

## ВЛИЯНИЕ МОДОВОГО СОСТАВА АКУСТИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА АЭРОАКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУИ

*Власов Е. В., Гиневский А. С., Каравосов Р. К.*

В ряде работ отечественных и зарубежных исследователей изучено влияние акустических возмущений на аэродинамические и акустические характеристики дозвуковых турбулентных струй [1–3]. В большинстве опубликованных работ рассмотрены случаи возбуждения струи плоскими звуковыми волнами. При этом обнаружены два эффекта: интенсификация турбулентного смешения в струе и возрастание широкополосного шума в ближнем и дальнем полях при низкочастотном акустическом облучении ( $Sh_s = 0,2 \div 0,6$ ); ослабление турбулентного смешения в струе и некоторое снижение широкополосного шума в ближнем и дальнем полях при высокочастотном акустическом облучении ( $Sh_s = 2 \div 5$ ).

Настоящая работа содержит результаты исследования влияния модового состава акустических возмущений на аэродинамические и акустические характеристики турбулентной струи. При этом выявлены некоторые характерные особенности такого облучения. В частности, показано, что при низкочастотном акустическом облучении существенный эффект достигается при уровнях звукового давления, которые на 15–25 дБ меньше соответствующего уровня при облучении струи плоскими волнами (нулевая мода). Отмеченное обстоятельство представляет, в частности, интерес для понимания влияния внутреннего шума турбореактивного двигателя на реактивную струю.

Аэроакустические характеристики струи исследовались на экспериментальной установке, представляющей собой ресивер, из которого через сопло с выходным диаметром  $d = 40$  мм истекала струя. Воздух в ресивер с хонейкомбом и сеткой поступал от компрессора. Звук от четырех динамиков подводился через цилиндрические патрубки к цилиндрическому выходному участку сопла в сечении, отстоящем на 30 мм вверх по потоку от плоскости его среза. Оси патрубков были перпендикулярны оси сопла, шаг патрубков в окружном направлении составлял  $90^\circ$ . Выходные отверстия патрубков были закрыты мелкоячеистой сеткой. Применяемая система позволяла возбуждать струю акустическими сигналами одной частоты со всех динамиков или одновременно возбуждать струю сигналами на разных частотах. При возбуждении струи на одной частоте сигналы с различных динамиков могли подаваться в фазе или же сигналы с соседних динамиков сдвигались по фазе на угол  $90^\circ$ . При включении только двух динамиков, расположенных с противоположных сторон, сигналы подавались в фазе или противофазе. Для возбуждения струи применялись громкоговорители мощностью 20 и 150 Вт.

Скорость истечения струи  $u_0$  составляла 30–60 м/с; следовательно, число Рейнольдса  $Re = u_0 d / \nu \approx (1 \div 2) \cdot 10^5$ . Как показали измерения, профиль скорости в выходном сечении сопла был практически равномерным, при этом пограничный слой на стенках сопла был турбулентным.

