

ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ АКТИВНОГО ГАШЕНИЯ ДВУХМОДОВОГО АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ЗАМКНУТОМ ВОЗДУШНОМ ОБЪЕМЕ

И. А. Королев, А. А. Мальцев, В. В. Черепенников

В большинстве экспериментальных работ по активному гашению акустических полей исследуются характеристики систем гашения различных бегущих волн (см., например, [1–3]). При решении задачи активного подавления звукового поля в замкнутом объеме возникает сильная волновая обратная связь между гасящими излучателями и измерителями исходного поля, которая может привести к потере устойчивости системы гашения. Решить проблему волновой обратной связи, по крайней мере в случае узкополосных акустических полей, позволяет метод, предложенный в [4]. Работоспособность такого подхода была подтверждена экспериментально при исследовании адаптивной системы активного гашения одномодового узкополосного акустического поля в прямоугольном бассейне с водой [5]. В настоящем сообщении приводятся результаты экспериментального исследования более сложной адаптивной системы, позволяющей подавлять двухмодовое двухчастотное акустическое поле в условиях замкнутого воздушного объема.

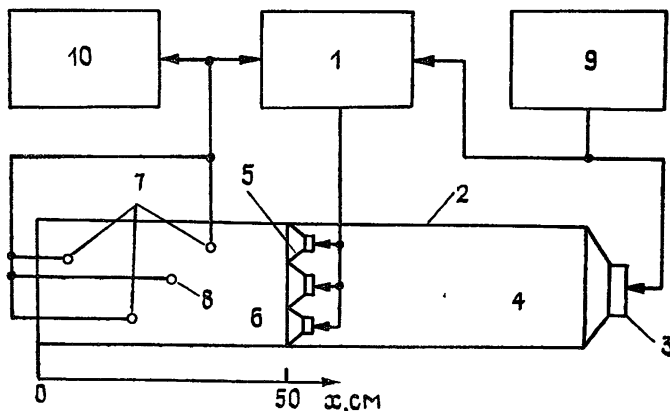


Рис. 1. Общая схема экспериментальной установки.

Общая блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Акустический резонатор 2 был собран из двух секций: области «свободного» распространения волн 4 и области гашения 6, изготовленных из толстостенных металлических труб ($\varnothing 240 \times 15$ мм, материал Д16Т). Излучатель «внешнего» поля 3 (громкоговоритель ЗГД-40) располагался в торце секции «свободного» распространения волн 4. Гасящие излучатели 5 монтировались на легкой перегородке из текстолита, зажимаемой между фланцами секций 4 и 6 акустического резонатора. Размещение гасящих излучателей на перегородке было следующим. В качестве центрального излучателя использовался громкоговоритель 0,5ГД-21. Из восьми малогабаритных громкоговорителей 0,1ГД-13 был синтезирован кольцевой излучатель, необходимый для гашения высокочастотных мод со сложной поперечной структурой. В области гашения 6 были размещены контрольные управляющие приемники 7 (микрофоны МКЭ-2) и измерительный микрофон 8 (МКЭ-2). Излучатель внешнего поля возбуждался гармоническим сигналом с генератора 9. Сигнал управления гасящими излучателями синтезировался в блоке адаптивного управления 1, подробное описание которого дано в [6]. В состав экспериментальной установки входил комплекс измерительно-регистрающей аппаратуры 10.

В ходе эксперимента были проведены следующие исследования и получены результаты.

1. Гашение одной низкочастотной моды с простой пространственной структурой. Исходное поле возбуждалось гармоническим сигналом на частоте $f_1 = 1020$ Гц (мода P_{003}). Опорным сигналом служил этот же гармонический сигнал. Использовался один центральный гасящий излучатель и один контрольный приемник, расположенный в максимуме исходного поля в точке с координатами $x = 17$ см, $r = 3$ см (координаты даны в цилиндрической системе координат с осью, совпадающей с осью акустического резонатора и началом координат, совпадающим с торцевой стенкой области гашения, см. рис. 1). Для управления гасящим излучателем использовалась одна пара квадратурных цепочек адаптивного градиентного алгоритма [6].

