

Рис. 4

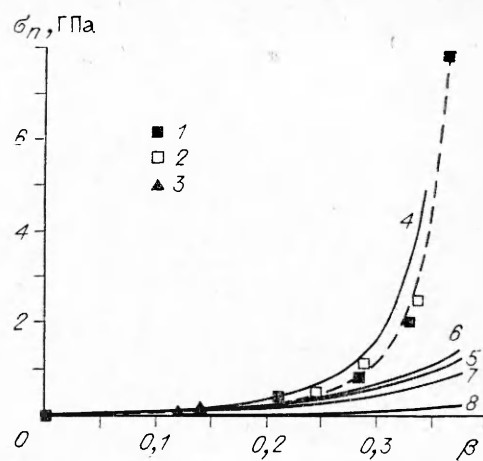


Рис. 5

и на рис. 4). Расхождение можно объяснить как различным составом и влажностью исследованного песка, так и разными условиями нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В. Д., Григорян С. С., Новгородов А. Ф., Рыков Г. В. Некоторые экспериментальные исследования по динамике мягких грунтов // ДАН СССР.— 1960.— Т. 133, № 6.
2. Лагунов В. А., Степанов В. А. Измерение динамической сжимаемости песка при высоких давлениях // ПМТФ.— 1963.— № 1.
3. Ляхов Г. М. Основы динамики взрывных волн в грунтах и горных породах.— М.: Недра, 1974.
4. Дианов М. Д., Златин Н. А., Мочалов С. М. и др. Ударная сжимаемость сухого и водонасыщенного песка // Письма в ЖТФ.— 1976.— Т. 2, вып. 12.
5. Рыков Г. В., Скобеев А. М. Измерение напряжений в грунтах при кратковременных нагрузках.— М.: Наука, 1978.
6. Поведение грунтов под действием импульсных нагрузок.— Киев: Наук. думка, 1984.
7. Бодренко С. И., Гердюков Н. Н., Крысанов Ю. А., Новиков С. А. Применение кварцевых датчиков давления для исследования ударно-волновых процессов // ФГВ.— 1981.— № 3.
8. Гердюков Н. Н., Ионлев А. Г., Новиков С. А. Исследование воздействия взрывных нагрузок на мягкий грунт // ПМТФ.— 1992.— № 2.

г. Арзамас

Поступила 7/VIII 1992 г.

УДК 532.525.2 : 533.6.011.72

Г. Ф. Горшков, В. И. Усков, В. С. Фаворский

ОСОБЕННОСТИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ОБТЕКАНИЯ БЕЗГРАНИЧНОЙ ПРЕГРАДЫ НЕДОРАСШИРЕННОЙ СТРУЕЙ

Взаимодействие сверхзвуковой недорасширенной струи с плоской преградой, расположенной перпендикулярно набегающему потоку, является одной из проблемных задач газовой динамики. Это обусловлено прежде всего тем, что при определенных сочетаниях режимных параметров могут происходить резкие переходы от стационарного характера обтекания к нестационарному: в системе струя — преграда возникают интенсивные автоколебания [1—7]. Так, при фиксированных значениях

© Г. Ф. Горшков, В. И. Усков, В. С. Фаворский, 1993

числа Маха M_a и нерасчетности струи n при плавном квазистационарном удалении сопла от преграды возникает такая последовательность смены режимов взаимодействия: 1) стационарный режим радиального растекания, 2) первый нестационарный (автоколебательный) режим, 3) течение с центральной циркуляционной зоной, 4) второй нестационарный режим, 5) течение с невозмущенной первой бочкой. На сегодня достаточно полно и подробно изучен первый нестационарный режим обтекания безграничной плоской преграды [1—3], а также автоколебания при натекании струи на преграду ограниченных размеров [4—7]. Эксперимент, проведенный в [1] для второго нестационарного режима обтекания безграничной преграды, в силу отсутствия надежных средств диагностики носил скорее постановочный характер, нежели представлял собой систематическое исследование. В [1] имеются и существенные неточности в определении частотных характеристик названного режима обтекания.

