

УДК 517.947+534.14+534.2

## **ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЗАДНЕЙ КРОМКИ ПЛОХООБТЕКАЕМОГО ТЕЛА НА ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗОНАНСНОГО РЕЖИМА**

**А.Б. СЕМЁНОВ, С.П. БАРДАХАНОВ**

*Институт теоретической и прикладной механики  
им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск*

Проведено экспериментальное исследование основных параметров аэроакустического резонанса, реализующегося около расположенного в канале плоского плохообтекаемого тела с различной формой его задней кромки. Показано, что около модели с острой задней кромкой диапазон скоростей потока, в котором имеет место резонанс, шире, чем такой же диапазон около пластины с тупой задней кромкой.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Обнаружение когерентных структур (КС) в турбулентных течениях три десятилетия назад стало мотивом для поиска способов управления турбулентными потоками, поскольку структуры могут служить объектами, манипулируя которыми можно изменять течение в целом. Различают активные и пассивные способы управления течением. Применительно к данной работе под первыми подразумеваются периодические во времени воздействия, например, с наложением акустического поля, а под вторыми — изменение геометрии течения, включая область, в которой происходит рождение КС.

Экспериментальные исследования резонансных акустических колебаний при обтекании решётки плоских прямоугольных пластин в канале впервые проведены в работе [1], тонкие плоские пластины с обрезанными под прямым углом задними кромками были установлены параллельно потоку на равных расстояниях друг от друга. Акустические измерения позволили обнаружить серию резонансов (проявляющихся в существенном повышении уровня звука), определить их частоты и распределение уровня звукового давления. Условие возникновения резонанса — приближение “естественной” частоты образования вихрей Кармана на задней кромке отдельной пластины к частоте собственной моды акустических колебаний в исследуемой области течения. При образовании вихрей Кармана происходит генерация слабого звука, который и является источником возникновения резонанса. Изменение частоты схода вихрей достигалось изменением скорости набегающего потока. Возникнув, резонансное излучение звука продолжалось в некотором диапазоне скоростей. Наблюдаемые резонансы были именно акустическими, а не связанными с механическими колебаниями моделей.

В последующие годы изучению резонанса посвящено большое число как теоретических, так и экспериментальных работ, в которых можно выделить два основных подхода: исследование генерации звука в области отрыва потока на задней кромке тела и изучение влияния звуковых колебаний на отрыв потока и на течение

в следе. С современной точки зрения эти подходы можно интерпретировать как различные пути управления течением с целью подавления резонансных явлений. Вид собственных колебаний (зависимость амплитуды колебаний от пространственных координат) около одной пластины, расположенной в плоскости симметрии канала, был исследован в [2, 3]. В работе [4] явление изучалось для существенно большей толщины пластины. С учетом схода с задней кромки пластины турбулентного пограничного слоя соответствующие вихревые образования, источники звуковых колебаний, было предложено считать когерентными структурами, которые представляют собой аналог дорожки Кармана в следе за цилиндром. Были обнаружены существенные изменения интегральных параметров течения по сравнению с нерезонансными режимами. В работе [5] теоретически рассмотрена задача о собственных частотах области колебаний, и проведено сравнение с имевшимися на тот момент экспериментальными данными. В более поздней работе [6] соответствующие решения для собственных частот получены в линейной постановке и одновременно проведено сравнение расчетных результатов с оригинальными экспериментальными данными для случая плоской пластины. Однако полное решение задачи о настройке системы отрывная зона–когерентные структуры–область резонансных колебаний на резонансный режим, даже в плоском случае до сих пор не найдено, поскольку для описания аэроакустических взаимодействий в зоне генерации когерентных структур требуется рассмотрение нелинейных взаимодействий. В частности, практически не исследовалась роль формы задней кромки.

Цель настоящей работы — исследование влияния формы задней кромки плоскообтекаемого тела на диапазон аэроакустического резонанса по скорости потока.

