

дится на лобовой поверхности тела. Характер изменения положения критической точки по углу α может быть аппроксимирован линейной зависимостью. Опытные данные удовлетворительно согласуются друг с другом, но существенно отличаются от результатов расчета по теории Ньютона. Это свидетельствует о непригодности применения указанного метода расчета для определения положения критической точки на телах рассматриваемого класса форм.

Подводя итог результатам исследований, заметим, что именно возникновение областей перерасширения потока и последующего его торможения, которое наиболее полно проявляется при $\alpha > -15^\circ$, препятствует распространению метода [1] на большие углы атаки.

В заключение авторы благодарят А. Н. Покровского и Л. Г. Фролова за проделанный расчет пограничного слоя.

Поступила 23 X 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. Stallings R. L., Campbell J. F. An approximate method for predicting pressure distributions on blunt bodies at angle of attack. AIAA paper, 1970, No. 208.
2. Rao P. P., Lefferdo J. M. Time-asymptotic solution for sphere-cones in hypersonic flow. AIAA Journal, 1974, vol. 12, No. 3. (Рус. перев.: Решение методом установления задач обтекания гиперзвуковым потоком тел типа сфера — конус. Ракетная техника и космонавтика, 1974, № 3.)
3. Красильников А. В., Никулин А. Н., Холодов А. С. Некоторые особенности обтекания затупленных по сфере конусов с большими углами полураствора при гиперзвуковых скоростях. Изв. АН СССР, МЖГ, 1975, № 1.

УДК 621.43.011 : 533
621.5:533

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСКРЕТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В СПЕКТРЕ ШУМА СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ

А. Н. АНТОНОВ, С. П. ШАЛАЕВ, М. Я. ЮДЕЛОВИЧ

(Москва)

Проведено экспериментальное исследование дискретной составляющей в спектре шума нерасчетной сверхзвуковой струи, вытекающей в затопленное пространство. Рассмотрено влияние дискретного тона на средние параметры начального и основного участков струи. Найдено, что длина сверхзвукового участка струи l_0 линейно уменьшается с увеличением уровня дискретной составляющей L^* , действующей на основание струи. Экспериментально показано также, что колебания скачков уплотнения на концах первой и второй ячеек струи совершаются в противофазе.

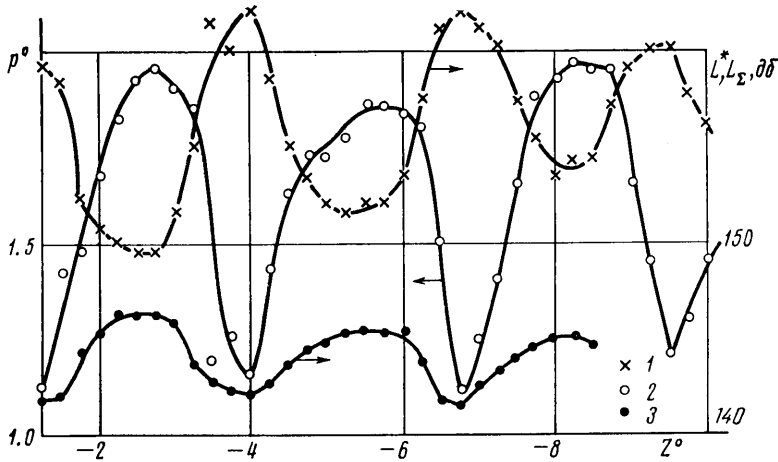
Эксперимент проводился на конических соплах с углом полураствора $\theta = 0-10^\circ$. Размеры сопл и рабочий диапазон нерасчетностей приведены ниже

M_a	1.0	1.63	2.0	2.4	2.75	3.08
$d_a, \text{мм}$	3, 6, 8	8	8	4, 75, 10, 20	8	4
n	1.2-12	0.5-10	0.4-8	0.3-4	0.2-2.0	0.1-1.65