Проводилось исследование пространственной структуры звукового поля в области гашения. Результаты измерения амплитуды звукового давления вдоль оси акустического резонатора представлены на рис. 2: 1 — исходное поле без гашения;

2 — остаточное поле при включенной системе гашения. Из приведенных графиков видно, что при простой структуре исходного поля (мода P_{003}) система гашения работает с высокой эффективностью и степень компенсации достигает — 28 дБ во всей области гашения.

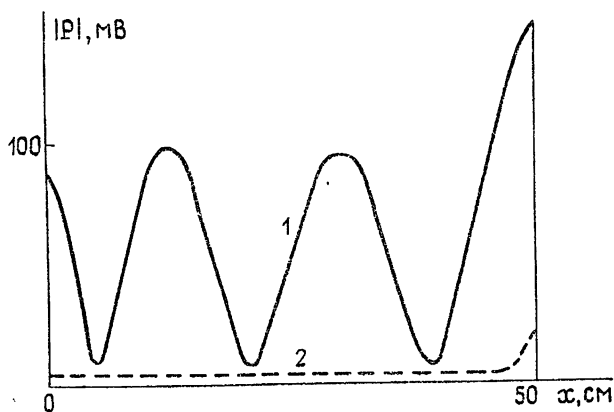


Рис. 2. Амплитуда звукового давления одномодового поля с частотой 1020 Гц вдоль оси акустического резонатора.

2. *Гашение одной высокочастотной моды со «сложной» пространственной структурой.* Исходное поле возбуждалось гармоническим сигналом на частоте $f_2=2820$ Гц (мода P_{016}). Опорным сигналом служил этот же гармонический сигнал. Использовался сложный гасящий излучатель. Центральный динамик и «кольцо» управлялись независимо двумя парами квадратурных цепочек адаптивного градиентного алгоритма. Три контрольных приемника располагались в области гашения в точках с координатами $x=0$, $r=8$ см (на торцевой стенке), $x=25,3$ см, $r=10$ см (на боковой стенке), $x=8,5$ см, $r=3$ см (вблизи оси области гашения).

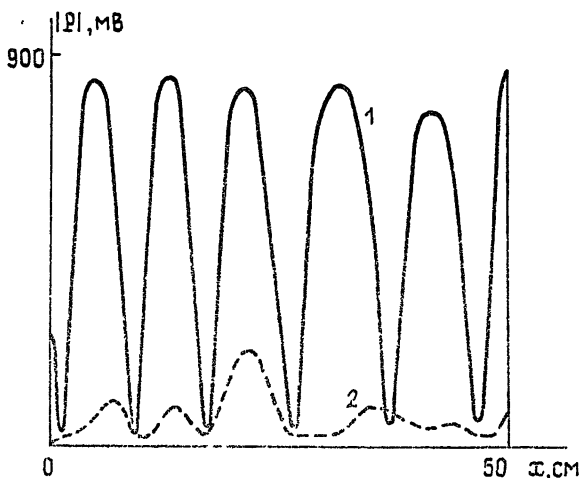


Рис. 3. Амплитуда звукового давления одномодового поля с частотой 2820 Гц вдоль оси акустического резонатора.

Результаты измерения пространственной структуры звукового поля вдоль оси области гашения приведены на рис. 3: 1 — исходное поле без гашения, 2 — остаточное поле при включенной системе гашения. Из приведенных на рисунке кривых видно, что при активном гашении высокочастотных мод со сложной пространственной структурой эффективность работы адаптивной системы активного гашения несколько снижается, степень компенсации сильно зависит от точки измерения и меняется от — 12 дБ до — 26 дБ, составляя в среднем — 17 дБ.

Ухудшение компенсации в этом случае, по всей видимости, связано с наличием в акустическом резонаторе на частоте f_2 достаточно мощных несимметричных (паразитных) мод, которые возбуждаются из-за неидеальной осевой симметрии излучателей. Поэтому для повышения степени компенсации можно рекомендовать увеличить число степеней свободы адаптивной системы активного гашения, например независимо управлять отдельными динамиками «кольца».

