

## ИНТЕРФЕРЕНЦИОННО-ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СОТОВЫХ ДИАФРАГМ

*Г. В. Дрейден, Ю. И. Островский, Н. О. Рейнганд, Т. П. Романова, И. В. Семенова*

В последнее время при конструировании электродинамических громкоговорителей в качестве излучающих элементов широко используются плоские сотовые диафрагмы, впервые предложенные Барлоу [1]. Они представляют собой трехслойные конструкции, состоящие из легкого заполнителя с ячеистой структурой в виде сотовых элементов, к торцам которых приклеены листовые обшивки, выполненные как правило, из металлической фольги. Такая конструкция имеет в десятки раз большую изгибную жесткость по сравнению с традиционным бумажным конусом, что позволяет значительно расширить рабочий диапазон головок громкоговорителей в сторону высоких частот и уменьшить амплитудно-частотные и нелинейные искажения.

В настоящее время на основе метода конечных элементов проведены теоретические расчеты круглых и квадратных сотовых диафрагм с подкрепляющими элементами (ребрами жесткости), а также трехслойных сотовых сферических сегментов, круглых и прямоугольных в плане [2], однако для создания методов расчета всей подвижной системы необходимо проведение экспериментов, позволяющих исследовать формы колебаний сотовых диафрагм любых конфигураций во всем диапазоне частот.

В качестве экспериментального метода был выбран метод голографической интерферометрии, который позволяет исследовать распределение амплитуды и фазы колебаний поверхности диафрагмы. Основная часть экспериментов проводилась с помощью метода усреднения во времени [3].

Исследовались четыре головки громкоговорителей: 1) среднечастотная головка разработки ВНИИРПА с круглой диафрагмой диаметром 85 мм с линейной разверткой сотового заполнителя, 2) среднечастотная головка фирмы Matsushita с круглой диафрагмой диаметром 95 мм с радиальной разверткой заполнителя, 3) широкополосная головка фирмы Sharp с диафрагмой размером 70×70 мм с линейной разверткой сотового заполнителя, 4) низкочастотная головка фирмы Сапуо с диафрагмой 103×103 мм с линейной разверткой заполнителя.

Результаты анализа полученных интерферограмм и их сравнения с амплитудно-частотными характеристиками головок показали следующее.

1. До первой резонансной частоты подвижной системы сотовая диафрагма работает в режиме синфазных колебаний. В этом диапазоне частот наблюдаются минимальные искажения амплитудно-частотной характеристики звукового давления.

2. После первой резонансной частоты диафрагмы появляется область минимального смещения (узловая линия), которая разделяет диафрагму на зоны противофазных колебаний. На характеристике звукового давления в этом диапазоне частот наблюдаются ярко выраженные пики и провал. С увеличением частоты колебаний у круглых диафрагм узловая линия смещается к центру, а у края возникает вторая узловая линия.

3. В случае квадратных диафрагм на высоких частотах также возникают области противофазных колебаний, при этом узловые линии имеют неправильную форму.

4. Частоты, соответствующие максимальным и минимальным амплитудам колебаний диафрагм, определенные интерферометрическим методом, совпадают с частотами пиков и провалов на амплитудно-частотных характеристиках головок громкоговорителей.

5. Для всех исследованных диафрагм на высоких частотах были зарегистрированы колебания отдельных ячеек [4], причем амплитуда этих колебаний