#### 1. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Исследования проводились в ИТПМ СО РАН в дозвуковой аэродинамической трубе МТ-324 замкнутого типа с закрытой рабочей частью. Рабочая часть имела следующие размеры: поперечное сечение —  $0,2 \times 0,2 \text{ м}^2$ , длина —  $0,8 \text{ м}$ . В ходе экспериментов в качестве моделей использовались прямоугольные пластины длиной  $200 \text{ мм}$  и толщиной  $d = 8 \text{ мм}$ . Форма задних кромок пластин была тупой и острой (рис. 1).

Измерения проводились в диапазоне скоростей набегающего потока  $U_\infty$  от  $5$  до  $40 \text{ м/с}$ . Продольные компоненты средней и среднеквадратичных флуктуаций скорости  $U$  и  $u'$  в следе измерялись при помощи термоанемометрической аппаратуры фирмы DANTEC и датчика с нитью из позолоченного вольфрама толщиной  $6 \text{ мкм}$  и длиной  $1 \text{ мм}$ . Использовался стандартный мост 55M10 с частотным диапазоном до  $200 \text{ кГц}$  при скорости потока, равной  $100 \text{ м/с}$ .

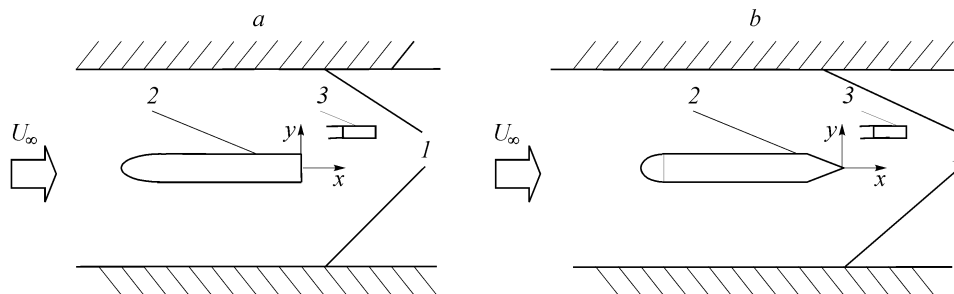


Рис. 1. Схема эксперимента.

1 — стенки рабочей части, 2 — пластины, 3 — датчик термоанемометра. a, b — пластины с тупой и острой задними кромками соответственно.

Сигнал термоанометра через аналого-цифровой преобразователь MacADIOS-Adio фирмы GW Instruments подавался в персональный компьютер Macintosh LC III фирмы Apple Computer, где обрабатывался в цифровой форме. В каждой точке пространства проводился спектральный анализ: измерялись частота звуковой волны и спектральная амплитуда  $u'_f$  на этой частоте.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Распределения средней скорости и среднеквадратичных флуктуаций в следе за пластинами имели вид, типичный для следа (см., например [4]). Измерения спектров пульсаций скорости показали, что, как и в предшествующих работах, в нерезонансных режимах на моделях наблюдался сход КС с задней кромки с частотой, приближенно определяемой числом Струхала, равном 0,21. А именно, для данной скорости потока в спектре ей соответствовала “основная частота”, на которой выделялся единственный пик, обычно существенно превышающий уровень фоновых турбулентных пульсаций.

На рис. 2 показаны результаты измерения зависимости частоты схода КС от скорости потока для резонанса, который реализуется около пластин с тупой и острой задними кромками. Из этих данных можно сделать вывод, что резонансный диапазон скоростей шире при обтекании пластины с острой задней кромкой (на рис. 2 этот диапазон скоростей потока обозначен буквой  $H$ ).

Одновременно в работе проводились исследования влияния формы задней кромки на интенсивность колебаний в ближней области следа. Датчик термоанометра располагался за пластинами с тупой и острой кромками на определенных расстояниях по координате  $X$ , где проводились измерения распределения флуктуаций

