

Акустическое короткое замыкание в громкоговорителе и его преодоление

Написал В. Носов

вторник, 23 Сентябрь 2003

Возможно ли иное акустическое оформление громкоговорителя помимо широко распространенных ныне фазоинвертора либо закрытого ящика, а также более дорогих вариантов рупорных и лабиринтных громкоговорителей? В этой статье описан метод расширения полосы эффективно воспроизводимых нижних частот в корпусах открытого типа и приведены практические конструкции громкоговорителей.

В громкоговорителе при колебаниях диффузора головки электродинамического типа его фронтальная и тыльная поверхности приводят в движение воздух, создавая попеременно его сжатие и разрежение. Таким образом, когда с одной стороны диффузора давление возрастает, то с другой стороны, наоборот, уменьшается. На низких частотах, если динамическая головка не имеет акустического оформления (в свободном пространстве), из-за дифракции звуковых волн происходит процесс акустического короткого замыкания и результирующее звуковое давление в окружающем пространстве сильно ослабляется.

Для исключения этого вредного явления динамическую головку помещают в акустический экран, устраняющий компенсирующее действие противофазных колебаний сжатия-разряжения. Основные конструкции таких экранов и их особенности описаны в [1—3]. Напомним кратко эти известные варианты.

Щит, размеры которого должны быть достаточно большими и, по крайней мере, соизмеримы с длиной акустической волны на самой низкой воспроизводимой частоте. На низких частотах (десятки герц) размеры щита велики — несколько метров, что для практических конструкций неприемлемо.

Ящик с открытой задней стенкой представляет собой "свернутый" щит. Такое акустическое оформление громкоговорителя широко применялось в 30—60-х годах минувшего столетия, когда требования к полосе воспроизводимых звуковых колебаний были невелики.

Ящик с лабиринтом, длина которого равна половине длины волны на низких частотах [1], по конструкции и технологии изготовления неоправданно сложен и поэтому практически не распространен.

Рупор, представляющий собой расходящийся волновод, также используется для увеличения звуковой отдачи. На низких же частотах размеры рупора слишком велики.

Закрытый ящик, обычно заполненный звукопоглощающим материалом во избежание стоячих и других волн. При этом акустическая энергия, излучаемая тыльной поверхностью диффузора, рассеивается внутри ящика.

Закрытый ящик с фазоинвертором — ныне один из популярных типов акустического оформления, предложенного еще в 1930 г. Фазоинвертор представляет собой трубу или отверстие, выполненное в ящике. Фазоинвертор работает в очень узкой полосе частот, а при достаточно широком спектре сигналов низких частот происходит затягивание переходных процессов в виде "окрашивания" звуков басового регистра. Вследствие этого различные по тембру музыкальные инструменты звучат весьма сходно, т. е. фазоинвертор фактически искажает реальные звучания. Как и в предыдущем варианте, примерно поло-

вина акустической мощности теряется в ящике. Отсутствие другого эффективного акустического оформления заставляет разработчиков акустических систем (АС) использовать это техническое решение [2, 3].

Преодоление акустического короткого замыкания в АС при создании простого и энергетически эффективного акустического оформления громкоговорителей, действующего в широкой полосе звуковых частот практически без звуковых потерь, является в настоящее время важной и нерешенной проблемой [2, 4].

Описываемые в статье технические решения, исключая акустическое короткое замыкание, позволяют использовать озвучиваемое помещение для повышения эффективности работы АС на низких частотах. При этом снижаются требования к конструкции акустического оформления ввиду исключения в ящике стоячих волн, поскольку звуковая энергия тыльного излучения головки выходит из ящика в пространство, озвучивая его. В этих конструкциях уменьшается или вовсе исчезает влияние упругости воздуха, ограниченного объемом ящика, и возрастание резонансной частоты громкоговорителя.