Следует отметить, что при изучении влияния разреженности на процесс нестационарного взаимодействия струи с безграничной перпендикулярной преградой авторами [8] обнаружен третий нестационарный режим обтекания для расстояний среза сопла от преграды, превышающих H_0 — удаление, соответствующее моменту перехода к течению с невозмущенной первой бочкой струи. Что касается исследования фазовых характеристик пульсаций давления на поверхности преграды и в окружающем пространстве, то для безграничной преграды они никем ранее не изучались (для плотных струй с числами Рейнольдса $10^4 \div 10^6$). Все сказанное и предопределило постановку новых экспериментов. При этом основное внимание уделено изучению фазовых характеристик на режимах нестационарного обтекания, что в дальнейшем позволит выйти на создание адекватной физической модели взаимодействия струи с преградой.

1. Эксперименты проводились на сверхзвуковой аэродинамической трубе с баллонной системой подачи воздуха (температура торможения $T_0 = 290$ К) и открытой рабочей частью. Струйный поток формировался закрепленным в ресивере трубы коническим соплом Лаваля с $M_a = 2,14$ и углом полураствора $\phi = 5^\circ$. Диаметр выходного сечения сопла $d_a = 17,5$ мм. Плоская преграда [1] представляла собой массивную стальную плиту 400×350 мм. В центре ее заподлицо установлена подвижная рейка с ввернутыми в нее четырьмя датчиками давления с шагом 35 мм. Расположение датчиков на рейке следующее: индуктивный датчик давления ДД-10 для измерения статического давления на преграде (расположен напротив приемного отверстия в рейке), первый, второй и третий пьезоэлектрические датчики ЛХ-611 с рабочей поверхностью мембраны диаметром 6 мм (установлены заподлицо с поверхностью рейки) для измерения пульсаций давления на преграде. Начальное положение точки торможения струи — середина между третьим и вторым датчиками. Полоса частот датчика ЛХ-611 10 Гц — 20 кГц. Неравномерность частотной характеристики датчиков проверялась путем сравнения частотных спектров датчиков и конденсаторного микрофона 4135 фирмы Брюль и Кьер. Расхождение в показаниях не превышало 2 дБ в указанном диапазоне частот. Датчики подключены к входам микрофонных усилителей 00011 фирмы RFT с полосой пропускания 2 Гц — 200 кГц. Колебания звукового давления в окружающей среде регистрировались четвертьдюймовым конденсаторным микрофоном МК-221 с рабочей полосой 20 кГц, подключенным ко входу шумомера 01021 фирмы RFT. Капсюль микрофона расположен в плоскости среза сопла на расстоянии 1 м и направлен в центр преграды. Сигналы от датчиков и микрофона записывались на ленту магнитографа НО-67 (диапазон воспроизводимых частот до 40 кГц). В экспериментах регистрировались частотные спектры, а также интегральный уровень ΔL^0 пульсаций давления на преграде и в окружающей среде (акустическое излучение струи).

Спектральный анализ выполнялся на узкополосном анализаторе спектра СК-4-72/2 в диапазоне частот 0,05 Гц — 20 кГц. Регистрация

