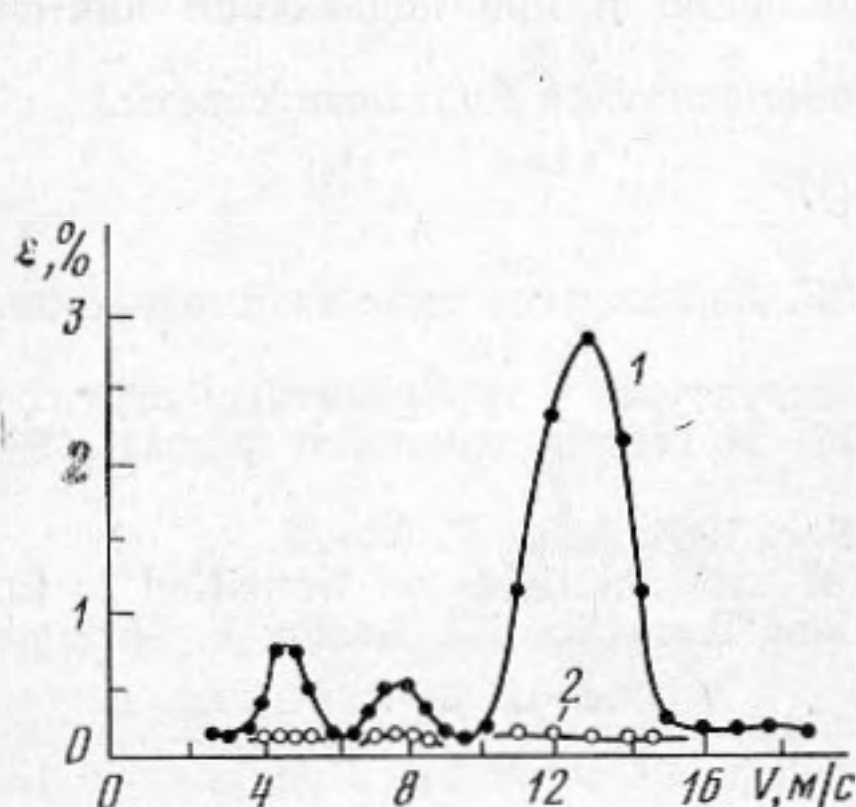


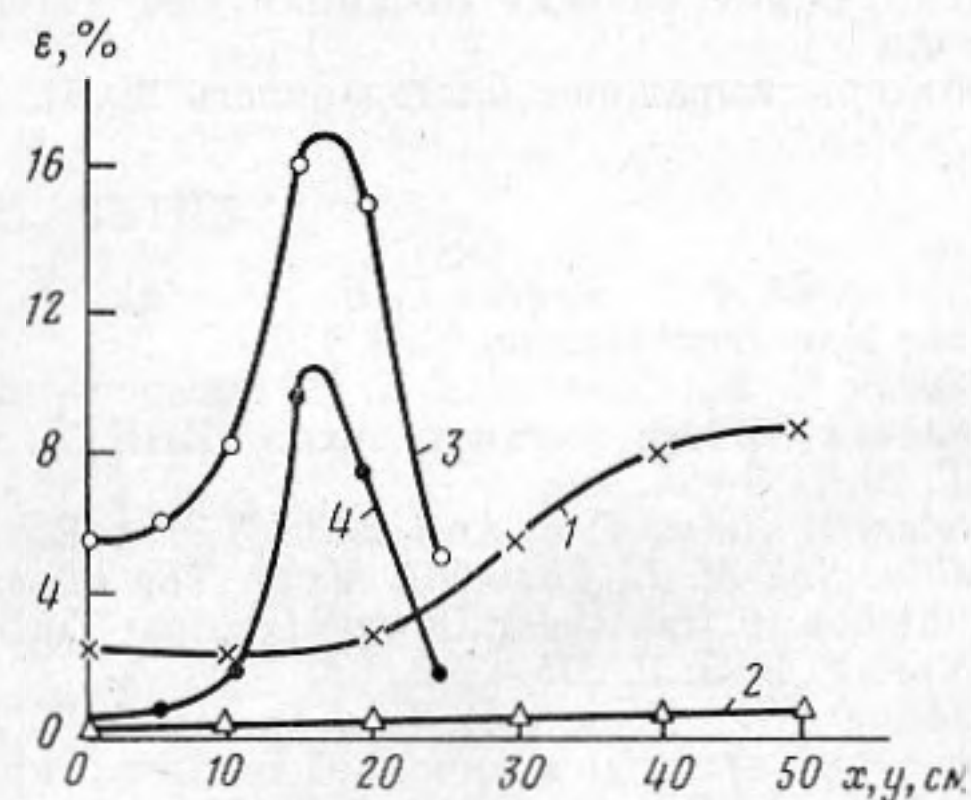
## СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ПУЛЬСАЦИИ В АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРУБАХ С ПОМОЩЬЮ АКТИВНОГО ПОДАВЛЕНИЯ ЗВУКА