Звуковая энергия в твердых материалах распространяется в виде потока, причем ортогональное по отношению к оси излучения распространение намного меньше (до -30 дБ), чем по оси излучения [5]. В воздушной среде тоже действуют принципы векторного сложения колебательной скорости вне зависимости от частоты и фазы суммируемых потоков звуковых колебаний. Из теории колебаний [6] известно также, что два гармонических колебания, имеющих одинаковую частоту и произвольную фазу между собой и распространяющихся взаимно перпендикулярно, не взаимодействуют между собой. В ближней зоне излучателей оказываются важными соотношения колебательной скорости и скорости распространения, а также длины волны λ и диаметра излучателя d (отверстия излучения). Разделение звуковых потоков прямого и обратного излучения головки и перевод их в ортогональные относительно друг друга потоки позволяет устранить акустическое короткое замыкание излучателя.

Конструктивными мерами — с помощью "волновода" — возможно развернуть звуковой поток, создаваемый тыльной поверхностью диффузора громкоговорителя, на 90 град. так, как это изображено на рис. 1 (вектор В). В окрестностях точки О колебательные скорости тангенциального потока от волновода и потока фронтального излучения головки (вектор А) складываются. Если потоки и колебательные скорости равны, при вычислении равнодействующей R получаем суммарное акустическое давление в 1,41 раза больше каждой из составляющих. Таким образом, в *ближнем от излучателя пространстве* акустическое давление Р возрастает на 3 дБ. Отдаваемая АС акустическая мощность в помещении [7] удвоится, поэтому для получения одинаковой звуковой мощности для такой АС потребуются УМЗЧ вдвое меньшей мощности:

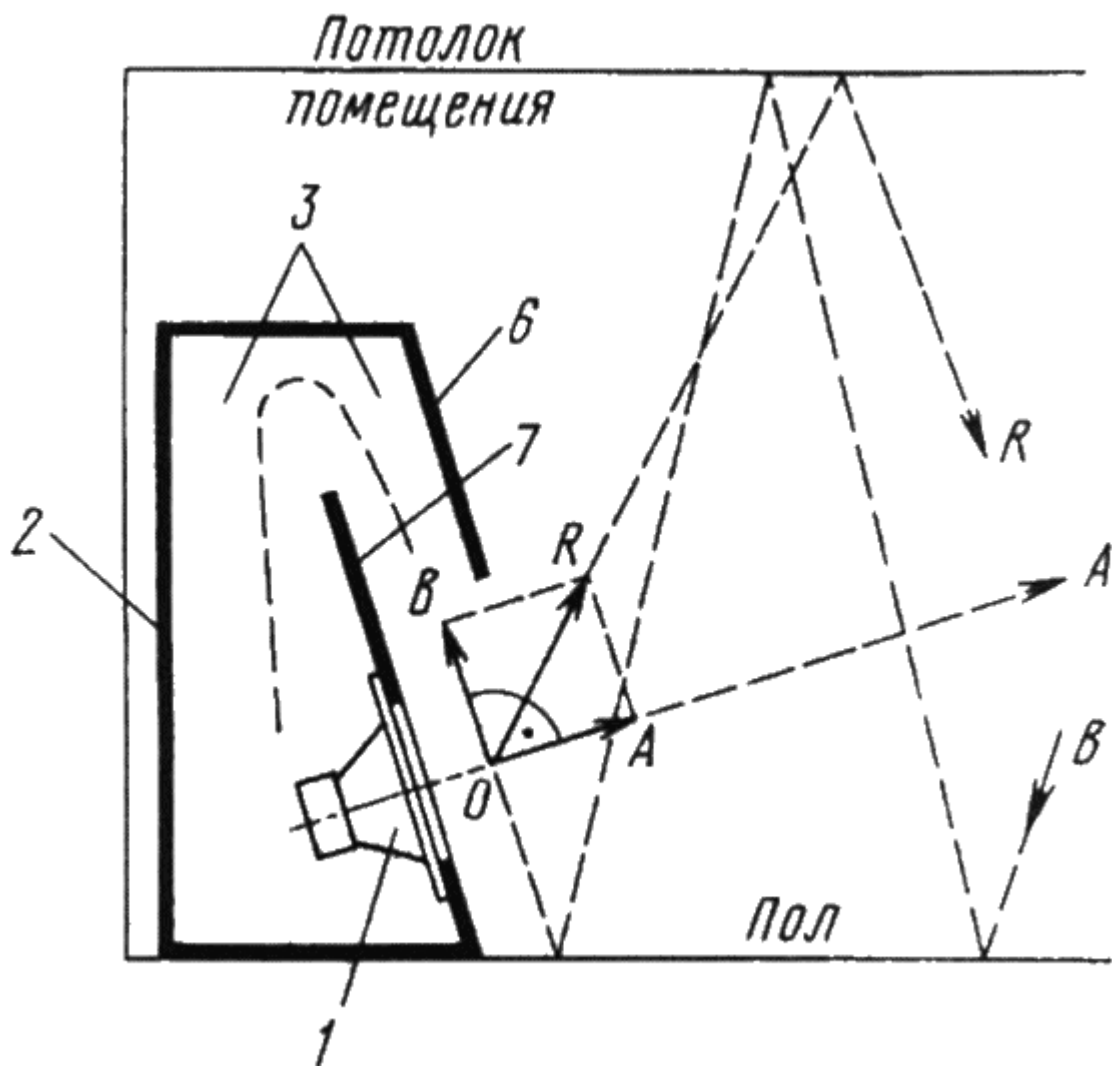


Рис. 1

$P_a = p^2 V / T_c \cdot 10^{-5}$, Вт (при $R_r = 3$ м),
 где V — объем помещения;
 T_c — среднее время оптимальной реверберации;
 R_r — радиус гулкосты.

Как видно из формулы, величина акустической мощности P_a заметно возрастает, если отказаться от известных конструктивных решений акустического оформления АС. С учетом влияния звукопоглощающего материала, которым обычно наполняют закрытый ящик громкоговорителя для поглощения энергии, излучаемой тыльной поверхностью диффузора, реальный выигрыш может оказаться еще больше.