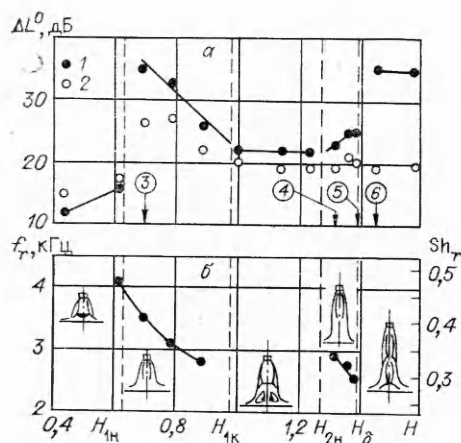
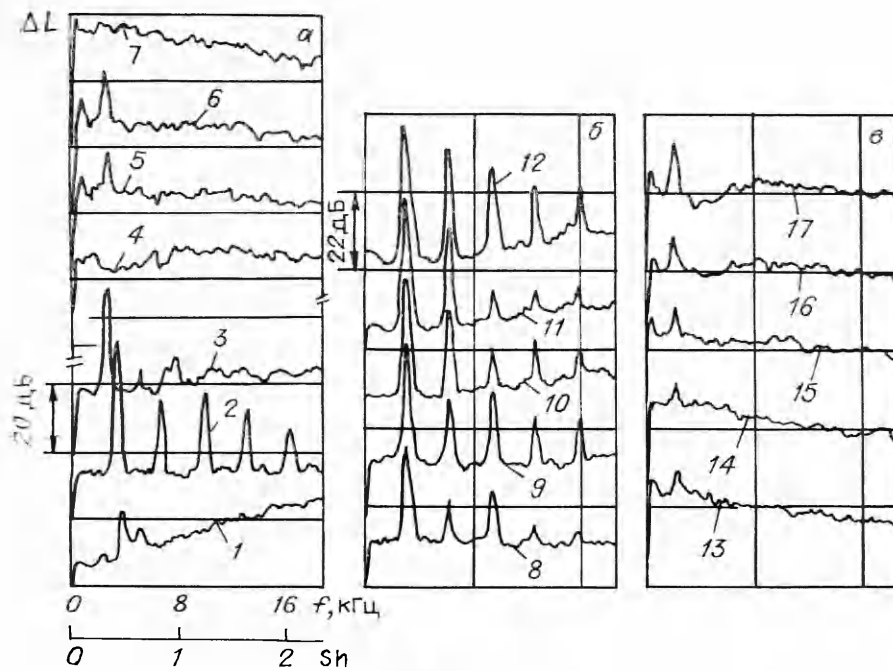


Рис. 1

сдвига от фильтра проводилась точная настройка каждого капаля с помощью внешнего звукового генератора ГЗ-111. Эволюция ударно-волновой картины (УВК) потока регистрировалась автоматической фотокамерой РФК-5 (время экспозиции 1/50 с) посредством оптического прибора ИАБ-451. Частотный диапазон динамического тракта: датчик (микрофон) — магнитограф до 20 кГц, а линейность амплитудно-частотной характеристики для указанного диапазона частот $1 \div 2$ дБ. Регистрация исследуемых параметров осуществлялась для фиксированного расстояния h в процессе перемещения рейки вдоль преграды с привязкой по радиальной координате R от отметчика пути. Производились также стационарные измерения (без движения рейки). Значения h , R отнесены к радиусу среза сопла. Эксперименты проведены в следующем диапазоне параметров: $M_a = 2,14$, $n = P_a/P_n = 5,04$, показатель изэнтропы $\gamma = 1,4$, расстояние среза сопла до преграды $h = 5-18$, параметр разреженности $Re_L = Re_* (P_0/P_n)^{-0,5} = 1,36 \cdot 10^6$ (Re_* — число Рейнольдса, определенное по критическим параметрам сопла). Возникновение автоколебаний фиксировалось по появлению в спектре пульсаций давления дискретной составляющей и колебаний УВК.

2. Проанализируем характерные особенности возникающего перед преградой течения в ударном слое. На рис. 1, а представлены зависимости изменения интегрального уровня пульсаций давления ΔL^0 на преграде (точки 1 соответствуют удалению по $R=2$) и уровня звукового давления (шума) в окружающем пространстве (точки 2) ($\Delta L^0 = 20 \times \lg(\sigma/P_n) - L_m$, где σ — среднеквадратичное значение пульсаций давления, $P_n = 2 \cdot 10^{-5}$ Па — звуковое давление порога слышимости, L_m — уровень широкополосных шумов) от расстояния $H = h/(2 M_a \sqrt{\gamma n})$. Эксперимент подтвердил описанную выше последовательность смены режимов взаимодействия [3] для фиксированных значений M_a и n при плавном удалении сопла от преграды (схемы рис. 1, б); причем экспериментальные значения расстояний $H_{1н}$ и H_6 , отвечающие началу первого нестационарного режима и моменту перехода к течению с невозмущенной первой бочкой, хорошо определяются зависимостями [2] (штриховые вертикальные линии на рис. 1). Расстояния, соответствующие концу первого нестационарного режима $H_{1к}$ и началу второго $H_{2н}$, взяты непосредственно из эксперимента. Следует отметить, что возникновение первого нестационарного режима сопровождается резким повышением интегрального уровня пульсаций ΔL^0 на 20 дБ (по сравнению с уровнем радиального растекания). Незначительное плавное повышение ΔL^0 для второго нестационарного режима ($H = H_{2н}$), по-видимому, связано с увеличением общего широкополосного уровня от струи, поскольку для течения с невозмущенной первой бочкой при $H > H_6$ это утверждение очевидно

