

пренебречь. Используя разработанную методику синтеза и программное обеспечение можно создать адаптивную ФАР, которая позволит автоматически управлять пространственной ориентацией максимума ДН и минимумов, минимизировав, таким образом, уровень изотропных и локальных помех. Заметим, что поскольку речевой сигнал не является монохроматическим, то для получения высоких качественных показателей системы синтез необходимо выполнять независимо на ряде частотных полос рабочего диапазона, суммируя после этого сигналы на выходе каждого частотного канала.

Методика использования такой системы может быть следующей. Оператор (или программа) сканирует главным лепестком антенны обследуемую область пространства на предмет выявления источников полезной речевой информации и возможных источников локальной помехи. То и другое он определяет с помощью средств аудиоконтроля, совмещая с видеокартинкой. Во время сканирования процессор в реальном времени выполняет процедуру синтеза нужного распределения коэффициентов чувствительности микрофонных каналов.

Если будет обнаружен локальный источник помехи, то в качестве параметров ДН для синтеза будет задаваться не только направление главного максимума, но и сектор подавления с заданным приоритетным коэффициентом.

IV Заключение

В работе проанализирована обобщенная структура системы дистанционного прослушивания, а также выполнены исследования и расчеты по синтезу коэффициентов чувствительности плоской прямоугольной антенной решетки, обеспечивающих заданную пространственную ДН с подавлением источников локальных помех.

По сравнению с одиночным приемником ФАР с апертурой 1 м и количеством приемников $M \times N = 320$ позволяет при изотропной пространственной помехе увеличить отношение сигнал/помеха по выходу на 25...27 дБ и обеспечить прослушивание источников речевой информации на расстоянии до 150...200 м. При этом ширина ДН составляет $4,5^\circ$, а разрешение источников звука на расстоянии 100 м составит около 8 м.

При выборе той или иной геометрии антенны важен рациональный подход к ее использованию. Так громоздкую антенну размером 2 м и более целесообразно размещать стационарно на том или ином объекте, причем она позволит вести прослушивание на расстояниях до 300 и более метров. Такую стационарную систему должен обслуживать достаточно мощный компьютер. Антенна средних размеров (примерно 1 м) может использоваться в мобильном варианте, например, на автомобилях. Уменьшение ее пространственной избирательности компенсируется возможностью приблизиться к объекту. То же можно сказать и о самых малых антеннах (примерно 30 см), которые могут быть выполнены в портативном варианте. Несколько снизить апертуру системы при определенных потерях в помехоустойчивости и в качестве синтеза можно применяя антенну типа «Крест Милса» или мультипликативные антенны со сверхнаправленностью. Другим направлением совершенствования системы может быть применение нерегулярных антенных решеток, а также направленных микрофонов.

Литература: 1. М. И. Карновский, Е. С. Белоус, В. С. Горбенко, В. П. Пугач. Особенности проектирования гидроакустических антенн и преобразователей. – К.: Изд. Киевского политехнического института, 1976. – 64 с. 2. И. Н. Сидоров, А. А. Димитров. Микрофоны и телефоны – М.: Радио и связь, 1993. – 152 с. 3. М. Д. Смаришев. Направленность гидроакустических антенн. – Л.: Судостроение, 1973. – 280 с. 4. И. Я. Науменко, В. И. Кизима, О. П. Лысенко. Влияние погрешностей задания взаимных сопротивлений излучателей на диаграмму направленности ФАР // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Радиотехника. Вып. 32. – К., 1995. – С. 22–25.

УДК 534.232

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОМЕЩЕНИЙ ОТ УТЕЧКИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО АКУСТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ

Владимир Кизима, Игорь Науменко
ОКБ «Шторм» при НТУУ «КПИ»

Анотація: Розглянуто високоефективний ультразвуковий випромінювач для використання в системі захисту приміщень від витоку мовної інформації акустичним каналом. Подано результати

лабораторних випробувань одного з варіантів подібної системи.

Summary: High efficiency ultrasonic transducer, for use in a system of room protection from speech information drain by acoustic channel, is discussed. Results of lab tests of a version of such system are given.

