

и частот свободных колебаний таких оболочек широко известны. Там же приведена кривая, рассчитанная с помощью формулы (4) (сплошная линия). Расчеты произведены для стальной оболочки следующих размеров: $R = 40,3$ см; $l = 208$ см; толщина стенок — 0,3 см. Сравнение показывает, что характеристический импеданс (4) успешно описывает осредненную реакцию оболочки.

Получена также экспериментальная частотная зависимость колебательного ускорения в точке возбуждения (штриховая кривая на фиг. 2) при постоянном по амплитуде возмущающем усилии, приложенном посередине длины оболочки. Усилие, контролировавшееся пьезоэлектрическим датчиком силы, помещенным между возбудителем и оболочкой, представлено штрих-пунктирной кривой. Расчетная величина осредненного колебательного ускорения (сплошная кривая), полученная с использованием характеристического импеданса, согласуется с осредненным экспериментальным значением.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Skudrzyk. Vibrations of a system with a finite or an infinite number of resonances. J. Acoust. Soc. America, 1958, 30, 2, 1140—1152.
2. M. Heckl. Vibrations of point-driven cylindrical shells. J. Acoust. Soc. America, 1962, 34, 10, 1953—1957.
3. J. J. Polladino, V. H. Neubert. Mobility of a long cylindrical shell. J. Acoust. Soc. America, 1967, 42, 2, 403—411.

Ленинград

Поступило в редакцию
21 октября 1968 г.

УДК 534.231

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЩЕЛЕВОМ ОТСАСЫВАНИИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

Л. М. Лямшев

В работе [1] показано, что для приближенного расчета среднего квадрата флуктуаций давления в акустическом поле пограничного слоя при его отсасывании с поверхности упругой пластины (оболочки) необходимо, по меньшей мере, знать решение вспомогательной дифракционной задачи и функцию корреляции флуктуаций давления, действующих на поверхность тела со стороны пограничного слоя. Там же отмечалось, что в случае щелевого отсасывания наличие щелей приводит как бы к появлению дополнительных поверхностных источников шума, хотя, как и в случае турбулентного потока над однородной упругой пластиной, происхождение шума связано с квадрупольными источниками. Поверхностные источники имеют «дифракционное» происхождение, так как обусловлены дифракцией звуковых волн, излучаемых квадрупольями, на щелях. Последнее явилось следствием предположения, что шириной щели можно пренебречь, т. е. пренебречь влиянием щели на свойства гидродинамических флуктуаций давления в пограничном слое. Между тем, в действительности, ширина щели всегда конечна и возникает вопрос, как учесть конечность ширины щели.

Прежде всего следует ожидать, что при обтекании поверхности тела (пластины) с щелями у передней и задней кромок щели могут возникать и отрываться вихри. Это может привести к появлению некоторых дополнительных сил и моментов гидродинамического происхождения, действующих на поверхность тела со стороны пограничного слоя у краев щели. Действие указанных сил и моментов должно быть учтено при формулировке гранично-контактных условий. Дифференциальные уравнения (4) и (3) (см. работу [1]), соответствующие гранично-контактным условиям, теперь примут вид [2]

$$Kw^{(1)}(\mathbf{r}_0^s) = Q_v^{(1)}(w^{(1)}) - \hat{Q}_v^{(1)} + \frac{\partial M_{vi}^{(1)}(w^{(1)})}{\partial l} - \frac{\partial \hat{M}_{vi}}{\partial l}, \Big|_{\Gamma}$$

$$N \frac{\partial w^{(1)}(\mathbf{r}_0^s)}{\partial \nu} = M_v^{(1)}(w^{(1)}) - \hat{M}_v^{(1)}, \Big|_{\Gamma}$$

Напомним, что K и N — дифференциальные операторы самосопряженного типа, \hat{Q}_v , \hat{M}_v и \hat{M}_{vi} — силы и моменты, действующие со стороны потока, а $Q_v(w)$, $M_v(w)$ и $M_{vi}(w)$ соответственно силы и моменты, действующие со стороны пластины, на ребра

жесткости, которыми подкреплены края щелей. Заметим, что обозначения всюду сохраняются те же, что и в работе [1].