спектрограмм проводилась на двухкоординатном самописце Endim 622.01/1. Исследование фазовых характеристик пульсаций давления на преграде осуществлялось с помощью двухлучевого запоминающего осциллографа С8-17. Для этих целей применялись два последовательно соединенных узкополосных фильтра 01013 (RFT), работающих в режиме пропускающего полосового фильтра и настроенных на частоту первой дискретной составляющей f_r с шириной полосы 3%. Амплитуда выходного сигнала контролировалась индикаторным блоком 02022 (RFT) (ширина полосы 0,5 Гц — 200 кГц). Для исключения фазового



Р и с. 2

(рис. 2, а, кривые 6, 7). Увеличение H в диапазоне $H_{1н} \leq H < H_{1к}$ приводит к падению уровня пульсаций ΔL^0 , что соответствует данным [1, 8]. Напротив, увеличение H в диапазоне $H_{2н} \leq H < H_0$ сопровождается незначительным ростом ΔL^0 (порядка 5 дБ по отношению к уровню пульсаций для течения с центральной циркуляционной зоной). Для диапазона $H_{1к} \leq H < H_{2н}$ характерно постоянство интегрального уровня, повышенного по сравнению с радиальным растеканием. Характер изменения ΔL^0 от H для звукового давления (за исключением $H > H_0$) в окружающем пространстве аналогичен описанному выше характеру изменения ΔL^0 на преграде (рис. 1, а, точки 2).

Важная особенность нестационарных режимов обтекания преграды — появление дискретных составляющих в спектрах пульсаций давления на преграде (рис. 2) или шума в акустическом поле. Рис. 2, а иллюстрирует изменение частотных спектров в точке $R=2$ с ростом расстояния h (кривые 1—7 для $h=7$ и $H=0,62$; 8 и 0,7; 10 и 0,88; 12 и 1,06; 15 и 1,32; 15,7 и 1,38; 16,5 и 1,45), а рис. 2, б, в — особенности спектров для двух нестационарных режимов при $R=\text{var}$ (б: $h=8$ — кривые 8—12 для $R=4,37$; 2,63; 2,05; 1,47; 0; в: $h=15,7$ — кривые 13—17 для $R=4$; 3,2; 2,57; 1,66; 0). Представленные данные показывают, что первый нестационарный режим характеризуется наличием нескольких дискретных составляющих, значительно (до 40 дБ, кривые 2, 3) превышающих уровень сплошного шума. В спектрах второго нестационарного режима (кривые 5, 6) присутствует единственная (основная) дискретная составляющая f_r , уровень превышения которой над общим широкополосным фоном (~ 10 —15 дБ) значительно меньше, чем в первом случае. Следует отметить, что переход от первого нестационарного режима ко второму через течение с центральной циркуляционной зоной сопровождается общим увеличением уровня сплошного спектра (например, кривая 2 — 16 дБ, а кривая 6 — 32 дБ) из-за влияния внутренней зоны смешения, развивающейся вдоль линии тангенциального разрыва, сходящего с тройной точки на висячем скачке уплотнения. Для течения с центральной циркуляционной зоной дискретные составляющие в частотном спектре отсутствуют (кривая 4) для всего диапазона $H_{1к} \leq H < H_{2н}$.