Ключевые слова: Ультразвуковой излучатель, биморфный элемент, акустическое давление.

Эффективные ультразвуковые излучатели являются неотъемлемой частью систем неслышного акустического подавления средств съема речевой информации по акустическому каналу: микрофонов, используемых в диктофонах, магнитофонах, телефонных трансляторах, радио микрофонов, микрофонных передатчиков и др. В подобных системах для подавления обычно используют нелинейности воздушной среды, микрофонов и приемно-усилительного тракта. Подавление можно осуществить либо путем воздействия на систему АРУ (если она имеется), либо на микрофон и приемный тракт интенсивного многочастотного ультразвукового сигнала, вызывающего возникновение в зоне расположения микрофона (в среде) или на выходе самого микрофона разностных частот, попадающих в частотный диапазон речи и снижающих таким образом артикуляцию до необходимого уровня. Однако существенная нелинейность воздушной среды и микрофонных устройств обычно наблюдается при уровнях акустического давления порядка 110...120 дБ и, кроме того, излучение ультразвука следует вести с одной стороны поближе к верхней границе частотного диапазона микрофона, а с другой – за пределами частотного диапазона человеческого уха, т. е. в диапазоне 20...25 кГц. Имеющиеся в распоряжении разработчиков стандартные средства излучения – электромагнитные и пьезоэлектрические громкоговорители, как правило, не обеспечивают нужной интенсивности ультразвука в данном диапазоне частот и обладают низким к. п. д. (1...5%), слабой направленностью или большими габаритами. Известные пьезоэлектрические излучатели требуют также слишком высокого напряжения возбуждения (иногда до 600 В).

В данной работе рассматривается малогабаритный ультразвуковой излучатель, свободный от перечисленных недостатков, обеспечивающий звуковое давление не менее 120 дБ (на расстоянии 1 м) при к. п. д. более 50%, амплитуде напряжения возбуждения 20...25 В и ширине диаграммы направленности на уровне 0,707 около 40°. На рис. 1 показана схема построения излучателя и его диаграмма направленности (ДН), а на рис. 2 – эквивалентная электрическая схема и частотные характеристики по входному току и давлению в поле P . Колебательная система данного излучателя работает на изгибном резонансе, использование которого позволяет существенно улучшить эффективность излучения в воздушной среде за счет малых механических потерь и высокой добротности [1]. В качестве активного элемента использована полупассивная биморфная пластина, состоящая из свободно опертого диска 1 и пьезокерамического возбудителя 2. Условия закрепления выбраны таким образом, чтобы на поверхности пластины возбуждались синфазные изгибные колебания первой моды ($n=1$) [1]. При относительно малой толщине возбудителя (по сравнению с пластиной) резонансную частоту такой системы можно определить по формуле [1]:

$$f_1 \cong 0,72 \frac{h}{\pi a^2} \sqrt{\frac{E_{Ю}}{\rho(1-\sigma^2)}}, \quad (1)$$

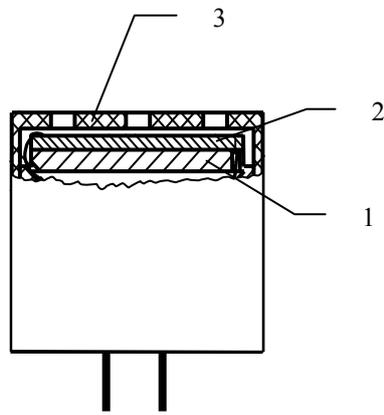
где h – толщина биморфного элемента (общая); a – радиус диска; ρ – плотность материала; $E_{Ю}$ – модуль Юнга; σ – коэффициент Пуассона.

$$m_{эkv} = 0,3\pi a^2 h \rho \quad (2)$$

Колебательная система такого изгибного преобразователя характеризуется эквивалентной массой и эквивалентной гибкостью

$$c_{эkv} = 0,53 a^2 (1 - \sigma^2) / (E_{Ю} h^3). \quad (3)$$

Во многих практических приложениях часто требуется повысить направленность излучателя с целью получения наибольшей концентрации звуковой энергии в узком секторе углов, причем, как правило, этого