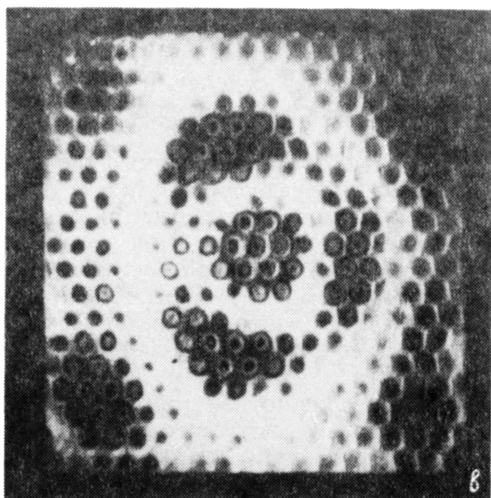
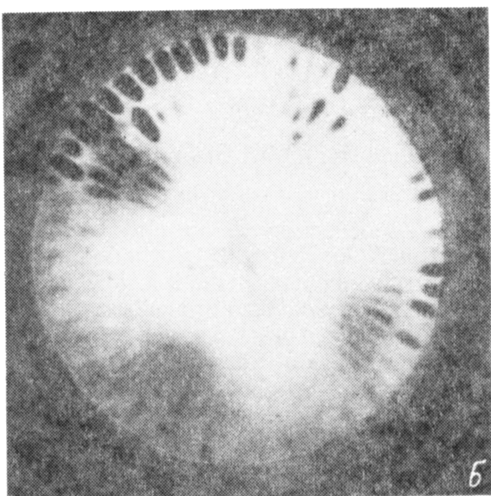
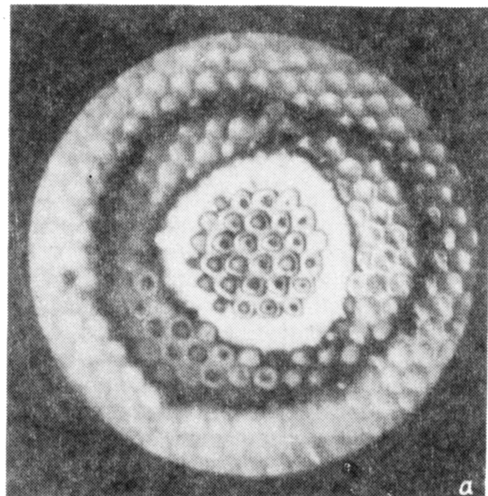


Рис. 1.

з, Гц: а — 11 800, б — 16 000, в — 14 000.

соизмерима с амплитудой колебаний диафрагмы в целом, а иногда и превышает ее.

На рис. 1, а — в приведены примеры голографических интерферограмм для диафрагм 1—3, на которых видны полосы, соответствующие колебаниям отдельных ячеек. Необходимо отметить, что в случае диафрагмы 2 (рис. 1, б), имеющей ячейки разных размеров, колебания ячеек при увеличении частоты возбуждающего сигнала возбуждаются, начиная с периферийных областей, где расположены ячейки наибольших размеров. В то же время для диафрагм 1 и 3, имеющих ячейки одинаковых размеров в первую очередь возбуждаются колебания ячеек, расположенных в тех областях диафрагмы, которые колеблются с максимальной амплитудой.

При конструировании сотовых диафрагм квадратных конфигураций рационально применение ребер жесткости, которые выполняют двойную роль: увеличивают изгибную жесткость диафрагмы и уменьшают ее упругую асимметрию при линейной развертке сотового заполнителя.

Экспериментальное исследование картин колебаний квадратной диафрагмы с ребрами жесткости и без них было проведено на низкочастотной головке 4. Рассматривались две конфигурации ребер жесткости. В первом случае на диаф-



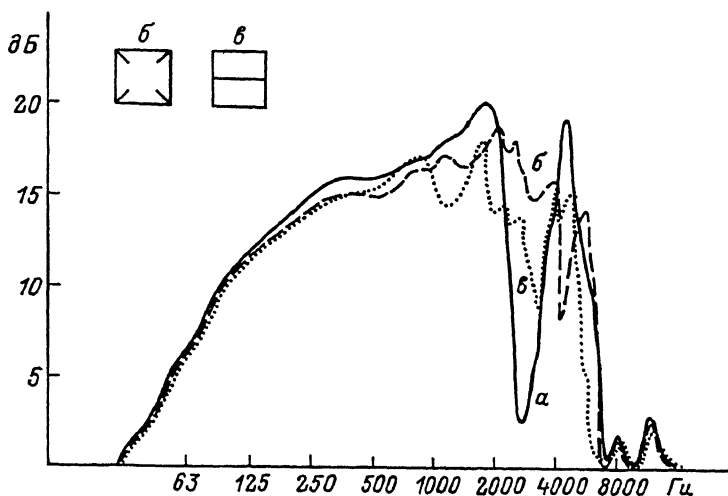


Рис. 2 Амплитудно-частотные характеристики.

*а* — диафрагмы без ребер жесткости; *б* — диафрагмы с диагональными ребрами; *в* — диафрагмы с осевым ребром.