Здесь M_a — расчетное число Маха сопла, d_a — диаметр выходного сечения сопла, $n = p_a/p_H$, индексы a и H — соответственно на срезе сопла и во внешнем пространстве. Внешняя поверхность ресивера и сопл покрывалась пластинами поролон. В соответствии с программой экспериментов для отражения акустических волн использовались металлические дисковые щитки с наружным диаметром $D = 80$ мм и внутренним диаметром, равным наружному диаметру сопл. Щиток-отражатель надевался на сопло, устанавливался перпендикулярно оси струи и в ходе экспериментов передвигался в направлении от среза сопла на расстояние z . В струе исследовались поля давления p'_{0x} и p'_{0y} при помощи трубок полного давления, размещенных на координатнике. Величины давления регистрировались U -образными жидкостными манометрами с погрешностью измерения, не превышающей ± 1 мм, или образцовыми манометрами класса 0.35. Измерения и анализ шума струи проводились с помощью аппаратуры фирмы «Брюль и Кьер», включающей в себя датчик пульсаций давления, анализатор и магнитофон. Для фиксации колебаний скачка в струе на фотоплёнке использовалась дисковая развертка со щелью шириной 1 мм. Щель развертки устанавливалась в плоскости теневой картины струи, получаемой от точечного источника света (лампы-вспышки). Часть лучей, направленных на зеркальный отмет-

чик времени, частота колебаний которого (5 кГц), задавалась звуковым генератором, фиксировалась на периферии того же диска светочувствительной пленки.

В работах [1-3] отмечалось, что дискретная составляющая, действуя на основанные струи, изменяет ее средние параметры на основном участке. Для подробного изучения этой взаимосвязи в настоящей работе проводилось одновременное измерение давления $p^0 = p_0'/p_H$ на оси струи и уровня дискретной составляющей L^* у среза сопла (фиг. 1). Здесь p_0' — давление в струе, замеренное трубкой Пито, p_H — давление во внешнем пространстве, L (дБ) — уровень пульсации в полосе $\Delta f = 0.01f$ (Гц), звездочка соответствует дискретному тону струи. Эксперименты проводились при $M_a = 2.0$, $n = 0.64$, положение акустического датчика $x^\circ = 2x/d_a = 0$, $y^\circ = 2y/d_a = 2.5$ и

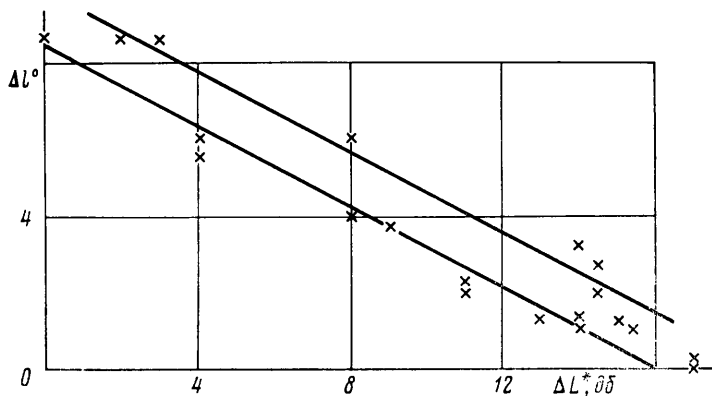


Фиг. 1

трубки Пито $x_T^\circ = 18$, $y_T^\circ = 0$. Система координат была выбрана следующим образом. Ось x совпадала с осью струи, ось y перпендикулярна этой оси, начало координат лежит в плоскости среза сопла. На фиг. 1 точками показаны значения p^0 , L^* и L_z , 1 — для p^0 , 2 — для уровня дискретной составляющей L^* , 3 — для суммарного уровня L_z при $y^\circ = 10$. В ходе экспериментов щиток-отражатель смещался от среза сопла в направлении против течения струи, изменяя тем самым параметр $z^\circ = 2z/d_a$. Результаты измерений показывают, что уровень дискретной составляющей и значение параметра p^0 в струе тесно связаны.

