$  получены зависимости, показанные на фиг. 3, б: функции разности хода приобрели более упорядоченный вид и теперь все проходят через начало координат. Во всех случаях радиус пришлось уменьшить; величина поправки для разных сечений оказалась в пределах 0,2—0,3 мм. Такая погрешность представляется вполне правдоподобной, если учесть, что разрешение оптической системы составляет около 10 лин/мм. Систематический характер ошибки наводит на предположение, что изображение ударной волны слегка размыто из-за неточной фокусировки фотогра-

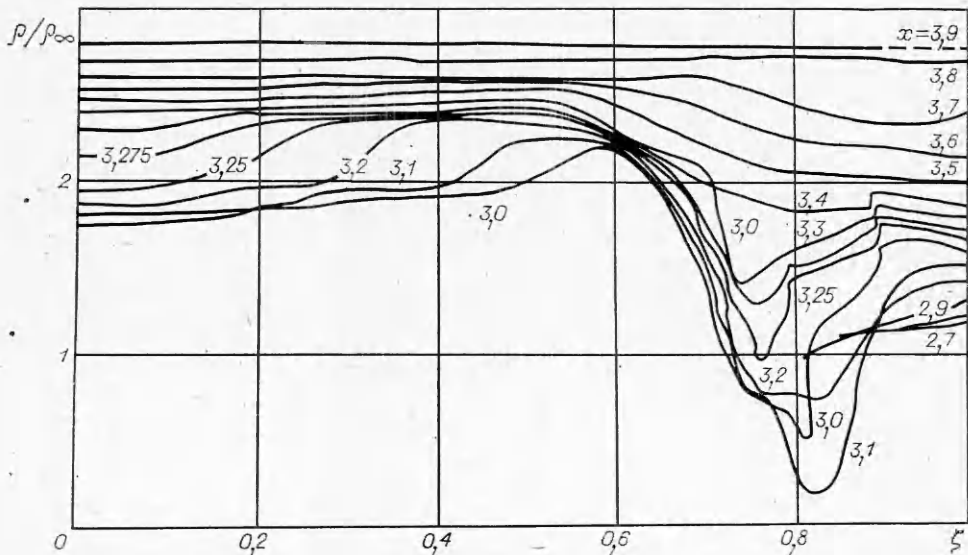


Фиг. 3



Ф и г. 4

ту ударной волны и практически исключаящую достоверное определение интенсивности последней. Попытки аппроксимировать экспериментальные значения  $\Delta N$  полиномами третьей (точки 2) и пятой (точки 3) степеней  $\alpha$  дают существенно разные результаты. Кроме того, это сказывается на интенсивности волны торможения, которая в рассматриваемом сечении имеет координату  $\zeta = 0,89$ . Эта волна возникла при повороте потока у кромки сопла. Точками 4 показаны значения плотности, найденные после коррекции величины радиуса сечения без сглаживания разности хода. Лишь вблизи ударной волны ( $\zeta > 0,99$ ) и при  $\zeta = 0,9$  наблюдаются заметные случайные отклонения, не превышающие, впрочем, 2%. Сглаживание теми же полиномами, что и в первом случае, дает близкие результаты (точки 5, 6).

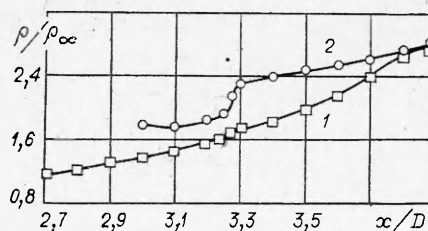


Ф и г. 5

фической части. В пользу этого соображения можно привести следующий довод. Величина поправки в этом случае должна зависеть от наклона ударной волны к расчетному сечению. И действительно, она растет с удалением от среза сопла и в сечении  $x = 3,9$  (см. фиг. 2) превышает 1 мм.

