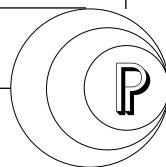


# Оглавление



<b>Введение</b>	стр. 8
<b>Глава 1. Акустические системы, общие сведения</b>	стр. 9
1.1. Устройство низкочастотных динамических головок	стр. 9
1.2. Среднечастотные динамические головки	стр. 13
1.3. Высокочастотные динамические головки	стр. 13
1.4. Широкополосные излучатели	стр. 15
1.5. Головки для сабвуферов	стр. 17
1.6. Критерии, по которым оценивается качество звучания акустических систем	стр. 18
1.7. Стандарты обозначения мощности	стр. 19
1.8. Основные характеристики динамических головок	стр. 21
1.9. Как выбрать динамическую головку	стр. 25
1.9.1. Можно ли применять автомобильные головки в домашней аппаратуре	стр. 26
1.10. Типы акустического оформления	стр. 26
1.11. Типы акустических систем	стр. 38
1.12. Многополосные акустические системы	стр. 39
1.12.1. Разделительные фильтры	стр. 40

стр. 43	1.12.2. Стратегия проектирования разделительного фильтра
стр. 44	1.12.3. Определение синфазного включения динамиков
стр. 44	1.12.4. Акустические системы с отдельным НЧ-излучателем (сабвуфером)
стр. 45	1.12.5. Распределение мощности
стр. 45	1.12.6. Несколько слов об акустических кабелях
стр. 46	1.13. Конструкция коробов акустических систем
стр. 48	1.13.1. Изготовление фазоинвертора
стр. 50	1.14. Доработка заводских акустических систем
стр. 51	1.14.1. Демпфирование стенок ящика изнутри
стр. 51	1.14.2. Набивка ящика звукопоглощающим материалом
стр. 53	1.14.3. Установка распорок и ребер жесткости
стр. 54	1.14.4. Изменение настройки фазоинвертора
стр. 54	1.14.5. Изменение объема ящика
стр. 55	1.14.6. Замена динамической головки головкой другого номинала
стр. 55	1.14.7. Замена разделительного фильтра
стр. 56	<b>Глава 2. Усилители мощности</b>
стр. 58	2.1. Теория работы операционного усилителя
стр. 59	2.1.1. Инверсная схема включения ОУ с биполярным питанием
стр. 61	2.1.2. Неинверсная схема включения ОУ с биполярным питанием

2.1.3. Инверсная схема включения ОУ с однополярным питанием	стр. 62
2.1.4. Неинверсная схема включения ОУ с однополярным питанием	стр. 64
2.1.5. Мостовое включение операционных усилителей	стр. 65
2.1.6. Обзор микросхемы TDA2030	стр. 67
2.1.7. Особенности микросхемы LM3886	стр. 73
2.2. Теплоотвод	стр. 74
2.3. Функциональные схемы построения звуковых усилителей	стр. 77
2.4. Источник питания для звуковой аппаратуры	стр. 81
2.4.1. Методика определения максимального тока	стр. 83
2.4.2. Что делать, если нет подходящего трансформатора	стр. 84
2.4.3. Где найти магнитопровод для мощного трансформатора	стр. 86
2.5. Изготовление печатных плат	стр. 86
2.5.1. Что делать, если нет рейсфедера	стр. 88
<b>Гла в а 3. Программное обеспечение, используемое при разработке акустических систем</b>	стр. 90
3.1. Измерение АЧХ и КГИ акустических систем	стр. 90
3.2. Моделирование акустического оформления в программе JBL SpeakerShop Enclosure Module	стр. 97
3.2.1. Оптимальный закрытый ящик	стр. 100
3.2.2. Закрытый ящик, параметры которого задаются вручную	стр. 100
3.2.3. Оптимальный ящик с фазоинвертором	стр. 100