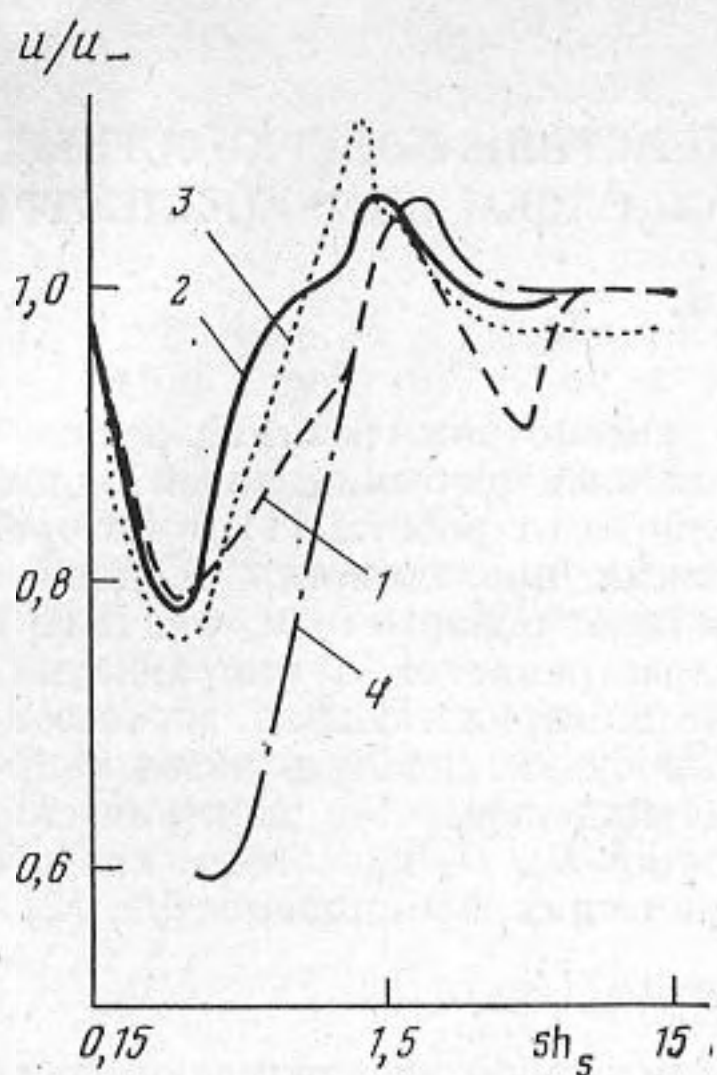
На фиг. 1 представлены зависимости изменения скорости  $u$  в фиксированной точке на оси струи от числа Струхала звукового облучения  $Sh_s = f_s d / u_0$ , где  $f_s$  — частота облучения и  $u$  — скорость на оси при отсутствии акустических возмущений. Видно, что эффект интенсификации перемешивания при числе  $Sh_s \approx 0,3$  оказывается весьма существенным, в то же время противоположный эффект при  $Sh_s \approx 1,65$  проявляется в гораздо меньшей степени.

Этот вывод подтверждается результатами измерений спектров пульсаций продольной скорости на оси струи в той же точке  $x/d = 8$  (фиг. 2, а), а также изменением средней скорости и ее продольной пульсации  $\epsilon_u$  вдоль оси струи (фиг. 3).

