

О ДИСКРЕТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В СПЕКТРЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ШУМА ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ

В. Н. ГОРБУНОВ, В. А. КУПРИЯНОВ, В. М. КУПЦОВ

(Москва)

Для многих практических задач требуется знать характеристики аэродинамического шума, создаваемого системой параллельных сверхзвуковых струй. В настоящей работе проведено экспериментальное исследование аэродинамического шума в ближайшем акустическом поле двух параллельных сверхзвуковых струй. При этом основное внимание было уделено исследованию дискретной составляющей в спектрах пульсаций давления.

Эксперименты были проведены с пятью парами сопел. Сопла различались числом Маха на срезе сопла M_a (1.0, 1.7, 2.5, 3.11 и 3.97) и диаметром выходного сечения d_a (26, 28.8, 29, 15 и 23 мм). В большинстве случаев сопла ввертывались в металлическую крышку ресивера диаметром $d=120$ мм. Расстояние между плоскостью выходного сечения сопел и поверхностью крышки варьировалось в диапазоне $l/d_a = 0-1.5$.

Основная часть измерений аэродинамического шума была проведена в плоскости среза сопел вблизи струй. Для измерения пульсаций давления использовалась та же аппаратура и методика измерений, что и в [1].

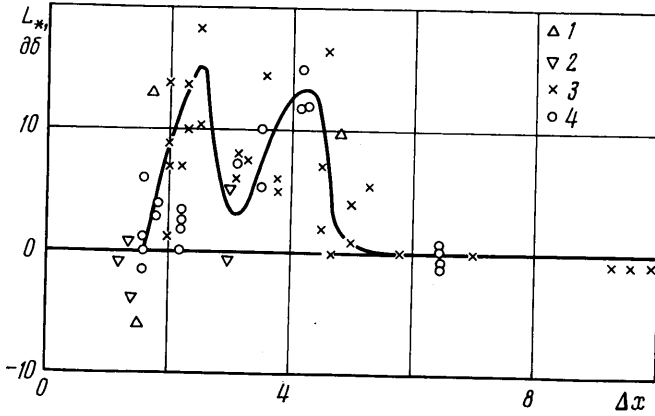
Результаты данных измерений при различных степенях нерасчетности p_a показали, что при разносе сопел $\Delta x_1 > 5d_1$ обе струи излучают акустический шум независимо одна от другой. Здесь d_1 — диаметр струи при идеальном расширении газа от полного давления в ресивере p_0 до давления в окружающей среде p_H . Поэтому в этом случае практически при всех частотах спектральный уровень акустического шума двух струй $L_2 = \sqrt{2}L_1$, где L_1 — спектральный уровень шума одиночной струи.

При взаимном сближении струй происходит деформация спектра. При этом, так же как и для системы дозвуковых струй [2], наблюдается рост спектральных уровней на низких частотах и некоторое их снижение на средних частотах. Как известно, низкочастотный шум генерируют участки струй, расположенные вдали от среза сопла, т. е. участки, на которых преобладает крупномасштабная турбулентность. Поскольку в слившейся струе масштаб турбулентности больше, чем в одиночной, то это и приводит при сближении струй к росту уровня шума на низкочастотном участке спектра. Чем меньше Δx_1 , тем больший вклад в суммарный шум вносит слившийся участок двух струй. Анализ полученных данных показал, что при $\Delta x = \Delta x_1/d_1 \approx 1.5$ преобладающая часть спектра ($fd_1/a_H < 0.3$; a_H — скорость звука в окружающей среде) создается слившимися участком струй. Поэтому для расчета этой части спектра можно пользоваться формулами $f_2 = f_1/\sqrt{2}$, $L_2 = L_1 + 20 \lg \sqrt{f_1/f_2}$, где индексом 1 обозначены параметры одиночной струи.