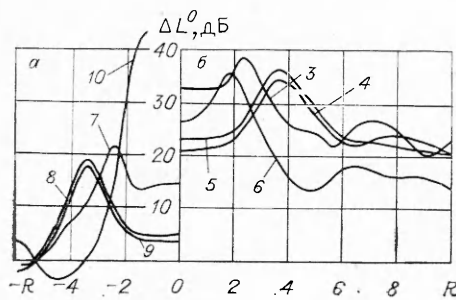


Рис. 3

уровня дискретных составляющих. Увеличение расстояния среза сопла до преграды в диапазоне $H_{1н} \leq H \leq H_{1к}$ и $H_{2н} \leq H \leq H_6$ сопровождается падением основной частоты f_r (первой дискретной компоненты спектра) от 4,1 до 2,8 кГц и от 2,9 до 2,75 кГц соответственно, причем для второго нестационарного режима частотный диапазон смещается в сторону меньших частот (рис. 1, б). Числа Струхала $Sh_r = f_r d_a \sqrt{n} / a_0$ (a_0 — скорость звука заторможенного потока) при этом находятся в интервале $0,47 \div 0,3$. пилообразный (разрывной) характер изменения f_r с ростом H отмечен также в [9] для взаимодействия дозвуковых ($0,6 \leq Ma \leq 0,95$) струй с перпендикулярной плоской безграничной преградой. Таким образом, зафиксированный в [4] третий нестационарный режим обтекания преграды за пределами первой бочки струи ($H > H_6$) для плотных струй в диапазоне исследованных параметров не реализуется.

Распределение интегральных уровней пульсаций ΔL^0 вдоль преграды для различных значений H приводится на рис. 3 (позиции 3—6 по расстоянию H отвечают обведенным кружками позициям рис. 1, а или для h : 3, 7 — $h = 8$; 4, 8 — 15; 5, 9 — 15,7; 6, 10 — 16,5). На рис. 3, а нанесены соответствующие указанным зависимостям кривые изменения осредненного во времени статического давления $P_w = P/P_n$ (позиции 7—10, кривые P_w построены для одного масштаба). Из рассмотрения представленных данных следует, что в распределении уровня пульсаций ΔL^0 вдоль преграды существует периферийный максимум, совпадающий с местоположением периферийного максимума статического давления P_w (см., например, кривые 3, 7 и 4, 8 и т. д.). Величины этих максимумов для двух нестационарных режимов (кривые 3, 5) близки между собой и достигают значений $35 \div 38$ дБ. Разница уровней ΔL^0 на периферии и в центре для первого нестационарного режима составляет 5 дБ, а для второго — 15 дБ. Высокий уровень пульсаций давления ΔL^0 в периферийном максимуме (~ 35 дБ) для течения с центральной циркуляционной зоной, а также для стационарного течения с невозмущенной первой бочкой (кривые 5, 6) обусловлен влиянием турбулентных пульсаций внутренней зоны смешения струй (в окрестности $R = 2$) [3, 10]. Колебательные изменения ΔL^0 на периферии ($R > 4$) могут быть связаны с периодической структурой течения газа (вихревыми жгутами) на периферии [11]. Далее рассмотрим подробнее характер течения на преграде в режимах нестационарного обтекания, уделяя внимание прежде всего фазовым характеристикам колебаний.

3. Первый нестационарный режим, как было отмечено выше, характеризуется наличием нескольких дискретных компонент в частотном спектре пульсаций давления, мощным колебанием УВК и давления на преграде $p(\tau)$ (рис. 4, $h = 8$). Наличие кратных дискретных составляющих в частотном спектре является следствием несинусоидальности пульсаций давления, вызываемых ударно-волновыми процессами в области между центральным скачком уплотнения (ЦСУ) и преградой. На рис. 4, а 1 — P_w , 2 — ΔL^0 , I — II — начальное (движение рейки влево) положение I и II датчиков (расстояние между ними $\Delta R = 4 = \text{const}$), кривые 1—6, обведенные кружком, соответствуют следующим комбина-

В рамках каждого из указанных выше нестационарных режимов обтекания устанавливается взаимно однозначное соответствие между спектральными компонентами (рис. 2, б, в) в различных точках преграды таким образом, что частота колебаний давления вдоль нее не изменяется (постоянна). Однако с удалением от точки торможения к периферии (кривые 8—12 и 13—17) происходит некоторое уменьшение