стр. 100	3.2.4. Ящик с фазоинвертором, параметры которого задаются вручную
стр. 101	3.2.5. Ящик с пассивным излучателем
стр. 102	3.2.6. Параметры полосового излучателя
стр. 103	3.2.7. Фазоинверторы
стр. 104	3.2.8. Параметры динамической головки
стр. 105	3.2.9. Инструмент Форма и объем ящика
стр. 105	3.2.10. Инструмент Калькулятор длины волны
стр. 106	3.2.11. Выбор графиков
стр. 106	3.3. Расчет индуктивности катушки
стр. 106	3.4. Программа моделирования электрических схем Multisim
стр. 109	3.4.1. Описание элементов
стр. 112	3.4.2. Описание измерительных инструментов
стр. 113	3.4.3. Моделирование работы источника питания
стр. 115	3.4.4. Моделирование работы усилителя мощности
стр. 117	3.4.5. Моделирование активного фильтра
стр. 120	3.4.6. Моделирование регулятора тембра
стр. 120	3.4.7. Моделирование работы вращателя фазы
стр. 122	3.4.8. Моделирование индикатора выходной мощности
стр. 123	3.4.9. Моделирование работы регулятора скорости вращения ротора электродвигателя

3.5. Моделирование разделительного фильтра в программе JBL SpeakerShop Crossover Module	стр. 125
3.6. Измерение параметров Т–С с помощью программы JBS SpeakerShop Enclosure Module	стр. 126
<b>Приложение</b>	стр. 132
1. Пример разработки АС	стр. 132
1.1. Расчет параметров источника питания	стр. 133
1.2. Расчет радиатора охлаждения	стр. 133
1.3. Моделирование акустического оформления	стр. 134
1.4. Расчет разделительных фильтров	стр. 138
1.5. Окончательная настройка системы и результаты	стр. 141
2. Справочный материал	стр. 141
<b>Глоссарий</b>	стр. 155

## Введение

**С**ейчас в продаже можно встретить большое количество различной звуковоспроизводящей техники — от дешевых музыкальных центров до профессиональной звуковой аппаратуры. Однако первые не обладают высоким качеством звучания, а вторые обывателю просто не по карману. В связи с этим может возникнуть вопрос — а нельзя ли самому создать акустическую систему, которая удовлетворила бы нас по качеству, мощности, а главное — стоимости?

Можно! Компоненты акустических систем сегодня уже не являются дефицитом, а уровень развития техники позволяет вести разработку даже людям, не имеющим специальных знаний. Все, что вам потребуется для создания акустической системы, — это компьютер, некоторое программное обеспечение и вера в успех. Обо всем остальном расскажу вам я.

Даже если вы не намерены что-либо разрабатывать, эта книга все равно будет вам полезна. Вы узнаете принципы построения акустических систем, что позволит не ошибиться при покупке. Если у вас уже есть акустика, то, прочитав эту книгу, вы, вероятно, отметите, что стали по-другому относиться к ней и ее звучанию. Возможно, вам даже захочется переделать систему или посмотреть, что у нее внутри.

## Глава 1

# Акустические системы, общие сведения

**А**

кустическая система (АС) — это комплекс аппаратных средств, предназначенный для преобразования сигнала, записанного на каком-либо носителе или взятого из любого другого источника, в звуковой сигнал. АС может состоять из следующих блоков:

- устройства чтения сигнала (CD-ROM);
- устройства коррекции сигнала (шумоподавителей, эквалайзеров);
- усилителя звуковой частоты;
- устройства воспроизведения звука — акустической колонки.

В этой главе вы познакомитесь с основными типами акустических систем, узнаете об устройстве акустических колонок и их особенностях. Обзор начнем с рассмотрения динамических головок, используемых в АС.

## 1.1. Устройство низкочастотных динамических головок

Типичные характеристики низкочастотных динамиков:

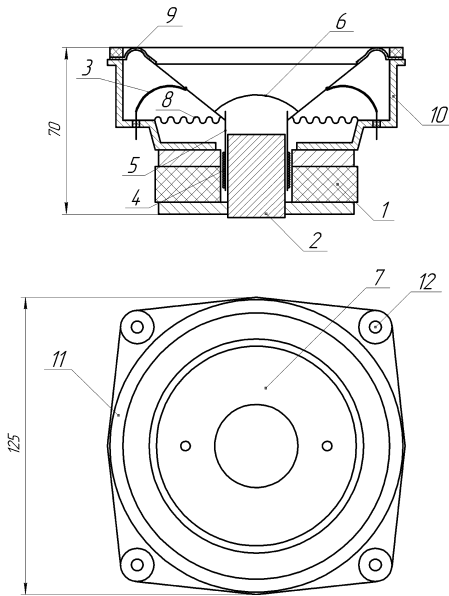
- диапазон воспроизводимых частот: 50–2000 Гц;
- мощность DIN: 5–100 Вт;
- мощность RMS: до 500 Вт;
- диаметр диффузора: 10–50 см.