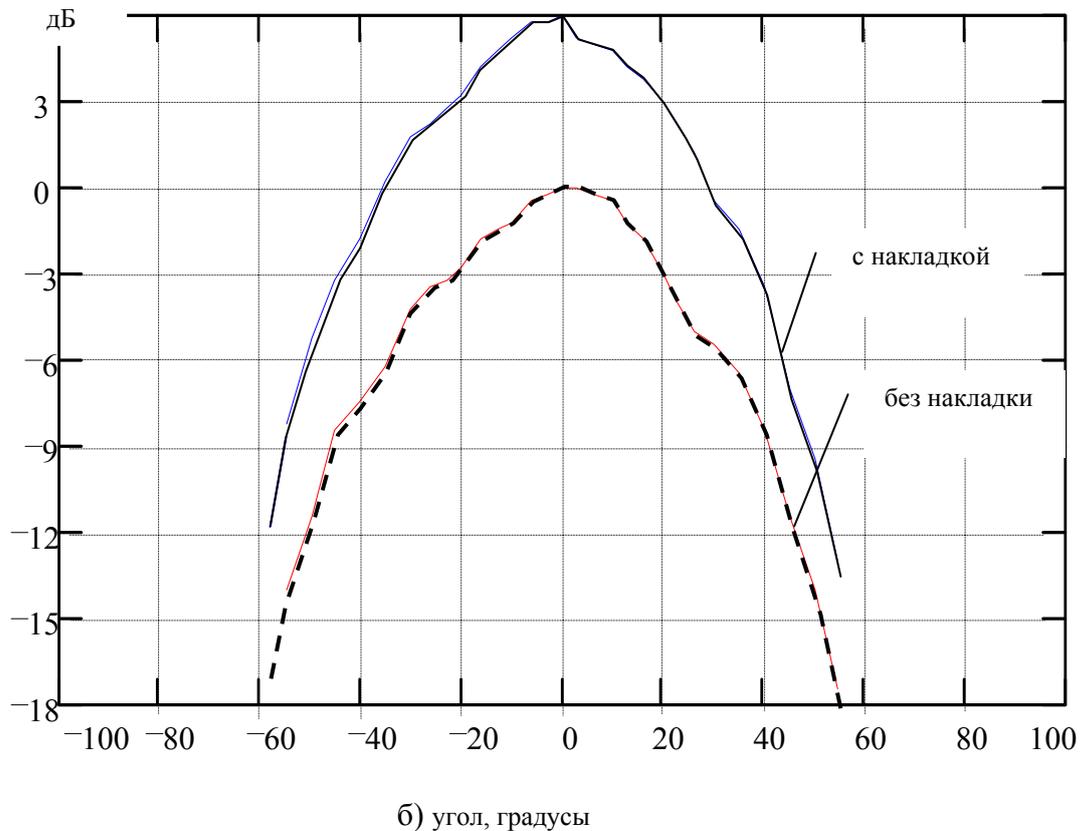
$$f_0 \approx 20,1 \text{ кГц}$$

$$U_B = 9,5 \text{ В}$$

$$P_{1M} = 117 \text{ дБ}$$

$$R_{Bx} = 81 \text{ Ом}$$

а)



**Рисунок 1 – Ультразвуковой излучатель: а) схема построения;
б) диаграмма направленности**

можно добиться только соответствующим увеличением их поперечных размеров. Для круглых изгибных излучателей увеличение диаметра пластины ($d=2a$) при фиксированной частоте неизбежно наталкивается на резкий рост толщины h и, следовательно, увеличение изгибной жесткости (см. (1), (3)). Теория колебаний тонких пластин, из которой получено (1), справедлива как известно при $h \leq 0,1d$, а дальнейшее увеличение толщины h по сравнению с диаметром диска приводит к снижению эффективности изгибных преобразователей в связи с падением колебательной скорости на поверхности и ростом механических потерь. Полагая $h=0,1d=0,2a$ из (1) для заданной частоты можно определить максимально допустимый диаметр изгибного излучателя

$$d_{\max} = \frac{90 \cdot 10^{-3}}{f_1} \sqrt{\frac{E_{Ю}}{\rho(1-\sigma^2)}} \quad (4)$$

Очевидно, что при выполнении условия (4) изгибный излучатель будет иметь наиболее узкую ДН. Так для алюминиевой пластины на частоте 20 кГц $d_{max}=24$ мм, а для латунной – 16 мм, ширина ДН на уровне 0,707 составит соответственно 41° и 64°.