циям расположения датчиков на преграде (точек на зависимости ΔL^0): $R_{II}/R_I = 0/4$; $-0,9/3,1$; $-1,47/2,57$; $-2,05/1,94$; $-2,63/1,37$; $-3,8/0,2$; $p_1(\tau)$ — сигнал отфильтрован: режим пропускающего полосового фильтра на частоте f_r ; $b - f_r = 3,4$ кГц, $h = 8$; $e - f_r = 3,1$ кГц, $h = 9$ ($R_{II}/R_{III} = 2/2$ — стационарное положение датчиков II и III). Анализ полученных данных показывает, что колебания давления на преграде во времени происходят с большой амплитудой и сравнительно низкой частотой, они детерминированы и носят ярко выраженный периодический характер. Фаза колебаний на периферии (кривые 1, 2 для I датчика рис. 4, б) одна и та же. При переходе через максимум ΔL^0 (к точке торможения) фаза изменяется на 180° (кривые 3—6, датчик I), т. е. колебания давления на преграде в окрестности точки торможения (в зоне постоянного уровня ΔL^0) и за периферийным максимумом ΔL^0 происходят в противофазе. Следует отметить, что в точках, расположенных по разные стороны от оси симметрии и принадлежащих различным областям течения на преграде (центр и периферия) сдвиг фаз между датчиками II и I сохраняется (кривые 3, 5 — отфильтрованный сигнал). Кроме того, колебания давления в симметричных относительно оси точках (см., например, кривые $p(\tau)$ и $p_1(\tau)$ рис. 4, в) преграды совпадают по фазе. Указанные закономерности подтверждают вывод о симметричном продольном характере колебаний. Анализ представленных данных свидетельствует в пользу автоколебательной природы первого нестационарного режима обтекания, возникающего при резком (внезапном) переходе от стационарного режима радиального растекания ($H > H_{1н}$).

4. Второй нестационарный режим характеризуется единственной дискретной компонентой в частотном спектре пульсаций давления, умеренной амплитудой колебания УВК и давления на преграде (рис. 5, $h = 15,7$). Наличие единственной дискретной составляющей свидетельствует о значительно меньшей интенсивности ударных волн, воздейст-