Конструкцию низкочастотного излучателя мы рассмотрим на примере конструкции отечественной головки 10ГД-34 (рис. 1.1).

На малых частотах (приблизительно до 200 Гц) подвижная система динамика ведет себя подобно поршню, то есть диффузор рассматривается как абсолютно жесткое тело, а скорость движения диффузора значительно ниже скорости звука в воздухе. При движении диффузора вперед с одной его стороны создается зона повышенного давления, а с другой — зона пониженного давления. При движении диффузора в обратную сторону зоны меняются местами. Такой режим работы динамика называется *поршневым режимом*.

Если переднюю часть динамика не оградить от задней, то давление, создаваемое передней частью, будет компенсироваться давлением, создаваемым задней. Диффузор будет перемещаться, не возбуждая в окружающем пространстве акустической волны. Такое явление принято называть *акустическим коротким замыканием (АКЗ)*. Для предотвращения АКЗ используют различные типы *акустического оформления* динамических головок, или, проще говоря, «ящики».

**Рис. 1.1.** Конструкция динамической головки 10ГД-34: 1 – магнит, 2 – kern, 3 – гибкий токоподвод, 4 – звуковая катушка, 5 – каркас звуковой катушки, 6 – пылезащитный колпачок, 7 – диффузор, 8 – центрирующая шайба, 9 – подвес, 10 – диффузородержатель («корзина»), 11 – уплотняющее кольцо, 12 – крепежные отверстия. Элементы 4–9 представляют собой так называемую подвижную систему динамической головки



С увеличением частоты, на которой работает динамик, все сильнее проявляются упругие свойства диффузора – он перестает двигаться как единое целое, на поверхности образуются продольные акустические волны, формирующие зоны сжатия и разрежения. Такой режим работы динамика называется *волновым режимом*.

Кроме того, начинают проявляться демпфирующие свойства диффузора, выражающиеся в том, что при движении от звуковой катушки к подвесу амплитуда продольной волны уменьшается. Чем выше частота, тем сильнее гасится волна. С увеличением частоты проявляются и инерционные свойства подвижной системы, которая из-за значительной массы просто не способна колебаться на высоких частотах.

Вследствие того что диффузор не является идеально жестким, имеет демпфирующие свойства и обладает значительной массой,

АЧХ (амплитудно-частотная характеристика) низкочастотных динамиков ограничивается частотой 1–2 кГц (рис. 1.2).

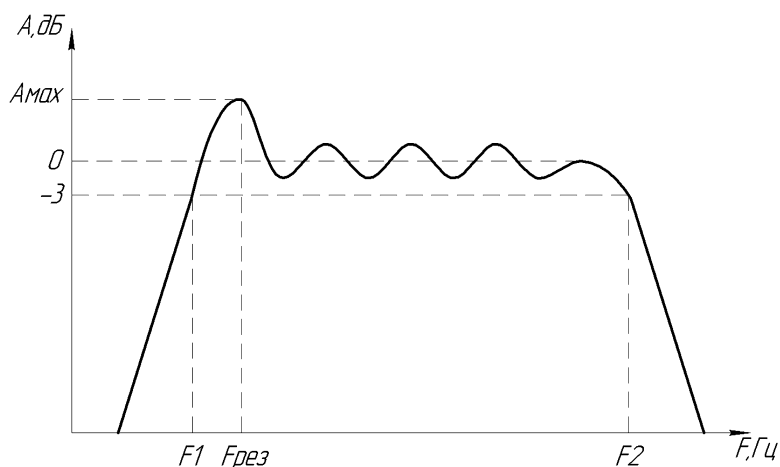
По сравнению с излучателями СЧ и ВЧ излучатели НЧ имеют бóльшую площадь диффузора. Чем больше площадь диффузора, тем ниже частоты, которые способен воспроизводить динамик, и больше мощность, с которой он может работать, но тем ниже верхняя граница воспроизводимых частот.