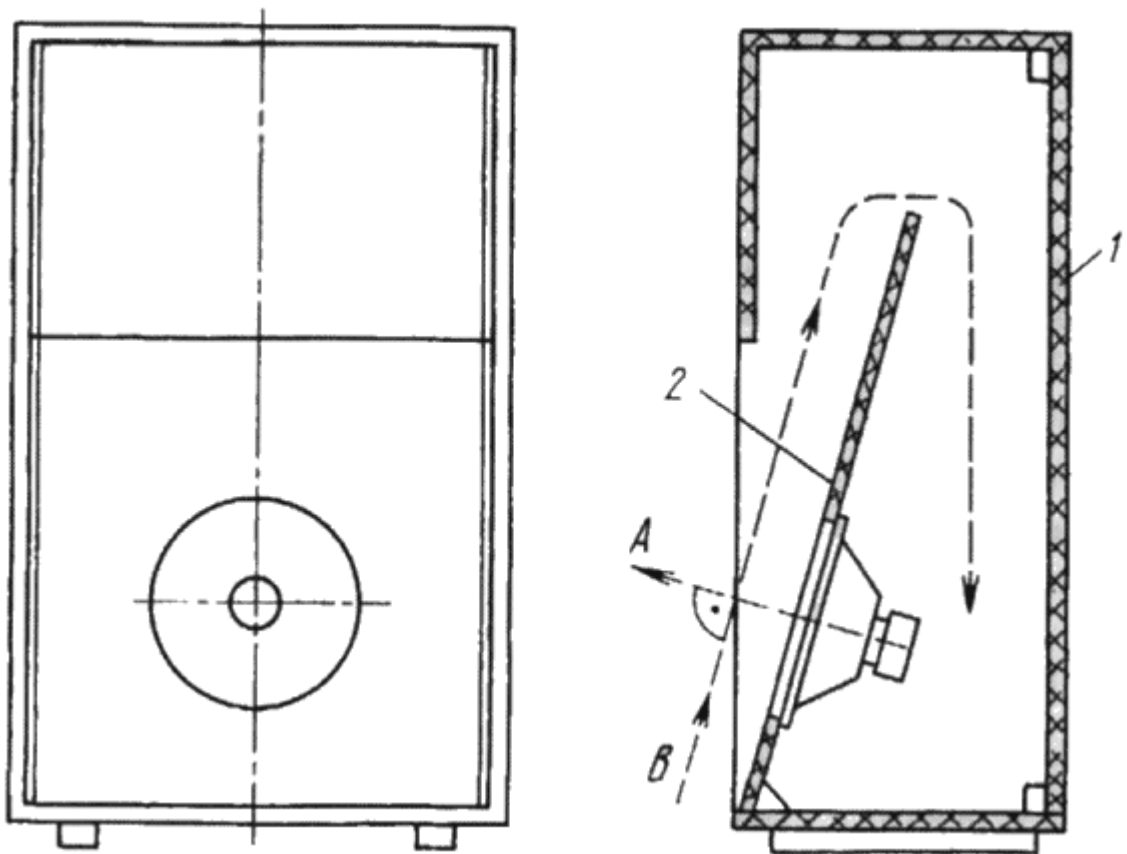


Рис. 2

Следуя изложенному принципу исключения акустического короткого замыкания, автором были разработаны конструкции акустического оформления, один из вариантов которого приведен на рис. 2. В корпусе с глухой задней стенкой 1 нижняя часть передней панели 2 ("ломаная дека") наклонена под углом к вертикали, образуя с верхней частью передней панели "волновод" для звуковых волн, создаваемых с тыльной стороны головки громкоговорителя. При расчете конструкции важно выполнить условие, чтобы площадь поперечного сечения волновода, по которому распространяется звуковой поток из ящика, была не менее площади тыльной поверхности диффузора. В противном случае воспроизведение самых низких частот будет ослаблено вследствие остаточной упругости воздуха в ящике. Измерения, проведенные в безэховой камере Акустического института РАН, подтвердили рассмотренные предположения, что и позволяет сделать излагаемые в этой статье рекомендации.

Звук, выходящий из волновода, обеднен в области высоких частот, и он на слух кажется более бархатистым, чем звук фронтального потока. Это отнюдь не ухудшает музыкальности звучания из-за иного направления распространения развернутого потока: помещение также участвует в формировании звукового образа, делая его объемным. Даже если помещение содержит много поглотителей звука, например, ковровых изделий и мягкой мебели, естественность звука и его объемность не теряются.

На основе предложенного метода автором была разработана и изготовлена стереофоническая АС "Цунами". В каждом из громкоговорителей системы использованы низкочастотная 15-дюймовая головка L-3712 (из Германии), имеющая максимальную мощность 100 Вт, и две высокочастотные головки 6ГДВ-4. Звуковой диапазон разделен на две полосы — 20...5000 Гц и 5000...25000 Гц. Измеренная эффективность в режиме излучения НЧ оказалась равной 110 дБ/√Вт•м при отличном качестве воспроизведения звука. С помощью

этой АС при средней электрической мощности 5 Вт на каждый канал озвучивался зал, где находилось 600 человек.

Результаты экспериментальных исследований образцов громкоговорителей и акустических систем были изложены автором в докладе на Нижегородской Акустической сессии [7].