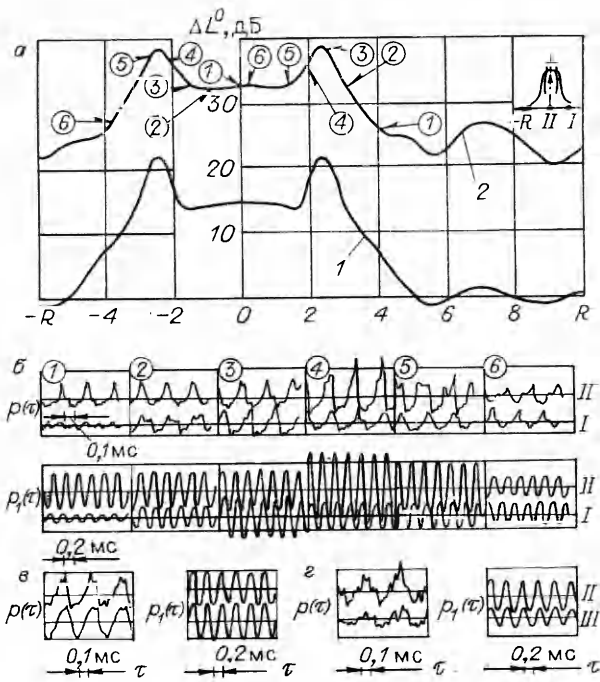


Рис. 4

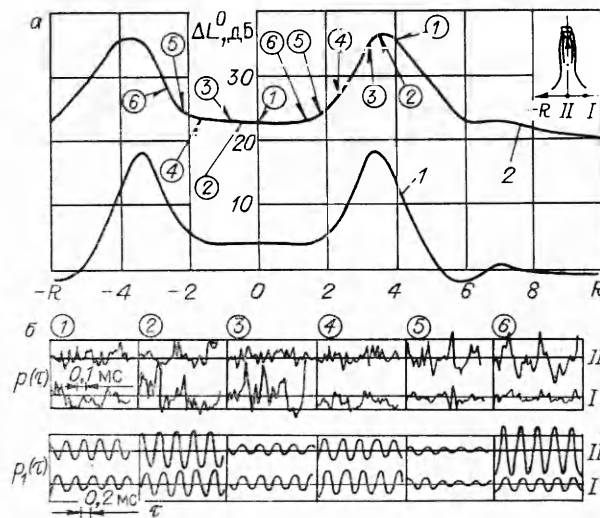


Рис. 5

вующих на преграду, и приближении их интенсивности к акустическим. Здесь обозначения соответствуют принятым на рис. 4, а, б, кривые 1—6 построены для $R_{II}/R_I = 0/4; -0,5/3,5; -0,74/3,26; -1,66/2,34; -2,11/1,89; -2,57/1,43$, $p_1(\tau)$ для пропускающего фильтра при $f_r = 2,6$ кГц. Из рис. 5 видно, что колебания давления на преграде не носят ярко выраженного периодического характера и происходят с меньшей амплитудой и частотой, чем для первого нестационарного режима. Значительная доля в колебаниях низкочастотных составляющих затрудняет фазовый анализ. Однако если за основу рассмотрения взять отфильтрованный сигнал $p_1(\tau)$, то очевидно, что фазовые закономерности в целом такие же, как указанные выше. Так, колебания в центре и на периферии (кривые 1, датчики II, I) находятся в противофазе; сдвиг фаз в точках по разные стороны от оси симметрии (кривые 4, б, датчики II, I) сохраняется, а колебания в симметричных точках относительно центра преграды (рис. 4, г, $h = 15,5$, $f_r = 2,6$ кГц) совпадают по фазе, что свидетельствует о продольном симметричном характере колебаний. Рассмотренный процесс и в этом случае также автоколебательный.

5. Как указано ранее, переход ко второму нестационарному режиму обтекания (при удалении преграды от сопла) происходит через течение с центральной циркуляционной зоной, для которой УВК является практически стационарной при неизменном уровне ΔL^0 и отсутствии дискретных компонент в частотном спектре (рис. 2, а, кривая 4). С другой стороны, если рассматривать смену режимов взаимодействия при приближении преграды к соплу с расстояний $H > H_s$, то первому нестационарному режиму будет предшествовать также течение с центральной циркуляционной зоной. Таким образом, режим автоколебаний можно считать переходным от режима допредельного радиального растекания (или от режима с невозмущенной первой бочкой) к течению с центральной циркуляционной зоной.

Анализ частотных характеристик нестационарных процессов показал, что полученные в эксперименте данные для плотных струй для безразмерной частоты (числа Струхала) обобщаются эмпирическим соотношением

$$\text{Sh}_r^{-1} = \frac{a_0}{f_r a_a \sqrt{V^n}} = A_i \frac{\Delta}{a_a \sqrt{V^n}} + B_i,$$

где Δ — средний во времени отход ЦСУ от преграды, определяемый соотношениями [2]; $A_1 = 4,1$; $B_1 = 0,6$; $A_2 = 1,9$; $B_2 = 0,1$ ($i = 1, 2$ — первый и второй нестационарные режимы).

Описанные результаты экспериментального исследования свидетельствуют о том, что протекающие процессы для первого и второго режимов имеют как общие черты, так и различия. Первый режим автоколебаний характеризуется значительным уровнем ΔL^0 , мощным колебанием УВК и давления на преграде. Важной особенностью этого режима является наличие нескольких дискретных составляющих в частотных спектрах, значительно (до 40 дБ) превышающих уровень сплошного спектра струи. Колебания давления на преграде происходят с большой амплитудой и сравнительно низкой частотой. Они детерминированы и имеют ярко выраженный периодический характер.

Второй режим автоколебаний сопровождается незначительным (по сравнению с уровнем ΔL^0 для течения с центральной циркуляционной зоной) повышением интегрального уровня ΔL^0 , умеренным колебанием УВК и давления на преграде. В частотном спектре присутствует единственная дискретная компонента, на 10—15 дБ превышающая уровень шума струи. Колебания давления на преграде не носят ярко выраженного периодического характера и происходят с меньшей частотой. В них присутствует большая доля низкочастотных составляющих.