При максимуме или минимуме L^* наблюдается соответственно минимум или максимум p^0 . Перемещением отражателя можно изменять уровни дискретной составляющей на 10–12 дБ. В работах [3, 4] отмечается, что если расположить отражатель у среза сопла, то во внешнем акустическом поле между звуковыми источниками струи и отражателем возникнет стоячая волна дискретной составляющей. Перемещение экрана влияет на структуру поля стоячей волны и на интенсивность излучения дискретного тона. В настоящей работе показано, что вдоль струи располагаются максимумы и минимумы уровней дискретной составляющей, смещенные относительно друг друга на $k\lambda^*/4$, здесь λ — длина волны, $k = 1, 2, 3, \dots$. У отражателя наблюдается максимум дискретного тона, на расстоянии $\lambda^*/4$ по потоку располагается минимум, затем снова максимум и так далее. Надо отметить, что это справедливо только на относительно небольшом расстоянии от границы струи ($\sim 3\lambda^*/2$). При положении щитка-отражателя, когда у среза сопла находится пучность стоячей волны дискретной составляющей, сильные акустические колебания проникают в струю и усиливаются в ней. Результатом этого является большая мощность акустических источников струи. Дискретная составляющая большой интенсивности существует вследствие обратной связи между звуковыми источниками и началом струи [1]. В случае, когда у среза сопла находится узел стоячей волны, в струю проникают малые по амплитуде акустические колебания, что приводит к ослаблению источников шума струи. При этом обратная связь между источниками и началом струи, за счет которой происходит усиление колебаний, практически отсутствует. При перемещении отражателя смещается вся интерференционная картина. Поэтому на акустический датчик, установленный у среза сопла, приходит то пучность, то узел стоячей волны, что приводит к волнообразному изменению уровня дискретной со-

ставляющей при изменении параметра z° (фиг. 1). Укажем также влияние положения отражателя на суммарные уровни излучения струи L_Σ , отмеченные на фиг. 1 точками 3. В этом эксперименте положение датчика определялось координатами $x^\circ=0, y^\circ=10$. Здесь также наблюдается волнообразное изменение уровня L_Σ при изменении z° , связанное с тем, что при перемещении отражателя происходит смещение акустической интерференционной картины дискретной составляющей, максимумы и минимумы которой последовательно приходят на мембрану датчика. Поэтому при тех положениях отражателя z° , при которых уровень дискретного тона максимален, имеем также максимум суммарного уровня L_Σ . Экспериментальные исследования также показывают, что увеличение уровня дискретной составляющей влияет на параметры течения только в слое вязкого перемешивания. В данном эксперименте изменение уровня дискретной составляющей на 10–12 дБ не влияло на значения



Фиг. 2

$p^\circ=f(x^\circ)$ в пределах начального участка струи ($x^\circ<12$), уменьшало длину начального участка и существенно уменьшало значения p° на основном участке.

Введем понятие дальнобойности струи l_0 , под которой будем понимать длину сверхзвукового участка струи. Результаты экспериментов показывают, что дальнобойность падает, если на основание струи попадает пучность стоячей волны дискретной составляющей, и увеличивается, если там находится узел. На фиг. 2 приведены результаты измерения дальнобойности струи $\Delta l=2\Delta l/d_a=2(l_0-l_{01})/d_a$ при различных значениях уровня дискретной составляющей $\Delta L^*=(L_1^*-L^*)$. Здесь l_{01} – минимальная дальнобойность струи, L_1^* – соответствующий ей уровень дискретной составляющей, эксперименты проводились при $M_a=2.0, n=0.64, x^\circ=0, y^\circ=2.5$, уровень дискретного тона изменялся за счет перемещения щитка-отражателя. Из рассмотрения фиг. 2 следует, что при увеличении уровня дискретной составляющей дальнобойность струи линейно падает.

В работе [4] указывается, что источник дискретного излучения находится в районе четвертой ячейки струи. В [5] с помощью фотографических методов найден источник, расположенный на конце третьей ячейки струи, а в [6] указывается, что такой источник располагается на основном участке струи в районе 3–7 ячеек. Результаты данной работы показывают, что источники дискретного излучения располагаются на концах всех ячеек струи. Найдено также, что соседние источники находятся в противофазе по отношению друг к другу.

Известно, что струи, излучающие дискретную составляющую, совершают колебания с частотой дискретного тона. Колебания струи должны сопровождаться колебаниями скачков уплотнения в ней. Для исследования этого явления была использована дисковая развертка, которая позволяла фиксировать колебания скачков уплотнения во времени. Проведенные эксперименты показали, что колебания скачка уплотнения в конце первой бочки находятся в противофазе с колебаниями скачка в конце второй бочки. К сожалению, турбулентная «рубашка» слоя смещения струи не позволяет изучать поведение скачков уплотнения в третьей и последующих бочках. Поэтому исследование колебаний скачков в струе было проведено для первой и второй ячеек струи. Увеличение уровня дискретной составляющей приводит к росту амплитуды колебаний скачков уплотнений. Так как скачки в струе колеблются с частотой дискретной составляющей, то и мгновенные значения параметров струи (p, ρ, T) также колеблются с этой частотой.