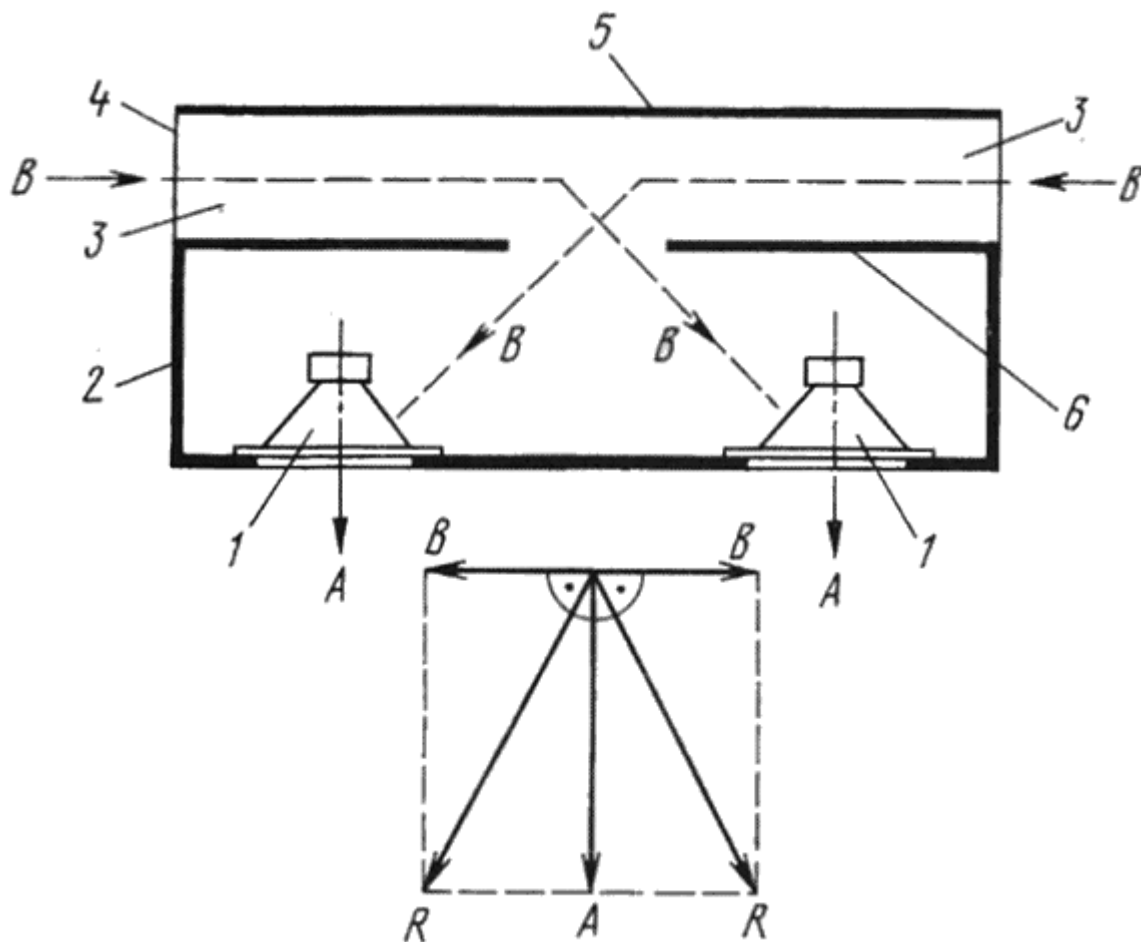


Рис. 3

На рис. 3 показаны еще одна конструкция громкоговорителя и векторная диаграмма распространения звуковых потоков А, В и R. Звуковой поток А является фронтальным, поток В — тыльным. Вектор R является равнодействующим от сложения векторов А и В. На этом рисунке следующие обозначения элементов: 1 — звуковая головка; 2 — корпус; 3 — волновод для выхода звуковой энергии тыльного излучения; 4 — выходное отверстие волновода; 5 — стенка волновода; 6 — передняя стенка волновода. Такой громкоговоритель обеспечивает более диффузное распространение звука в пространстве. На передней стенке громкоговорителя устанавливают и высокочастотные головки.

Анализ векторных диаграмм, приведенных на рис. 1 и 3, показывает, что предложенный метод исключения акустического замыкания между потоками А и В позволяет преодолеть это вредное явление в звуковых системах с одновременным энергетическим и качественным выигрышем.

Экспериментальные работы были проведены с головками 4А-32 в большом заглушенном помещении с помощью звукового генератора ГЗ-33, вольтметра ВЗ-33, частотомера 43-32 и прецизионного измерителя шумов типа 00017 с конденсаторным микрофоном типа МКД.