Погрешность в определении радиуса сечения сказывается на результатах определения интенсивности внешней ударной волны. Покажем это на примере сечения  $x = 3,3$ . На фиг. 4 приведены результаты расчета плотности для небольшого участка, примыкающего к ударной волне в сечении  $x = 3,3$ . По оси абсцисс отложено безразмерное расстояние  $\zeta$  от оси течения в долях радиуса сечения. Плотность отнесена к ее значению перед ударной волной. Расчет плотности как по измеренным, так и по сглаженным значениям разности хода проводился зонным методом Шардина. Как видно, расчет по измеренным значениям разности хода и радиуса сечения (кривая 1) дает зависимость, круто ниспадающую к фрон-

Результаты расчета плотности для всех сечений, указанных на фиг. 2, даны на фиг. 5. На фиг. 6 приведены зависимости безразмерной плотности газа за ударной волной (кривая 1) и вдоль оси течения (кривая 2) для всех расчетных сечений. Резкий подъем плотности при  $\bar{x} \sim 3,27$  на оси течения объясняется наличием сносимого потоком контактного разрыва, который образовался вследствие дифракции ударной волны, прошедшей из цилиндрического канала в коническое сопло. Возникающая при этом волна торможения в момент съемки находится внутри конического сопла.



Фиг. 6

Приводимые данные, по нашему мнению, могут представить интерес для лиц, занимающихся численными исследованиями подобных течений. Поэтому приведем дополнительные сведения о начальных и граничных условиях. Число Маха ударной волны в горле конического сопла равнялось 3. При перемещении ударной волны на расстояние, равное трем поперечным размерам канала, плотность в сечении  $x = 0$  убывает примерно по линейному закону на величину около 12% от ее значения за ударной волной при  $M = 3$ . Давление за то же время уменьшается примерно на 15%. Эти данные получены в плоском канале с равной площадью поперечного сечения при одинаковых прочих условиях путем интерференционных измерений и с помощью пьезодатчика. Наблюдение веера разрежения при обтекании ребра двугранного угла в том же канале [5] позволяет заключить, что число Маха спутного потока в горле сопла ( $x = 0$ ) меняется незначительно. Приведенные данные позволяют принять скорость спутного потока на небольшом расстоянии за ударной волной в первом приближении постоянной.

Расчет течения в предположении, что граничные условия в сечении  $x = 0$  однородны и равны начальным, дал бы, по всей вероятности, удовлетворительное совпадение с приведенными на фиг. 5, 6 результатами. В этом смысле близкой аналогией может служить течение за ударной волной в плоском расширяющемся канале. Расчет и экспериментальные данные для такого течения приведены в [6]. Они соответствуют перечисленным выше условиям и хорошо согласуются между собой.

Поступила 16 II 1982

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Казанджан Э. П., Сухоруких В. С. Установление соответствия полос на интерференционной картине в монохроматическом свете.— В кн.: Оптические методы исследований в баллистическом эксперименте. Л.: Наука, 1979.
2. Беляев А. Г., Миловидова С. В. Об установлении соответствия интерференционных полос при неизвестной интенсивности скачка уплотнения.— Там же.
3. Комиссарук В. А., Менде Н. П. Опыт применения дифракционного и поляризационного интерферометров в баллистическом эксперименте.— Там же.
4. Зейликович И. С., Комиссарук В. А. Об установлении соответствия интерференционных полос без использования картины в белом свете.— В кн.: Физические методы исследования прозрачных неоднородностей. Материалы семинара. М.: изд. Моск. Дома научно-техн. пропаганды, 1978.
5. Комиссарук В. А., Менде Н. П. О структуре течения при обтекании ребра двугранного угла.— Письма в ЖТФ, 1980, т. 6, вып. 17.
6. Головин В. И., Жмакин А. И., Комиссарук В. А., Менде Н. П., Фурсенко А. А. О распространении ударных волн в плоских и осесимметричных каналах. Препринт № 709. Л.: изд. Физ.-тех. ин-та АН СССР, 1981.