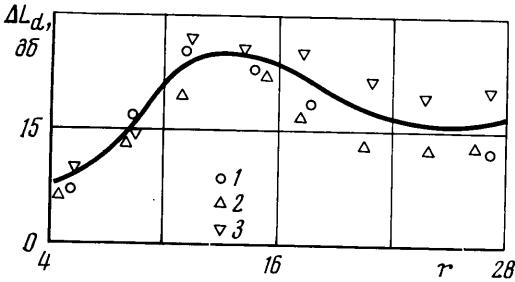
Измерения показали, что при двух струях дискретная составляющая реализуется при тех же степенях нерасчетности p_a , что и в случае одиночной струи. Результаты измерения уровня дискретной составляющей при $r = r_1/d_a = 3-5$ (r_1 — расстояние от точки измерения до оси симметрии между осями сопел) изображены на фиг. 1. Здесь по оси ординат отложена разность $L_* = \Delta L_d - 20 \lg \sqrt{2}$, где $\Delta L_d = L_{d2} - L_{d1}$; L_{d2} и L_{d1} — уровни дискретной составляющей при истечении соответственно двух и одной струй, а по оси абсцисс — относительный разнос сопел Δx . На фиг. 1 экспериментальным точкам 1-4 отвечают следующие значения M_a и p_a соответственно (1.0, 1.5-2.0), (2.5, 0.35-0.45), (3.11, 0.32-0.45) и (3.97, 0.3-0.35). Из фиг. 1 видно, что при больших расстояниях между осями $\Delta x > 5$ разность $\Delta L_d \approx 20 \lg \sqrt{2}$, т. е. в этом случае обе струи излучают дискретный тон независимо одна от другой. При меньших Δx вследствие акустического взаимодействия струй наблюдается существенное возрастание уровня дискретной составляющей. Когда расстояние между осями $\Delta x = 2-4.5$, происходит так называемое резонансное усиление дискретной составляющей, в результате которого ее уровень возрастает на 10-18 дБ. В соответствии с механизмом обратной связи такой сильный рост уровня дискретной составляющей объясняется тем, что в случае двух струй на корень каждой струи воздействует не одно, а два акустических возмущения.

При $\Delta x < 1.5$ процесс смешения струй начинается на небольшом удалении от среза сопел. Вследствие этого при таких разносах Δx внутренняя структура струй и соответствующий механизм образования дискретной составляющей подвергаются сильному разрушению. Поэтому в этих случаях дискретный тон в спектре шума двух струй может не возникнуть. Такое уничтожение дискретной составляющей было отмечено в опытах с соплами $M_a = 1.0$ при $\Delta x = 1.13-1.18$.

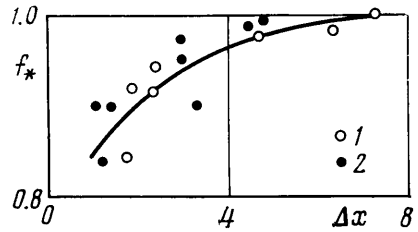
Эксперименты показали, что при еще меньших относительных разнотах сопел Δx дискретная составляющая вновь может образоваться, но уже на меньшей частоте. Так, при $\Delta x < 1.0$ две струи сливаются одна с другой уже непосредственно вблизи среза сопел. При этом практически с самого начала образуется единая объединенная струя. Опыты с $M_a = 1.7$ при $\Delta x = 0.80 - 0.85$ показали, что такая струя излучает дискретную составляющую, как одиночная струя с диаметром $d = d_1 \sqrt{2}$, где d_1 — диаметр исходной струи.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

В плоскости среза сопел было проведено исследование углового распределения уровня дискретной составляющей. Это исследование показало, что при $r_1/\Delta x_1 > 2$ уровень дискретной составляющей от двух струй слабо зависит от углового положения точки измерения.

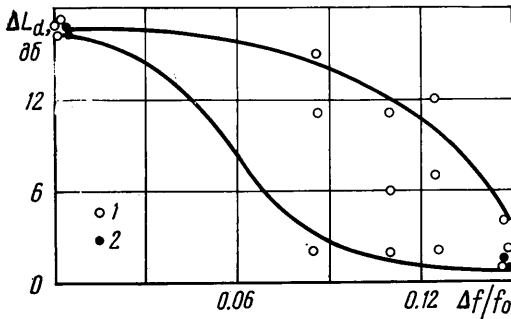
На фиг. 2 представлены результаты измерения радиального распределения уровня дискретной составляющей в плоскости среза двух сопел с $M_a = 3.11$ при $\Delta x = 4$. По оси ординат отложена разность $\Delta L_d = L_{d2} - L_{d1}$, по оси абсцисс — $r = r_1/d_a$. Здесь обозначения 1—3 соответствуют $p_a = 0.33, 0.40, 0.48$. Из фиг. 2 следует, что для двух струй уровень дискретной составляющей при увеличении r уменьшается слабее, чем для одиночной струи. Однако, как показали измерения, при $\Delta x \leq 2$ и $\Delta x \geq 7$ зависимости L_{d2} от r приближаются к соответствующей зависимости для одиночной струи.