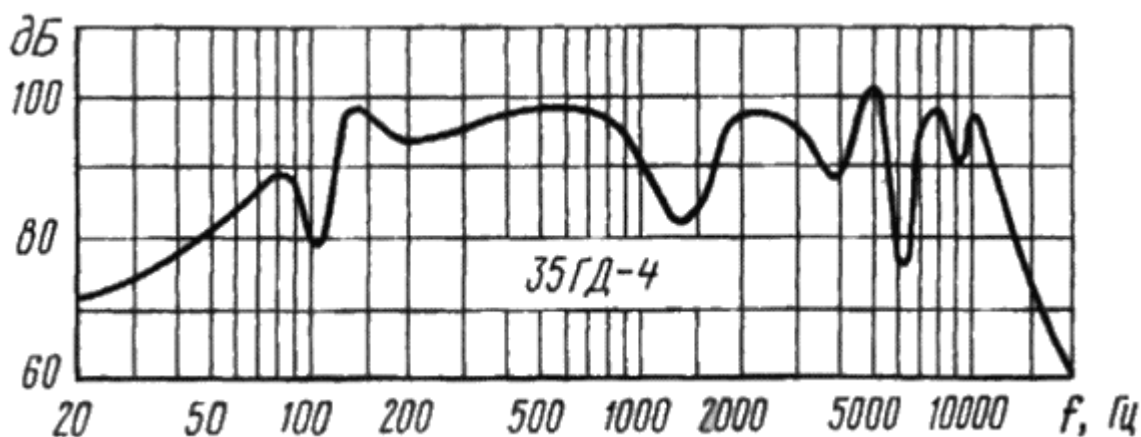


Рис. 4

Для получения сравнительных параметров была исследована и обычная АС с головкой 4А-32; за прототип взят серийный громкоговоритель 35ГД-4 в закрытом корпусе. Его измеренная частотная характеристика приведена на рис. 4. В диапазоне частот 80...12000 Гц средняя характеристическая чувствительность — около 94 дБ/√Вт при неравномерности до 26 дБ. В корпусе помещен звукопоглощающий материал. Звучание этой АС не отличается высоким качеством.

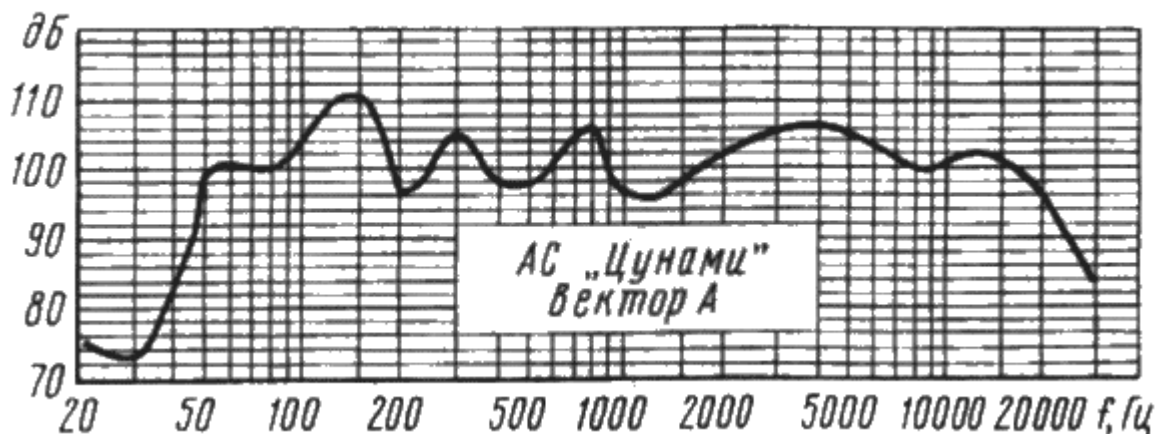


Рис. 5, а

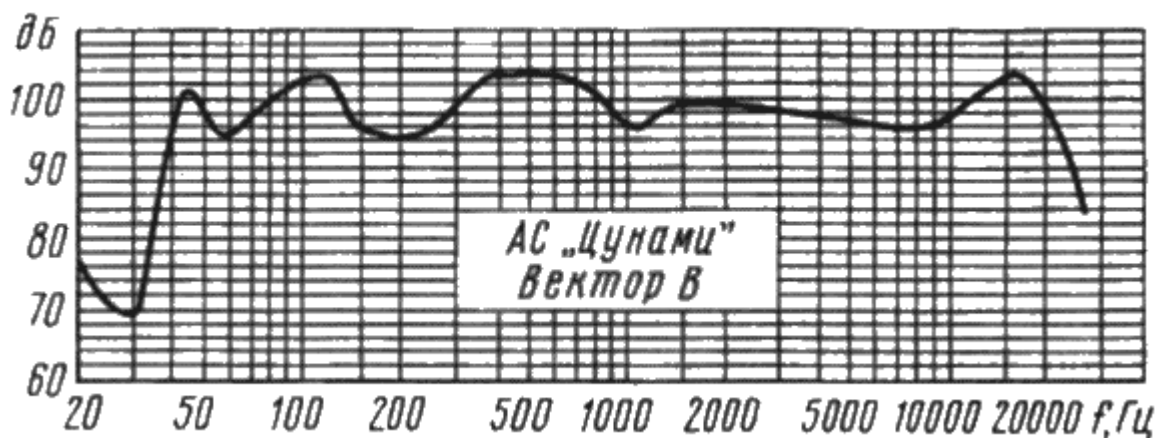


Рис. 5, б

На рис. 5,а приведены результаты измерений частотной характеристики громкоговорителя "Цунами" (его конструкция аналогична показанной на рис. 1) с той же головкой 4А-32.