рагме были размещены 4 диагональных ребра, расположенных под углом  $45^\circ$  к осям диафрагмы. Во втором случае использовалось одно ребро, расположенное по оси диафрагмы в направлении минимальной упругости сотового заполнителя.

На рис. 2 приведены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) данной головки без ребер жесткости и с ребрами описанных конфигураций. Как видно, в области низких частот все три кривые практически совпадают. В области высоких частот на АЧХ головки с диафрагмой без ребер жесткости наблюдается пик на частоте 1700 Гц, резкий провал на частоте 2900 Гц и пик на частоте 4500 Гц. Наличие ребер жесткости приводит к значительному сглаживанию как пиков, так и провалов (для обеих конфигураций ребер) и смещению их в высокочастотную область (в случае диагональных ребер).

На рис. 3—5 приведены интерферограммы колебаний исследуемой диафрагмы с ребрами и без них на частотах, соответствующих особым точкам верхней границы АЧХ. Анализ этих результатов позволяет сделать следующие выводы: 1) применение диагональных ребер улучшает симметрию картины колебаний, т. е. уменьшает неравномерность АЧХ головки громкоговорителя; 2) применение одного ребра по оси диафрагмы также позволяет управлять симметрией колебаний, меняя конструкцию ребра и место его расположения; 3) с помощью реберного подкрепления можно как уменьшать, так и увеличивать амплитуду колебаний диафрагмы, а также изменять величину поверхности диафрагмы, колеблющейся в одной фазе, т. е. в конечном счете управлять формой АЧХ.

Для исследования распределения фаз колебаний по поверхности плоской сотовой диафрагмы использовался метод автоматической фазовой модуляции опорного пучка [5]. Схема экспериментальной установки показана на рис. 6. Пучок света от He-Ne лазера 1 светоделительной пластиной 3 делился на предметный и два опорных пучка. Предметный пучок микроскопом 4 расширялся до нужного размера и освещал поверхность сотовой диафрагмы 11. Диффузно рассеянный ею свет падал на голограмму 12. Первый опорный пучок образовывался при отражении от задней поверхности светоделительной пластины, фокусировался системой объективов 7 на поверхность неподвижного зеркала 9 и направлялся на голограмму. Используя этот опорный пучок можно было получать голограммы колеблющейся диафрагмы обычным методом усреднения во времени. Вторым опорный пучок образовывался при отражении от передней поверхности светоделительной пластины и затем системой объективов 8 фокуси-

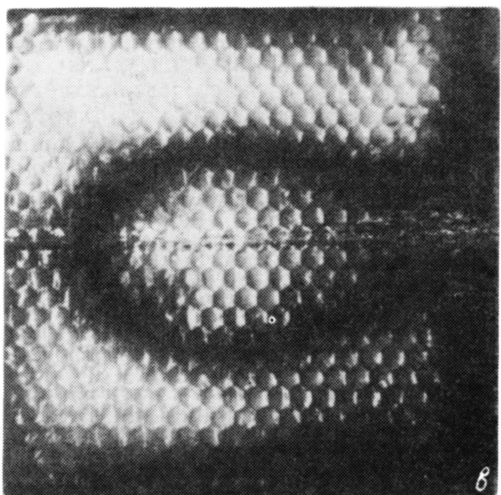
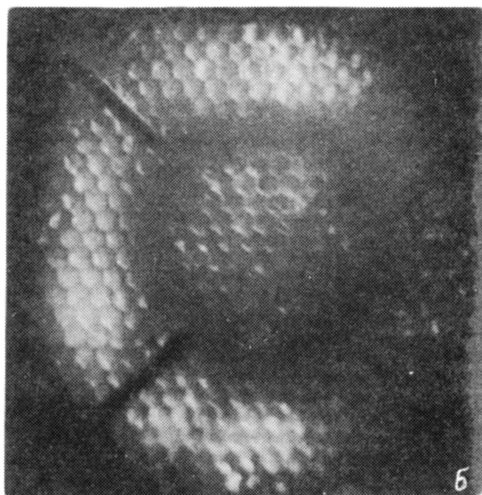
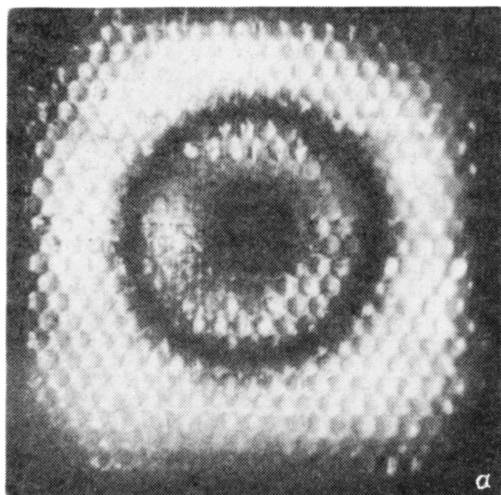