Диффузор динамика НЧ обычно изготавливается из бумаги. Бумажный диффузор не очень жесткий и хорошо работает в волновом режиме, благодаря этому звук в низко- и среднечастотной области получается довольно естественным и без окраса. Скорость звука в бумаге лежит в пределах 1000–1500 м/с. Однако бумага – довольно ненадежный материал: от перепадов влажности и температуры она легко рвется и портится.

Этого недостатка лишены металлические диффузоры. Металл намного жестче, чем бумага, скорость звука в нем достигает 5000 м/с, а



**Рис. 1.2.** Типичная АЧХ НЧ-излучателя в ближнем поле.  $F_1$  — нижняя граница воспроизводимых частот,  $F_2$  — верхняя граница воспроизводимых частот,  $F_{рез}$  — резонансная частота



демпфирование практически отсутствует. Вследствие этого такой динамик может работать только в поршневом режиме, который из-за высокой скорости звука в металле расширяется до 400–600 Гц. Из-за резонанса на более высоких частотах металлический диффузор начинает звенеть, что называется, как лопата. Практически то же можно сказать о пластмассовых диффузорах.

Золотой серединой между бумагой и металлом является кевлар — композитный материал, похожий на стеклоткань с эпоксидной пропиткой. Кевлар не боится перепадов влажности и механических повреждений. Обычно он бывает ярко-желтого или темно-серого цвета с характерной плетеной текстурой. Кевлар более жесткий, чем бумага, обладает меньшим демпфированием, и скорость звука в нем выше — до 3000 м/с, что несколько расширяет диапазон воспроизводимых частот в области ВЧ. Динамики с кевларовым диффузором обычно звучат лучше, чем с бумажным, однако в области 3–4 кГц возможен окрас звука, вызванный резонансом.

Подвес диффузора — также довольно важный элемент. Его задача — не только удерживать диффузор. Подвес обладает определенной упругостью и вместе с массой диффузора образует *колебательную систему*. От жесткости подвеса и массы диффузора практически полностью зависит качество работы динамика в поршневом режиме. Обычно чем мягче подвес, тем на более низкую частоту настроен динамик.

Подвес также обеспечивает линейность перемещения диффузора в пределах *рабочего хода* подвижной системы. Обычно чем шире подвес, тем больше рабочий ход и более линейно перемещение диффузора, то есть от ширины подвеса косвенно зависят мощность и качество

работы динамика. Чаще всего подвес изготавливается из полимеров, однако до сих пор можно встретить в продаже динамики, у которых подвес и диффузор сделаны из бумаги и составляют единое целое.

Центрующая шайба применяется для центрирования катушки в магнитном поле. Она также обладает упругостью, а значит, вносит свой вклад в колебательную систему, образованную подвесом и диффузором. Вообще говоря, центрующая шайба также участвует в устранении нелинейности перемещения диффузора и оказывает демпфирующее действие. Центрующая шайба обычно изготавливается из ткани с пропиткой или сухой прессованной ткани, реже — из полимеров.

Кроме защиты звуковой катушки от пыли, пылезащитный колпачок участвует в воспроизведении высоких частот и добавляет массу к подвижной системе. Он изготавливается либо из того же материала, что и сам диффузор, либо из металлической фольги. Такое решение не только увеличивает массу подвижной системы, но и расширяет АЧХ в область высоких частот.

На характеристиках динамика сказывается и такая мелочь, как место крепления колпачка. Напомню, что из-за демпфирующих свойств диффузора в волновом режиме интенсивность волны вдоль диффузора падает. Колпачок из-за своей куполообразной формы является практически абсолютно жестким, то есть в нем не возникает волновых эффектов. Если колпачок прикрепить непосредственно к звуковой катушке, где амплитуда колебаний максимальна, он будет двигаться вместе с катушкой практически на любой частоте и принимать участие в излучении звука.