Средняя эффективность фронтального излучения возросла до 98 дБ/√Вт•м в диапазоне частот 40...20000 Гц, неравномерность АЧХ уменьшилась до 9 дБ, полоса воспроизводимых частот расширилась. Выигрыш по электроакустическому коэффициенту полезного действия прототипа и АС "Цунами" оказался равным 6,4 раза!

На рис. 5,б приведена АЧХ громкоговорителя по вектору В, из которой следует, что полоса излучаемых частот равна 50...6000 Гц при эффективности 96 дБ/√Вт•м и неравномерности в полосе 12 дБ. В АС 35ГД-4 и подобных ей энергия тыльного излучения головки превращается в тепло.

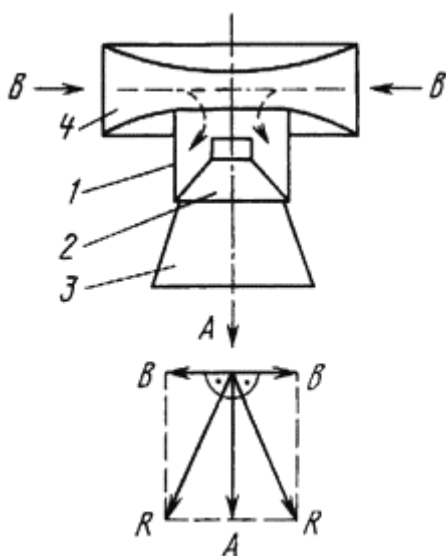


Рис. 6

Выполненные автором АС по аналогии с конструкцией на рис. 2 с использованием корпусов от ламповых телевизоров "Рубин", "Электрон" и др. показали прекрасные результаты. Использовались головки 4А-32, 6ГД-2 и др., способные хорошо воспроизводить низкие частоты. Головки с тяжелой подвижной системой автор не использовал в связи с их малой эффективностью и недостаточно широкой полосой рабочих частот. Изготовление предложенных АС, лишенных акустического замыкания, доступно в домашних условиях и представляет интерес при утилизации устаревшей аппаратуры.

Предложенный способ исключения акустического короткого замыкания в громкоговорителе позволяет значительно усовершенствовать и рупорные громкоговорители. На рис. 6 упрощенно показана конструкция рупорного громкоговорителя 1, выполненного на основе обычной (диффузорной) электродинамической головки 2.

Прямое излучение звука происходит через рупор 3, а обратное излучение от головки — через симметричный волновод 4. Векторная диаграмма потоков звукового излучения в горизонтальной плоскости приведена там же.

Приведенные в статье конструкции АС, построенные на основе изложенных положений, — лишь малая часть возможного разнообразия вариантов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сапожков М. А. Электроакустика. — М.: Связь, 1978.
2. Дьяконов Б. П. Бытовая аудиотехника. — Смоленск, Русич, 1997.
3. Бурко Б. Г., Лямин П. М. Бытовые акустические системы: эксплуатация, ремонт. — Минск, "Беларусь", 1996, 350 с.
4. Олсон Г., Масса Ф. Прикладная акустика. Перевод с английского под ред. И. Г. Дрейзена и Ю. М. Сухаревского. — М.: Радиоиздат, 1938, с. 349.
5. Носов В. Н. Исследование и разработка статистических методов акустического контроля горных пород. — М.: МТИ, диссертация на соискание степени кандидата технических наук, 1972, с. 157.
6. Малое Н. Н. Основы теории колебаний. — М.: Просвещение, 1971, с. 62.
7. Носов В. Н. Проблемы электроакустики и их решения. Результаты экспериментальных исследований образцов громкоговорителей и акустических систем. — Н. Новгород: Нижегородский Государственный университет. Труды Нижегородской Акустической сессии, май 2002 г.