Рис. 3.

$\nu = 1700$  Гц. а-в — то же, что и на рис. 2.

ровался на поверхности маленького (в пределах одной ячейки) зеркала, приклеиваемого последовательно на разные участки диафрагмы. Отраженный от этого зеркала пучок падал на зеркало 10 и направлялся на голограмму. Этот опорный пучок служил для регистрации голограмм методом автоматической фазовой модуляции опорного пучка.

На рис. 7 представлены голографические интерферограммы головки 1, колеблющейся на частоте 7000 Гц, полученные как обычным методом усреднения во времени (с немодулированным по фазе опорным пучком) (а), так и методом автоматической фазовой модуляции опорного пучка (б, в), отраженного от зеркала, закрепленного на разных участках диафрагмы.

На рис. 7, а видна замкнутая узловая линия А, радиус которой приблизительно равен  $1/2$  радиуса диафрагмы. Кроме того, у края диафрагмы появляется вторая узловая линия Б.

При закреплении зеркала опорного пучка вблизи узловой линии А (в этом случае глубина модуляции опорного пучка невелика) интерференционная картина существенно не изменяется: яркая линия А незначительно перемещается

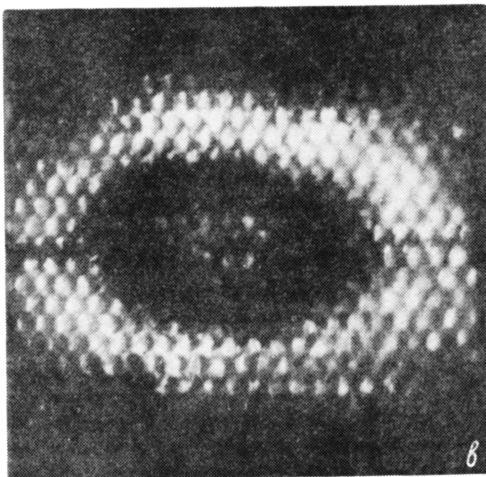
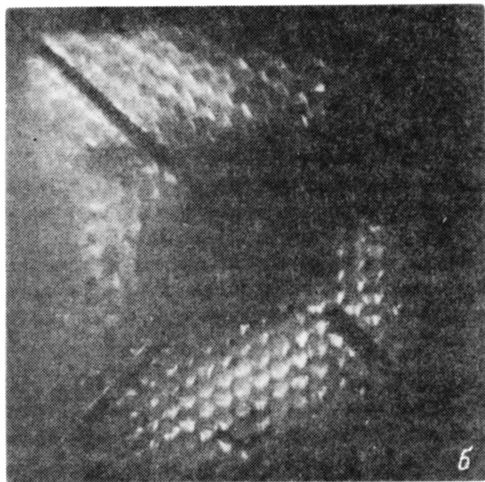
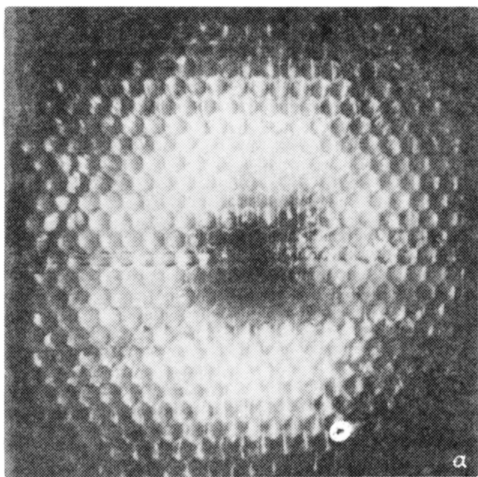


Рис. 4.