Конструкция некоторых НЧ-излучателей такова, что колпачок крепится где-то в середине диффузора или практически к подвесу, как в 75ГДН. Получается, что при этом колпачок движется синхронно не с катушкой, а с подвесом, куда не доходят ВЧ-колебания. Такое решение, впрочем, вполне оправданно. Дело в том, что за счет больших размеров колпачка и его формы жесткость и масса диффузора возрастают, а это расширяет АЧХ в область низких частот и уменьшает гармонические искажения.

Гибкие токоподводы используются для передачи тока от клемм динамика к звуковой катушке. В хороших моделях токоподвод приклеен или вообще вплетен в центрующую шайбу, благодаря чему уменьшается риск его обрыва.

Каркас звуковой катушки маломощных динамиков обычно выполняется из бумаги, для более мощных используют алюминий или полимеры. Силы, возникающие в катушке, и температура в мощных динамиках порой достигают таких значений, что катушка может расплавиться, а каркас — оторваться от диффузора.

От диаметра катушки зависит эффективность работы динамика в поршневом режиме. Чем больше диаметр катушки, тем сильнее созда-

ваемое ею магнитное поле. Типичный для НЧ-излучателя малой мощности диаметр – 1,5 дюйма (3,75 см). Излучатели большой мощности обычно имеют катушку диаметром 2 дюйма (5 см) и более.

Магнит НЧ-излучателя также является немаловажным элементом. По размерам магнита можно судить о чувствительности динамика, его максимальной мощности и величине рабочего хода подвижной системы. Можно выделить следующие закономерности:

1. Чем больше магнит, тем выше его магнитная сила. Вследствие этого возрастает чувствительность динамика и улучшается качество его работы в поршневом режиме.

2. Обычно чем толще магнит, тем больше рабочий ход подвижной системы динамика.

НЧ-динамики высокой мощности с высокой резонансной частотой могут иметь маленький по сравнению с размером диффузора магнит. Такие динамики обычно применяют в эстрадной акустике. Они не обладают высоким качеством звучания, однако позволяют собрать довольно мощную и дешевую двухполосную акустическую систему.

Хорошие НЧ-излучатели выглядят пропорционально. Нормальные пропорции НЧ-динамика показаны на рис. 1.1 выше.

## 1.2. Среднечастотные динамические головки

Типичные характеристики СЧ-излучателей:

- диапазон воспроизводимых частот: 600–8000 Гц;
- мощность DIN: 3–30 Вт;
- диаметр диффузора: 2–10 см.

СЧ-излучатели устроены практически так же, как и НЧ, однако их размеры и максимальная мощность ниже. Диффузор изготавливается из плотной бумаги или полимеров. Подвес и диффузор обычно составляют единое целое. СЧ-излучатели работают только в волновом режиме, и рабочий ход диффузора в них не превышает 1 мм.

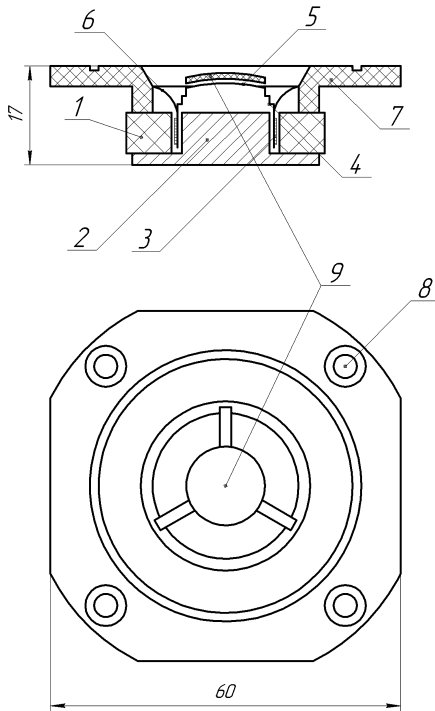
Конструкцию СЧ-излучателя можно разобрать на примере широкополосного динамика 2ГДШ-4.