3. *Одновременное гашение двух мод с различными частотами и различными пространственными структурами.* Исходное поле возбуждалось одновременно на двух частотах: на частоте $f_1=1020$ Гц (мода P_{003}) и частоте $f_2=2820$ Гц (мода P_{016}). Для

этого на излучатель внешнего поля подавалась сумма двух гармонических сигналов с частотами f_1 и f_2 . Опорными сигналами служили эти же гармонические сигналы. Использовался сложный излучатель, управляемый тремя парами квадратурных цепочек адаптивного градиентного алгоритма. Две пары цепочек независимо «запитывали» центральный динамик двумя опорными сигналами с частотами f_1 и f_2 . Одна пара цепочек независимо управляла кольцевым излучателем на частоте f_2 . Три контрольных приемника располагались в области гашения в точках с координатами $x=25,3$ см, $r=10$ см (на боковой стенке), $x=8,5$ см, $r=3$ см, $x=4,3$ см, $r=3$ см (вблизи оси области гашения).

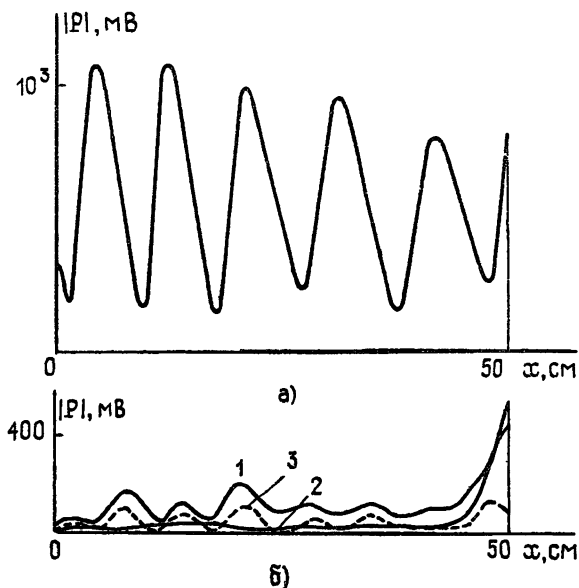


Рис. 4. Амплитуда звукового давления двухмодового поля на частотах 1020 Гц и 2820 Гц вдоль оси акустического резонатора.

Результаты измерения эффективного звукового давления вдоль оси области гашения приведены на рис. 4: а) — исходное суммарное поле без гашения, б) — остаточное поле при включенной системе гашения. Цифрами на рис. 4б обозначены кривые: 1 — суммарное остаточное поле на двух частотах f_1 и f_2 , 2 — компонента остаточного поля на частоте f_1 , 3 — компонента остаточного поля на частоте f_2 .

Эффективность работы системы активного гашения в этом случае оказалась практически такой же, как и при гашении моды на частоте f_2 (см. рис. 3 и 4) и степень компенсации суммарного поля составила в среднем — 17 дБ.

Из сравнения полученных результатов видно, что увеличение числа степеней свободы у адаптивной системы активного гашения позволило практически независимо осуществить одновременную компенсацию двух мод с различными частотами. При этом эффективность гашения оказалась приблизительно такой же, как и при компенсации каждой моды по отдельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мазаников А. А., Тютюкин В. В., Уколов А. Г. // Акуст. журн. 1977. Т. 23. № 3. С. 485.
2. Меркулов В. Н., Тютюкин В. В. // Акуст. журн. 1980. Т. 26. № 4. С. 629.
3. Климов С. П., Мазаников А. А., Тютюкин В. В. // Акуст. журн. 1984. Т. 30. № 5. С. 653.
4. Арзамасов С. Н., Мальцев А. А. // Радиофизика. 1986. Т. 29. № 6. С. 697 (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Королев И. А., Лепендин В. П., Мальцев А. А., Черепенников В. В. // Радиофизика. 1987. Т. 30. № 1. С. 57 (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Королев И. А., Мальцев А. А. // Радиотехника и электроника. 1981. Т. 26. № 10. С. 2133.