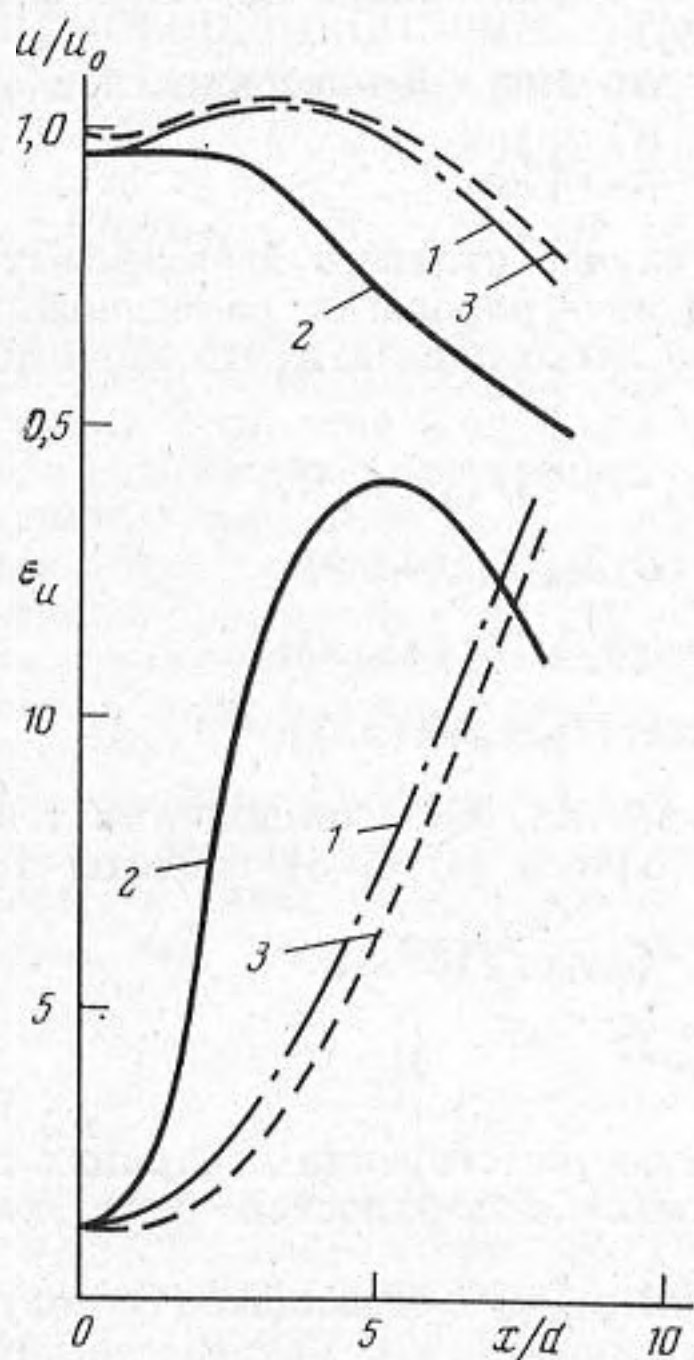
Третьоктавные спектры шума в дальнем поле под углом  $\varphi = 30^\circ$  к оси струи при облучении струи четырьмя динамиками (вторая азимутальная мода) представлены на фиг. 2, б. Здесь обращает на себя внимание заметное (до 5 дБ) увеличение широкополосного шума струи при ее низкочастотном звуковом облучении. При этом шум облучения практически не обнаруживается на спектре, дискретная составляющая на спектре соответствует первой гармонике воздействующего звука. Этот эффект достигнут при уровне звукового давления акустического сигнала  $L = 80$  дБ; уместно отметить, что такой же эффект при облучении струи плоскими волнами (нулевая мода) достигается [1] при существенно большем уровне звукового давления  $L = 105$  дБ.

Высокочастотное звуковое облучение, как следует из фиг. 2, б, приводит к весьма незначительному (порядка 1–2 дБ) снижению широкополосного шума струи.