Мерой эффективности любого излучателя является механико-акустический к. п. д., который обычно определяют по формуле:

$$\eta_{MA} = r_u / (r_{МП} + r_u), \quad (5)$$

где $r_{МП}$ –сопротивление механических потерь; r_u – активное сопротивление излучения.

Изгибные излучатели в отличие, например, от стержневых, значительно проще согласовать с воздушной средой, имеющей малое ρ_c . Это связано с тем, что само преобразование продольной деформации пьезоэлемента в изгибную уже сопровождается увеличением колебательной скорости на его поверхности, поскольку прогиб пластины обычно в десятки и сотни раз больше, чем ее радиальная деформация [2]. Поэтому изгибный преобразователь сам по себе частично согласован с воздухом, поскольку одновременно выполняет функцию электромеханического трансформатора скорости, т. е. согласования сопротивлений. На схеме (рис. 2а) эта функция обозначена коэффициентом трансформации сила/напряжение κ , который согласно [3] вычисляются из выражения

$$\kappa = 4,5d_{31}E_{Ю}h(1 - \sigma^2). \quad (6)$$

Как видно при увеличении толщины пластины h сила на выходе преобразователя растет, а колебательная скорость падает, что равнозначно повышению внутреннего сопротивления и ухудшению согласования с воздухом. Поэтому в изгибных преобразователях целесообразно уменьшать κ , что соответствует повышению коэффициента трансформации скорость/входной ток.

Испытания разработанного излучателя показали, что сопротивление механических потерь, измеренное по электрическому входу (см. эквивалентную схему на рис. 2а), составляет около 30 Ом, а сопротивление излучения $r_u/\kappa^2 - 10...15$ Ом. Для улучшения согласования со средой применена согласующая накладка 3 (рис. 1а), играющая роль дополнительного трансформатора колебательной скорости с коэффициентом трансформации

$$\kappa_w = \frac{W_2}{W_1} = \frac{S_1}{S_2}, \quad (7)$$

где S_1 и S_2 – площади пластины излучателя и отверстий в накладке.

Сопротивление излучения, вносимое в механическую схему преобразователя (без учета потерь в таком трансформаторе), и к. п. д. определим по известным формулам:

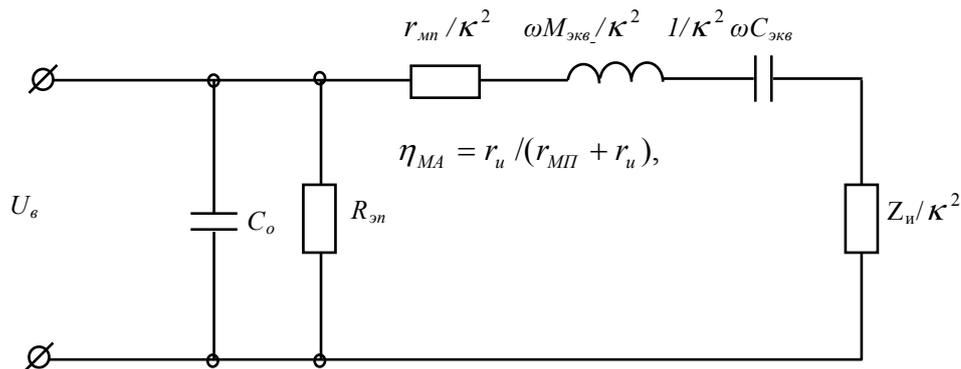
$$r_{увн} = r_u \kappa_w^2; \quad (8)$$

$$\eta_{AM} = \frac{r_u \kappa_w^2}{r_{МП} + r_u \kappa_w^2}. \quad (9)$$

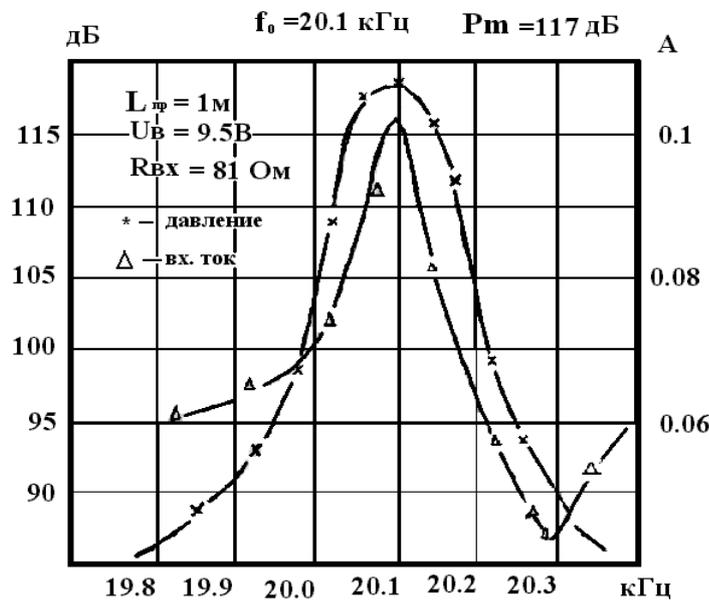
В экспериментах с накладкой при $\kappa_w = 2,5$ общее сопротивление преобразователя составило около 80 Ом, а сопротивление излучения $r_{увн} \cong 50$ Ом; к. п. д. равнялся 62,5%. Давление в поле при этом возросло на 6 дБ, а интенсивность звука на 12 дБ (см. рис. 2б). Некоторое несоответствие между расчетными и экспериментальными данными обусловлено потерями в согласующем трансформаторе и погрешностями измерения.

Таким образом, указанные параметры достигаются путем существенного снижения сопротивления механических потерь, особенностями закрепления биморфного элемента, а также хорошим согласованием механической колебательной системы с воздушной средой. Излучатель является узкополосным (около 200 Гц), поэтому для создания системы неслышного подавления микрофонов необходимо применять два или более таких излучателей, настроенных на различные частоты.

Подобная система подавления была построена и испытана в лаборатории ОКБ «Шторм». В ней использовались четыре излучателя, настроенные на частоты: 20,1кГц; 20,8 кГц; 21,5 кГц; 22,7 кГц. В качестве средства съема информации применялся диктофон фирмы “SONY”. При облучении диктофона с расстояния 1,5...2 м суммой неслышимых ультразвуковых сигналов в режиме записи при воспроизведении устойчиво прослушивались сигналы различных частот, амплитуда которых достигала номинального уровня по выходу. При этом артикуляция речи снижалась до уровня 20...30%.



а)



б)

Рисунок 2 – Ультразвуковой излучатель: а) эквивалентная схема; б) АЧХ по акустическому давлению и входному току

Применение рупорных насадок позволило сузить диаграмму направленности излучателя до 10...12° и повысить уровень звукового давления еще на 8...10 дБ. Такие направленные излучатели можно применить для создания в заданной точке помещения ограниченных зон с разностными частотами, в которых необходимо обеспечить подавление записи. Кроме того они с успехом могут применяться в ультразвуковых дальномерах для измерений больших расстояний – до 150...200 м, а также в ультразвуковых приборах и системах для защиты от нежелательных животных (собак, волков, лисиц, мелких грызунов).

Литература: 1. М. И. Карновский, Е. С. Белоус, В. С. Горбенко, В. П. Пугач. Особенности проектирования гидроакустических антенн и преобразователей. – К.: Изд. Киевского политехнического института, 1976. – 64 с. 2. В. С. Горбенко. Плоские изгибные пьезоэлектрические преобразователи. – К.: Изд. Киевского политехнического института, 1980. – 51 с. 3. Е. Кукучи. Ультразвуковые преобразователи. – М.: Мир, 1972. – 423 с.