$\nu = 2900$  Гц. а-в — то же, что и на рис. 2.

к центру диафрагмы ( $A_1$  на рис. 1, б), яркая линия  $B$  принимает неправильную разрывную форму  $B_1$ .

Закрепление зеркальца, отражающего опорный пучок, в центре диафрагмы соответствует максимально возможной для этого случая глубине модуляции опорного пучка. При этом яркая область наблюдается лишь в центре диафрагмы вокруг зеркальца. Количество интерференционных полос на других областях диафрагмы соответствует амплитудам их колебаний, определенным из интерферограммы рис. 7, а.

Необходимо отметить, что отсутствие интерференционных полос внутри ячеек, расположенных рядом с зеркалом опорного пучка на рис. 7, б, в, и количество полос на других ячейках свидетельствуют о том, что отдельные ячейки колеблются синфазно с колебаниями того участка диафрагмы, на котором они находятся.

Таким образом, полученные результаты показывают, что исследование форм колебаний сотовых диафрагм различных конфигураций методами голографической интерферометрии дает полную информацию о картине колебаний подвижных систем головок громкоговорителей и в сочетании с теоретическими методами расчета позволяет вести направленный поиск оптимальных конструкций.

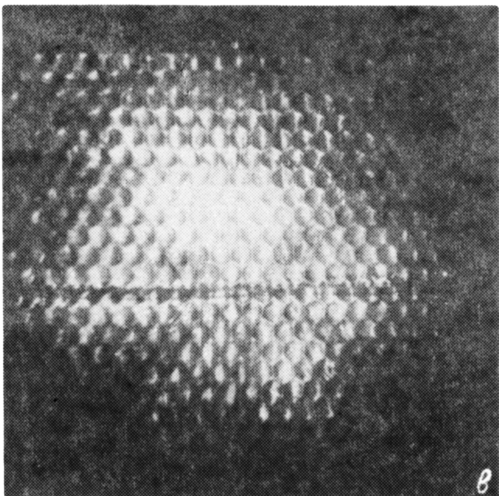
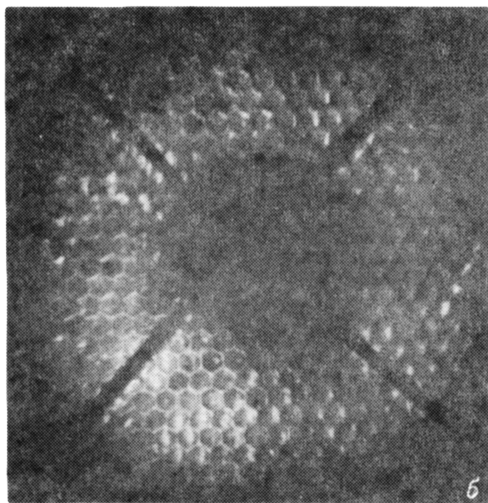
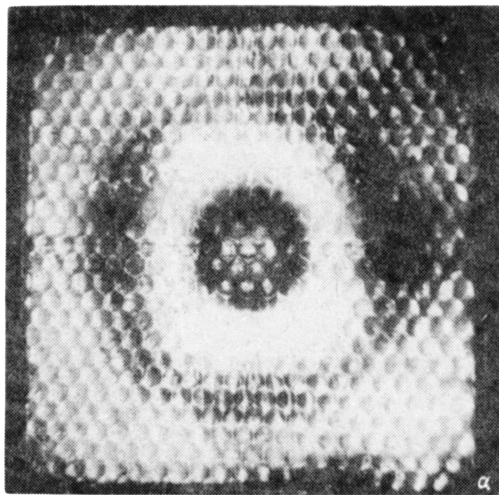


Рис. 5.

$\nu = 4500$  Гц. а-в — то же, что и на рис. 2.