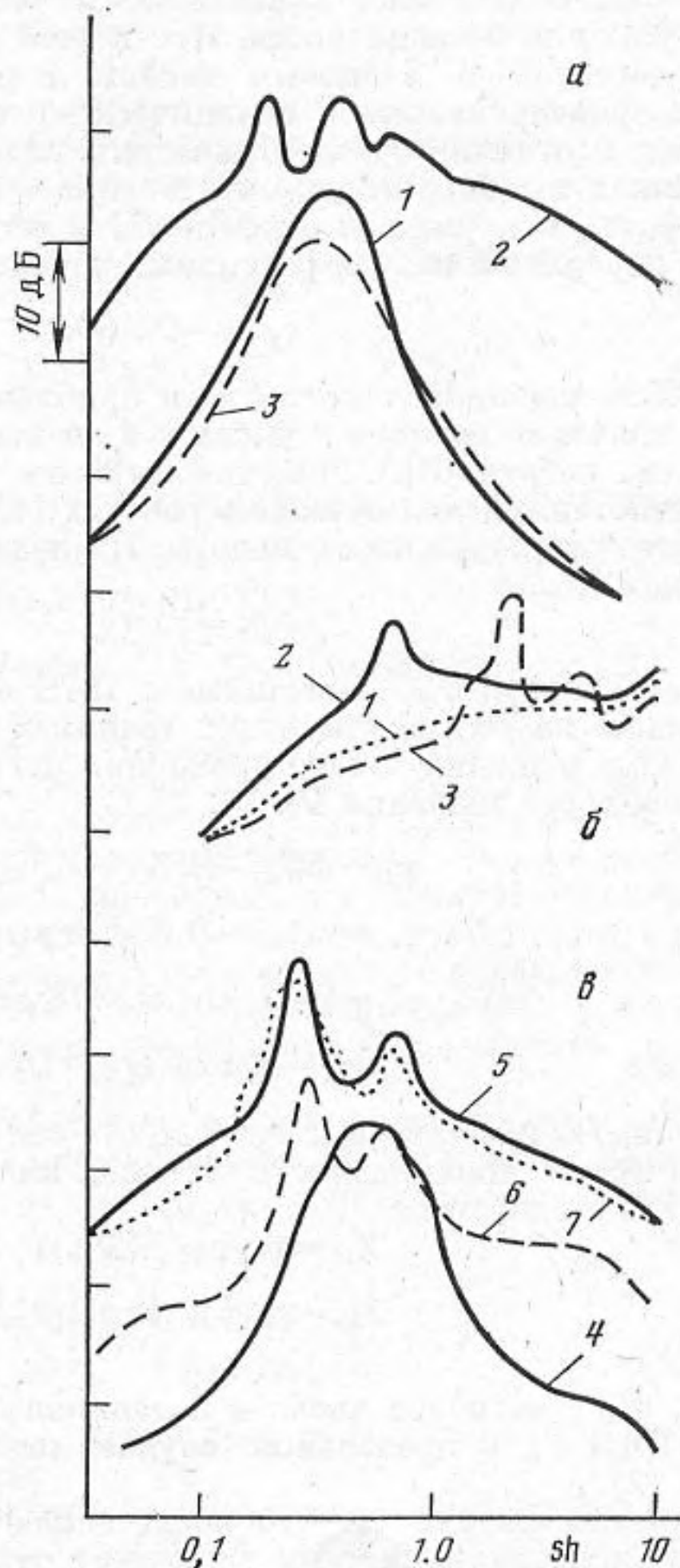
В реальных условиях внутренний шум ТРД содержит как низкочастотные, так и высокочастотные составляющие. В связи с этим представляет интерес исследование совместного воздействия на струю низкочастотного и высокочастотного звука разной интенсивности. На фиг. 2, в представлены спектры продольных пульсаций скорости в точке на оси струи  $x/d = 8$  при воздействии на струю сигналов от двух противоположных динамиков; при этом уровни и частоты облучения были различными. Из приведенных спектров следует, что эффекты низкочастотного и высокочастотного возбуждения могут реализоваться одновременно, причем в зависимости от интенсивности облучения может преобладать либо первый, либо второй эффекты.



Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 2

Фиг. 1. Изменение скорости на оси струи при  $x/d=8$  в зависимости от числа Струаля звукового облучения: 1 – облучение струи одним динамиком, 2 – двумя динамиками в противофазе, 3 – двумя динамиками в фазе, 4 – четырьмя динамиками со сдвигом фаз  $90^\circ$

Фиг. 2. Спектры пульсаций продольной скорости и спектры шума струи: 1, 4 – необлученная струя, 2 –  $Sh_s=0,3$ ; 3 –  $Sh_s=1,65$ ; 5 – облучение струи двумя сигналами ( $f_1=232$  Гц,  $L_1=90$  дБ;  $f_2=1792$  Гц,  $L_2=100$  дБ); 6 – то же ( $f_1=232$  Гц,  $L_1=80$  дБ,  $f_2=1792$  Гц,  $L_2=90$  дБ); 7 – облучение струи одним сигналом ( $f=232$  Гц,  $L=80$  дБ)

Фиг. 3. Изменение средней скорости и ее продольных пульсаций вдоль оси струи: 1 – необлученная струя, 2 –  $Sh_s=0,3$ ; 3 –  $Sh_s=1,65$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гиневский А. С., Власов Е. В., Колесников А. В. Аэроакустические взаимодействия. М.: Машиностроение, 1978. 177 с.
2. Власов Е. В., Гиневский А. С. Проблемы аэроакустических взаимодействий. – Акуст. журн., 1980, т. 26, № 1, с. 1–12.
3. Hussain A. K. M. F. Coherent structures-reality and myth. – Phys. Fluids, 1983, v. 26, № 10, p. 2816–2850.

Поступило в редакцию  
1.XI.1985