*Громов П. Р., Зобнин А. Б., Кияшко С. В., Сущик М. М.*

Хорошо известно, что нестационарные гидродинамические течения генерируют звук, который в свою очередь часто влияет на интенсивность гидродинамических пульсаций [1, 2]. В такой ситуации методы активного подавления звука могут быть использованы также для снижения уровня пульсаций в потоке и для его стабилизации [3, 4]. Особенность задачи, решаемой в этом случае, заключается в том, что конечной целью является не только (и не столько) формирование системы дополнительных излучателей, компенсирующих акустическое поле исходных источников, но и подавление последних. По-видимому, наиболее эффективным такое подавление должно быть в тех случаях, когда автоколебания в гидродинамических



Фиг. 1



Фиг. 2

Фиг. 1. Зависимость уровня пульсаций скорости  $\varepsilon = \sqrt{\langle \bar{v}^2 \rangle} / V$  на срезе конфузора от скорости потока: 1 — без подавления автоколебаний; 2 — при оптимальном режиме подавления

Фиг. 2. Зависимость уровня пульсаций скорости  $\varepsilon$  в различных точках открытой рабочей части при  $V = 13$  м/с: 1 — зависимость от расстояния  $x$  до среза конфузора на оси рабочей части в отсутствие подавления; 2 — то же при подавлении; 3 — зависимость от расстояния  $y$  до оси при  $x = 30$  см в отсутствие подавления; 4 — то же при подавлении

течениях возникают за счет акустической обратной связи, например при отрывном обтекании тел, при обтекании каверн и т. п.

В данной работе приведены результаты по подавлению пульсаций в аэродинамической трубе замкнутого типа с открытой рабочей частью. Такая труба является типичной автоколебательной системой — она состоит из резонансной подсистемы (акустического резонатора, образованного обратным каналом трубы) и усилителя (сдвигового течения в открытой рабочей части, усиливающего гидродинамические пульсации). Связь между усилителем и резонатором осуществляется за счет преобразования акустических и гидродинамических пульсаций друг в друга на концах обратного канала [5].

Автоколебания, возникающие в аэродинамических трубах, являются серьезным препятствием для проведения экспериментов, поэтому неоднократно исследовалась возможность их ослабления [6], в том числе и с помощью использования дополнительных источников звука [1, 2]. Однако эти источники (как правило, высокочастотные по отношению к автоколебаниям) предназначались не для компенсации акустического поля в трубе, а для уменьшения усиления в сдвиговом слое за счет инициирования в нем мелких вихрей. В исследуемой нами аэродинамической трубе использование компенсации акустического поля оказалось более эффективным, чем нерезонансное воздействие и позволило полностью подавить автоколебания.

Эксперименты были проведены в аэродинамической трубе с открытой рабочей частью, длина которой в двух различных сериях экспериментов составляла  $l_1 = 1,2$  м и  $l_2 = 0,6$  м. Сдвиговое течение в рабочей части трубы формировалось конфузуром с поджатием 1:16, который заканчивался соплом с квадратным сечением  $0,3 \times 0,3$  м<sup>2</sup>. Общая длина обратного канала по осевой линии трубы составляла  $L \approx 18$  м. Диапазон исследуемых скоростей  $V = (3 \div 30)$  м/с.

Акустическое воздействие осуществлялось с помощью расположенного в обратном канале трубы громкоговорителя 25-ГД-26, на который после сдвига фазы и усиления подавался сигнал термоанемометра или микрофона, помещенных в рабо-

чей части трубы. За счет оптимального выбора их места расположения (и/или сдвига фаз фазовращателем) удавалось подавить автоколебания и существенно снизить уровень пульсаций в широком диапазоне скоростей (фиг. 1). Отметим, что при подавлении уровень пульсаций в сдвиговом слое струи изменяется существенно меньше чем в потенциальном ядре (вблизи оси струи). Это различие (см. фиг. 2) объясняется тем, что подавление сказывается в первую очередь на крупномасштабные когерентные структуры, относительный вклад которых в флуктуации скорости больше в потенциальном ядре, чем в сдвиговом слое.