С учетом приведенных выше уточненных гранично-контактных условий, выражение (21) работы [1] для флюктуаций давления в акустическом поле, если точка наблюдения расположена вне пограничного слоя, примет вид

$$p^{(1)}(\mathbf{r}) \approx k^2 \int_{\Omega} p^0(\mathbf{r}_0) \left(1 - i \frac{\beta}{k} \frac{\partial}{\partial x_0}\right)^2 \tilde{p}^{(2)}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) d\Omega(\mathbf{r}_0) + \\ + \int_{\Gamma} \left\{ \frac{\partial}{\partial n_0} \tilde{p}^{(2)}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0^s) \left[\hat{Q}_v^{(1)}(\mathbf{r}_0^s) + \frac{\partial \hat{M}_{vi}^{(1)}(\mathbf{r}_0^s)}{\partial l_0} \right] + \frac{\partial^2}{\partial v_0 \partial l_0} \tilde{p}^{(2)}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0^s) M_v^{(1)}(\mathbf{r}_0^s) \right\} d\Gamma(\mathbf{r}_0^s).$$

Здесь $\tilde{p}^{(2)}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0)$ — решение вспомогательной дифракционной сопряженной задачи (функция Грина), причем оно может быть получено в предположении, что ширина щели равна нулю, если длина звуковой волны существенно больше ширины щели, либо с учетом конечной ширины щели и соответствующего дополнительного краевого условия для поля на участке, где расположена щель.

Для вычисления среднего квадрата флюктуаций давления в акустическом поле необходимо написанное выше равенство умножить на взаимосопряженное выражение и произвести операцию осреднения. Если предположить, что флюктуации давления p^0 в пограничном слое, сил и моментов, действующих на края щели, являются статистически независимыми, то для расчета интенсивности излучения необходимо знать, наряду с решением вспомогательной дифракционной задачи и функцией корреляции флюктуаций давления в пограничном слое, также и функции корреляции сил и моментов, действующих на ребра жесткости и края щели со стороны потока.

Попытаемся теперь, хотя бы в общих чертах, рассмотреть, в каких случаях следует учитывать действие на края щелей сил и моментов, возникающих вследствие образования и отрыва вихрей. Здесь необходимо принять во внимание соотношение между размерами (шириной) щели и длиной гидродинамической волны, характеризуемое числом Струхала $Sh = lf/U_c$, где f — частота колебаний, l — эффективная ширина щели, U_c — скорость потока жидкости в окрестности щели. Известно, что влияние локальных и распределенных неоднородностей поверхности, обтекаемой потоком жидкости на акустические процессы существенно в области изменения числа Струхала $Sh \simeq 6$ ($10^{-2} \div 10^{-1}$), см [3, 4]. Вне этих пределов эффект неоднородностей относительно мал и им можно пренебречь, т. е. действие флюктуаций сил и моментов, обусловленных срывом вихрей с кромок щелей можно не учитывать, как это и сделано в работе [1]. Полезно заметить, что отсасывание жидкости с поверхности тела должно влиять не только на амплитуду этих сил и моментов, но изменять и диапазон частот, где их действие оказывается эффективным, поскольку будет изменяться величина скорости потока в окрестности кромок щели. В связи с этим полезно указать и на влияние формы щели и ее кромок.

Рассматриваемые здесь соображения, как и результаты работы [1], нуждаются, разумеется, в сопоставлении с экспериментальными фактами. В этой связи представляет известный интерес экспериментальное исследование пристеночных флюктуаций давления в пограничном слое при его отсасывании в непосредственной окрестности щелей, через которые производится отсос жидкости и экспериментальное определение сил и моментов, действующих на края щелей со стороны потока. В настоящее время в литературе практически отсутствуют какие-либо экспериментальные данные как о свойствах пристеночных флюктуаций давления в пограничном слое при его отсасывании, так и о свойствах акустического поля, порождаемого этими флюктуациями. Несомненно, что, когда такие сведения будут накапливаться, отдельные приведенные здесь и в работе [1] соображения будут уточнены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. М. Лямшев. К расчету излучения звука при отсасывании пограничного слоя. Акуст. ж., 1968, 14, 3, 416—422.
2. Л. М. Лямшев. К теории колебаний неоднородных упругих пластин. Акуст. ж., 1964, 10, 1, 81—87.
3. Д. И. Блохинцев. Акустика неоднородной движущей среды. М.—Л., ГТТИ, 1946.
4. Е. М. Грешилов, Л. М. Лямшев. О спектре и корреляции пристеночных пульсаций давления при обтекании шероховатостей стенки. Акуст. ж., 1969, 15, 1, 126—128.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
15 апреля 1969 г.