Для первого и второго режимов автоколебаний существует периферийный максимум интегрального уровня ΔL^0 , местоположение которого

соответствует максимуму статического давления на преграде. При переходе через ΔL_{\max}^0 фаза колебаний меняется на 180° . Автоколебания являются симметричными, продольными относительно оси струйного потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семилетенко Б. Г., Собколов Б. Н., Усков В. Н. Особенности неустойчивого взаимодействия сверхзвуковой струи с безграничной преградой // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук.— 1972.— № 13, вып. 3.
2. Семилетенко Б. Г., Усков В. Н. Экспериментальные зависимости, определяющие положение ударных волн в струе, натекающей на преграду, перпендикулярную ее оси // ИФЖ.— 1972.— Т. 23, № 3.
3. Соколов Е. И., Усков В. Н. Взаимодействие осесимметричной струи с преградой и встречным сверхзвуковым потоком // Струйные и отрывные течения. Ч. 3.— М.: Изд-во МГУ, 1985.
4. Альбазаров Б. Ш., Рудаков А. И., Фатов А. С. Численное моделирование автоколебаний при натекании сверхзвуковой струи на преграду // Тез. докл. XV Всесоюз. семина. по газовым струям.— Л.: ЛМИ, 1990.
5. Солотчин А. В. О неустойчивости недорасширенной струи, натекающей на преграду // Газодинамика и акустика струйных течений.— Новосибирск: ИТПМ СО АН СССР, 1979.
6. Глазнев В. Н. Автоколебания при истечении сверхзвуковых нерасчетных струй // Моделирование в механике: Сб. науч. тр./АН СССР, Сиб. отд-ние, ВЦ, ИТПМ.— 1987.— Т. 1(18), № 6.
7. Усков В. Н., Цымбалов В. В., Цымбалова Е. Н. Численное решение задачи о нестационарном взаимодействии сверхзвуковой струи с преградой // Там же.
8. Савин А. В., Соколов Е. И., Фаворский В. С., Шаталов И. В. Влияние разреженности на процесс нестационарного взаимодействия сверхзвуковой недорасширенной струи с перпендикулярной преградой // ПМТФ.— 1991.— № 6.
9. Горшков Г. Ф. Влияние когерентных структур на течение и теплообмен при дозвуковом струйном обтекании преграды в режиме автоколебаний // Пром. тепло-техника.— 1989.— № 2.
10. Горшков Г. Ф. Течение и теплообмен при взаимодействии сверхзвуковых недорасширенных струй с нормально расположенной плоской преградой // Газодинамика и акустика струйных течений.— Новосибирск: ИТПМ СО АН СССР, 1987.
11. Белов И. А., Гинзбург И. П., Зазимко В. А., Терпигорьев В. С. Влияние турбулентности струй на теплообмен ее с преградой // Тепло- и массообмен: Материалы дискуссии на III Всесоюз. совещ. по тепло- и массообмену.— Минск: ИТМО АН БССР, 1969.— Т. II.

г. Санкт-Петербург

Поступила 16/VI 1992 г.

УДК 532.526

А. П. Хохлов

К ТЕОРИИ РЕЗОНАНСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛН ТОЛЛМИНА — ШЛИХТИНГА

Рассматривается резонансное взаимодействие собственных колебаний пограничного слоя методом сращиваемых асимптотических разложений. Хорошо известно (см., например, [1]), что это наиболее слабый по амплитуде нелинейный эффект, который следует за линейной стадией развития возмущений и играет важную роль в переходе ламинарного пограничного слоя в турбулентный. Теоретическое изучение явления началось с работ [2—4] и затем продолжалось многими авторами [5—8].

В данной работе слабонелинейные эволюционные уравнения выводятся в пределе больших чисел Рейнольдса, причем резонансное взаимодействие не предполагается заранее, а вытекает непосредственно из уравнений.

© А. П. Хохлов, 1993

5 ПМТФ № 4, 1993 г.

65