Эксперименты, проведенные в акустически заглушенном и незаглушенном помещениях, а также при наличии на крышке ресивера толстого слоя поролон, показали, что условия испытания влияют на аэродинамический шум двух струй в основном так же, как на соответствующий шум одиночной струи. Однако в условиях акустически заглушенного помещения резонансное усиление дискретной составляющей в некоторых случаях более высокое.

В работе [3] было установлено, что при сближении четырех струй частота дискретной составляющей в зависимости от p_a может как увеличиваться, так и уменьшаться. Анализ результатов измерения частоты дискретной составляющей для двух струй показал, что во всех испытанных в данной работе случаях частота f при сближении струй всегда уменьшается. Типичный график зависимости относительной частоты дискретной составляющей f_* от разнота струй Δx изображен на фиг. 3. Здесь $f_* = f_2/f_1$, где f_2 и f_1 — частоты дискретной составляющей для двух и одной струи соответственно. На фиг. 3 обозначено: 1 — $M_a = 3.97$, $p_a = 0.3 - 0.35$; 2 — $M_a = 3.11$.

$p_a=0.24-0.30$. Видно, что при сильном сближении струй частота дискретного тона может уменьшиться более чем на 10%.

Было также проведено исследование аэродинамического шума от двух струй, истекающих из сопел с различной площадью критического сечения, т. е. из сопел, рассчитанных на разные числа M_a .



Фиг. 4

Как показали измерения, при одновременной работе таких сопел в спектре шума наблюдаются дискретные составляющие на обеих этих частотах. Как правило, эти составляющие имеют разные уровни. При этом уровень одной из составляющих может быть близок к уровню соответствующей составляющей одиночной изолированной струи, а уровень другой составляющей существенно выше. Было замечено, что уровни этих составляющих нестабильны. В течение одного опыта уровень одной из них может возрасти, а другой — уменьшиться и наоборот. На фиг. 4 представлены результаты измерения уровней дискретных составляющих в спектре шума двух струй в зависимости от рассогласования частот. Здесь по оси абсцисс отложено отношение $\Delta f/f_0$, где $\Delta f=f_1-f_{11}$, f_1 и f_{11} — частоты двух дискретных составляющих, $f_0=1/2(f_1+f_{11})$, а по оси ординат — $\Delta L_d=L_{d2}-L_{d1}$. На фиг. 4 обозначено: 1 — одно из сопел с $M_a=3.11$; 2 — одно из сопел с $M_a=3.97$. Из фиг. 4 видно, что при увеличении разности частот Δf происходит уменьшение уровней дискретных составляющих. При $\Delta f/f_0 \approx 0.15$ эффект резонансного усиления практически отсутствует.

Поступила 30 XII 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Пимштейн В. Г., Андреев А. А. О шуме параллельных околосвуковых струй. Тр. ЦАГИ, 1973, вып. 1371.
3. Виноградов С. А. Об акустическом взаимодействии параллельных сверхзвуковых газовых струй. 6-я Всес. акуст. конф. М., 1968.

УДК 533.6.011.72 : 538.4

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ ПОТОКА ИОНИЗОВАННОГО ГАЗА

М. Б. БОРИСОВ, С. Г. ЗАЙЦЕВ

(Москва)

Представлены результаты экспериментального исследования течения ионизованного газа, образованного ударной волной, через неоднородное магнитное поле. Для двух фиксированных сечений магнитогазодинамического канала по величине отхода отсоединенной ударной волны, образующейся около обтекаемой полусферической модели, определено торможение потока газа, обусловленное воздействием концевых токов. Максимально зарегистрированное уменьшение числа Маха потока составляет 30%, а при параметре магнитогазодинамического взаимодействия, большего чем 1.5, обнаружен переход сверхзвукового течения в дозвуковое на выходе из магнитной