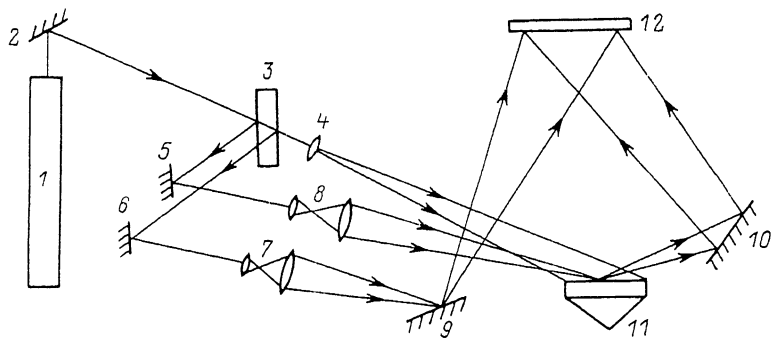


Рис. 6. Схема экспериментальной установки для исследования колебаний с автоматической фазовой модуляцией опорного пучка.

1 — лазер; 2, 5, 6, 9, 10 — зеркала; 3 — светоделитель; 4 — микрообъектив; 7, 8 — телескопические системы; 11 — исследуемая головка; 12 — фотопластика.

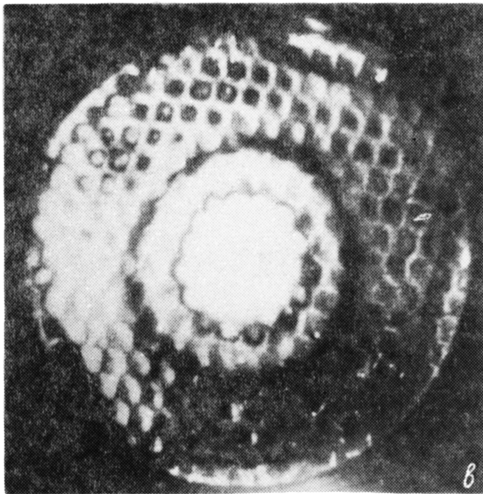
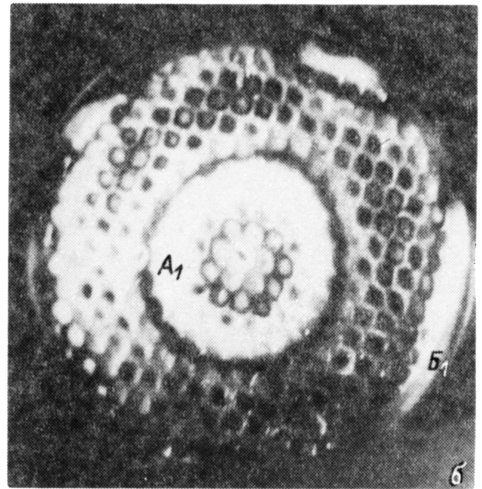
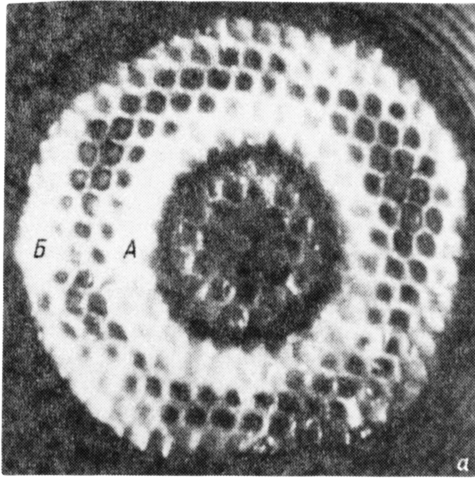


Рис. 7.  
а-в — то же, что и на рис. 2.

#### Список литературы

- [1] Barlow D. // Wireless World. 1958. Vol. 7. N 12. P. 564—569.
- [2] Коренков А. Н. Техника средств связи. Сер. ТРПА. 1990. Вып. 2. С. 26—31.
- [3] Powell R. L., Stetson K. A. // J. Opt. Soc. Am. 1965. Vol. 55. P. 1593—1598.
- [4] Дрейден Г. В., Морено Б., Островский Ю. И. и др. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. Вып. 12. С. 21—24.
- [5] Mottier F. M. // Appl. Phys. Lett. 1979. Vol. 15. P. 44—45.

Физико - технический институт  
им. А.Ф.Иоффе  
С.-Петербург

Поступило в Редакцию  
13 мая 1991 г.