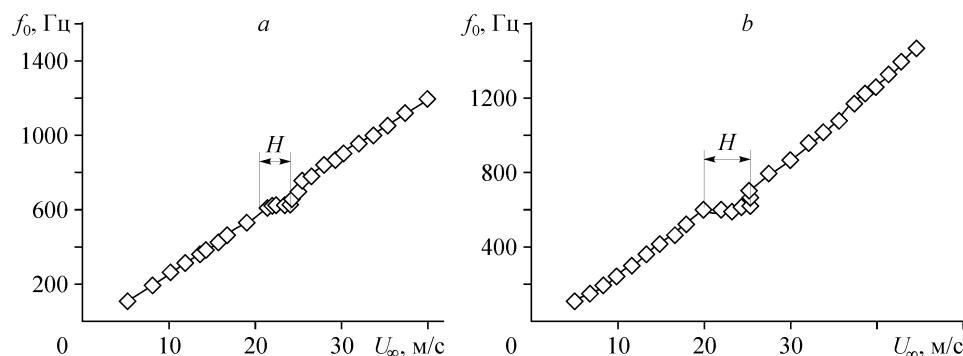


Рис. 2. Зависимость частоты схода КС от скорости набегающего потока для пластины с тупой (а) и с острой (б) задними кромками.

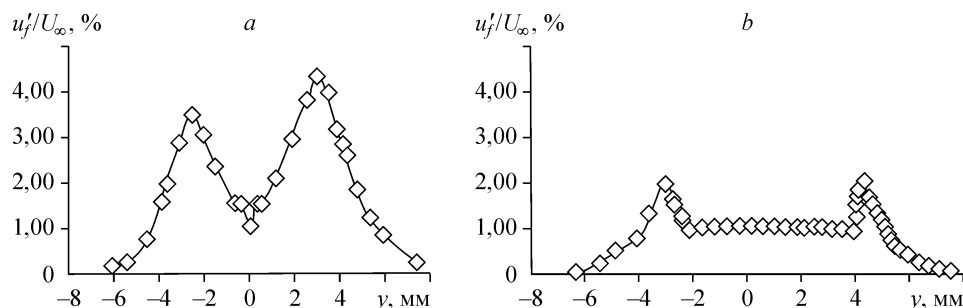


Рис. 3. Распределения амплитуд пульсаций скорости на резонансной частоте в ближней области следа ( $x = 0,1$  мм) за моделями с острой (а) и тупой (б) задними кромками.

скорости на резонансной частоте. Скорость набегающего потока составляла около 20 м/с и соответствовала начальной скорости резонансного режима. Пример полученных данных представлен на рис. 3. Из этих данных видно, что амплитуда пульсаций скорости в максимуме существенно выше для случая острой кромки по сравнению со случаем резонанса у пластины с тупой кромкой.

Таким образом, можно говорить о чувствительности основных параметров аэроакустического резонанса к изменению формы задней кромки плохообтекаемого тела. В настоящем исследовании показано, что около модели с острой задней кромкой диапазон скоростей потока, в котором имеет место резонанс, шире, чем аналогичный диапазон при резонансе около пластины с тупой задней кромкой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Parker R.** Resonance effects in wake shedding from parallel plates: some experimental observations // J. Sound and Vibration. — 1966. — Vol. 4, No. 1. — P. 62–63.
2. **Cumpsty N.A. Whitehead D.S.** The excitation of acoustic resonances by vortex shedding // J. Sound and Vibration. — 1971. — Vol. 18, No. 3. — P. 353–369.
3. **Ильченко М.А. Руденко А.Н. Эпштейн В.Л.** Исследование генерации вихревого звука при обтекании профиля в канале // Акустический журн. — 1980. — Т. 26, вып. 5. — С. 708–717.
4. **Бардаханов С.П. Лыгденов В.Ц.** Когерентные структуры в канале за плохообтекаемым телом и генерация звука в резонансных условиях // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. — 1990. — Вып. 2. — С. 36–40.
5. **Курзин В.Б.** О затухающих собственных колебаниях газа, обтекающего решётку пластин // Изв. АН СССР. Сер. МЖГ. — 1970. — №5. — С. 84–88.
6. **Сухинин С.В. Бардаханов С.П.** Эоловы тона пластины в канале // ПМТФ. — 1998. — Т. 39, № 2. — С. 68–76.

*Статья поступила в редакцию 13 июля 2006 г.*