Таким образом, мгновенные и средние характеристики струи существенно зависят от наличия дискретной составляющей в спектре шума сверхзвуковой струи и изменяются в зависимости от изменения ее интенсивности, что необходимо учитывать при определении газодинамических параметров струи.

Поступила 12 X 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. Powell A. On the noise emanating from a two-dimensional jet above the critical pressure. *Aeronaut. Quart.*, 1953, vol. 4, pt. 2.
2. Гласс Д. Влияние акустической обратной связи на распространение и затухание сверхзвуковых струй. *Ракетная техника и космонавтика*, 1968, т. 6, № 10.
3. Антонов А. Н., Шалаев С. П., Юделович М. Я. Влияние дискретной составляющей акустических колебаний на течение в нерасчетной сверхзвуковой струе. *Изв. АН СССР, МЖГ*, 1973, № 4.
4. Пимштейн В. Г. Об излучении дискретного тона сверхзвуковой струей. Тезисы докл. 7-й Всесоюз. акуст. конф., Л., 1971.
5. Poldervaart L. J., Vink A. T., Wijndans A. P. The photographic evidence of the feedback loop of a two-dimensional screeching supersonic jet of air. Rept 6-th Internat. Congress on Acoustics, Tokyo, 1968, vol. 4. Tokyo, 1968.
6. Беленков В. Д. Акустическое излучение сверхзвуковой струи в сторону среза сопла при различных режимах нерасчетности. *Уч. зап. Ленингр. ун-та*, 1970, № 357.

УДК 629.78.036.7

СОЗДАНИЕ СВОБОДНОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОТОКА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ю. Е. КУЗНЕЦОВ, Я. Ш. ФЛАКСМАН

(Москва)

Излагается методика создания свободномолекулярного потока, моделирующего натурный поток и предназначенного для исследования воздухозаборников. В качестве моделируемого параметра принято угловое распределение потоков молекул. Анализируется возможность формирования моделирующего потока с помощью профилированного и перфорированного осесимметричного свободномолекулярного сопла. В качестве примера подробно исследовано коническое неперфорированное сопло, предназначенное для моделирования свободномолекулярного потока со скоростным отношением $S=10$. Приводятся данные экспериментального исследования характеристик свободномолекулярного конического неперфорированного сопла и свободномолекулярного цилиндрического воздухозаборника и их сравнение с теоретическими результатами.

1. Пусть свободномолекулярный поток, моделирующий в экспериментах натурный свободномолекулярный поток, связан с последним тем, что относительные расходы частиц (число частиц, пересекающих единичную площадку, перпендикулярную траектории, в единичном пространственном угле за единицу времени) вдоль любой траектории движения молекул в обоих потоках равны. При этом в натурном и модельном потоках по одинаковым траекториям будет двигаться одинаковое (относительное) число частиц при отличающихся законах распределения модулей скорости.

В таком модельном потоке можно проводить аэродинамические исследования объектов, у которых характеристики зависят не от скорости движения молекул, а только от числа молекул, приходящих на единицу поверхности модели, например исследование воздухозаборников и решеток в случае, когда обеспечивается диффузное отражение молекул от поверхности [1].

Приведем точную математическую формулировку изложенного выше соответствия моделирующего потока натурному.

Функция распределения однородного равновесного потока разреженного газа, движущегося со скоростью V , плотностью n_∞ , температурой T_∞ в сферических координатах пространства скоростей ξ , θ , φ имеет вид [1]

$$(1.1) \quad f_\infty(\xi, \theta, \varphi) = n_\infty \left(\frac{h_\infty}{\pi} \right)^{3/2} \exp\{-h_\infty(\xi^2 + V^2 - 2V\xi \cos \theta)\}, \quad h_\infty = \frac{m}{2kT_\infty}$$