Следует отметить, что в режиме полного подавления автоколебаний электрическая мощность, потребляемая излучателем, составляет доли ватта (при такой мощности описанные в работе [7] эффекты высокочастотного подавления не наблюдались). Столь низкое значение мощности связано с проявлением специфики активного подавления звука в автоколебательной системе — в исследуемом случае интенсивность источников звука гидродинамического происхождения падает со снижением уровня акустического поля. Точнее говоря, цепь термоанемометр — усилитель — излучатель, замыкаясь через акустическое поле и течения, образует дополнительную петлю обратной связи и, естественно, что потребляемая ею энергия в установившемся режиме зависит от амплитуды автоколебаний и при подавлении ничтожно мала.

Авторы выражают благодарность М. И. Рабиновичу за полезные советы.

#### 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. Когерентные структуры в турбулентных струях и следах // *Итоги науки и техн. ВИНТИ. Сер. Механика жидкости и газа*. 1986. Т. 20. С. 3—84.
3. Ffowcs-Williams J. E. Anti-sound // *Proc. Roy. Soc.* 1984. A395. P. 63—88.
4. Rabinovich M. I., Sushchik M. M. The effect of external fields on transition to turbulence in free shear flows // *Laminar-Turbulent Transition/Ed. Kozlov V. Springer-Verlag*, 1985. P. 375—384.
5. Громов П. Р., Зобнин А. Б., Кияшко С. В., Рабинович М. И., Сущик М. М. Автоколебания в аэродинамической трубе с открытой рабочей частью: Препринт № 135. Горький, ИПФ АН СССР. 1986. 24 с.
6. Стрелков С. П., Бендриков Г. А., Смирнов Н. А. Пульсации в аэродинамических трубах и способы их демпфирования // *Тр. ЦАГИ*. 1946. Вып. 593. 56 с.
7. Боярчикова М. Ю., Власов Е. В., Гиневский А. С., Зосимов А. В. Подавление автоколебаний в аэродинамических трубах с открытой рабочей частью // *Изв. АН СССР. МЖГ*. 1982. № 1. С. 126—132.

Институт прикладной физики  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
4.IV.1987

УДК 534.232

#### РАСЧЕТ ПОЛЯ ИЗЛУЧАТЕЛЯ, НАГРУЖЕННОГО НА РЕЗОНАТОР ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Иванов В. П.

Известно, что для лучшего согласования сопротивления излучения излучателя и сопротивления среды применяют резонаторы Гельмгольца, расположенные в окрестности излучателя [1]. Существующий импедансный метод [2] позволяет найти осредненное поле излучения излучателя в присутствии резонатора. Для развития теории излучателей, нагруженных на резонатор Гельмгольца, требуется более подробный анализ структуры поля излучения. В рамках линейной постановки исследуем задачу дифракции поля на круговом цилиндре с малым отверстием, которое возбуждается криволинейными мембранами, расположенными на стенке цилиндра вблизи отверстия.

Рассмотрим следующую задачу: на жестком цилиндре радиуса  $a$  размещен излучатель, который будем характеризовать распределением нормальной скорости  $f_0$  поверхности  $S_0$  вида  $f_0 = A \sin[\pi(\varphi - \delta)/(\alpha - \delta)]$  при  $\delta \leq \varphi \leq \alpha$  и  $f_0 = A \sin[\pi(\varphi + \delta)/(\delta - \alpha)]$  при  $-\alpha \leq \varphi \leq -\delta$ . В окрестности оси  $x$  на цилиндре прорезана щель  $S$ :  $-\delta < \varphi < \delta$ . Предполагается, что поле излучения не зависит от координаты  $z$ ,  $\delta/\alpha \ll 1$ ,  $\delta \ll 1$ ,  $\pi/\alpha \neq n$ , где  $n$  — целое число. Обозначим  $\Gamma_0$  окружность радиуса  $a$ , через  $\Gamma_1$  — внутреннюю сторону окружности при  $\delta < \varphi < 2\pi - \delta$ , объединенную с внешней стороной окружности при  $\alpha < \varphi < 2\pi - \alpha$ .

Поле излучателя вне и внутри окружности удовлетворяет однородному уравнению Гельмгольца  $(\Delta + k^2)U = 0$ , краевым условиям  $\partial U/\partial n = f_0$  на  $S_0$  и  $\partial U/\partial n = 0$  на  $\Gamma_1$ . На бесконечности выполняется условие излучения или погашаемости, на острых кромках — условие Майкснера. Построим поле распределения потенциала скорости  $U$  вне и внутри резонатора. Пусть  $G_1$  и  $G_2$  — функции Грина уравнения Гельмгольца для внешней и внутренней областей, ограниченных абсолютно жесткой поверхностью