## 1.3. Высокочастотные динамические головки

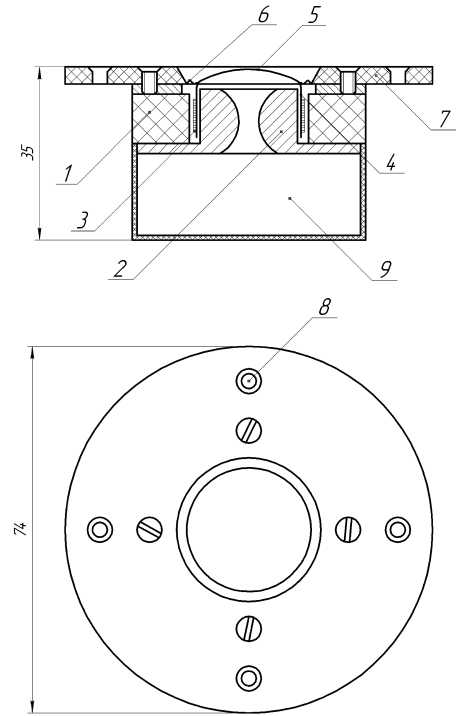
Типичные характеристики ВЧ-излучателей:

- диапазон воспроизводимых частот: 2–20 кГц;
- мощность DIN: 2–10 Вт;
- диаметр диффузора: 2,5 см.

**Рис. 1.3.** Конструкция ВЧ-излучателя с акустической линзой. 1 – магнит, 2 – магнитопровод, 3 – звуковая катушка, 4 – каркас звуковой катушки, 5 – диффузор, 6 – подвес диффузора, 7 – корпус, 8 – крепежные отверстия, 9 – резонатор (акустическая линза)



**Рис. 1.4.** Конструкция купольного излучателя. 1 – магнит, 2 – магнитопровод, 3 – звуковая катушка, 4 – каркас звуковой катушки, 5 – диффузор, 6 – подвес, 7 – каркас, 8 – крепежное отверстие, 9 – резонаторная камера



ВЧ-динамики имеют заметные конструктивные отличия от всех остальных типов излучателей (рис. 1.3). Разберем основные конструкции.

Конструкция этого излучателя примечательна тем, что диффузор полностью закрыт конструктивными элементами динамика, при этом подвес принимает активное участие в воспроизведении звука. Практически половина всей мощности излучается с поверхности подвеса. Кроме того, подвес, диффузор и каркас звуковой катушки выполнены как единое целое.

Между диффузором и колпачком акустической линзы имеется небольшой воздушный промежуток. Когда диффузор приходит в движение, промежуток изменяет свои размеры и тем самым втягивает или выдавливает из него воздух. При определенном объеме этого пространства и частоте колебания диффузора движущийся воздух может войти в резонанс и повысить КПД излучателя.

Диффузор подобных излучателей изготавливается из пластмассы. Это не самый лучший материал для звуковоспроизведения, вдобавок применение акустической линзы усиливает искажения звука, поэтому такие ВЧ-головки в качественной аппаратуре используются редко.

Конструкция купольного излучателя (рис. 1.4) обладает рядом преимуществ. Во-первых, диффузор ничем не закрыт, а это значит, что искажений в звуке будет меньше. Во-вторых, резонаторная камера увеличенного объема позволяет расширить АЧХ в область низких частот.

Применяемые материалы: пластмасса, металл (титан, алюминий), синтетическое (капрон, стеклоткань) или натуральное волокно (шелк).

ВЧ-динамик с металлическим диффузором обычно обладает высокой мощностью и чувствительностью, однако при этом качество воспроизведения далеко от идеала. Звук такого излучателя сильно окрашен. Окрас можно охарактеризовать как жесткий, режущий.

Наиболее естественно звучат тканевые диффузоры, особенно шелковые. Ткань представляет собой сплетенное волокно с пропиткой для придания эластичности и сохранения купольной формы. Благодаря тому что ткань намного легче металла, при той же массе диффузор динамика можно сделать большим по площади, тем самым расширяя АЧХ в область низких частот. Оптимальный диаметр купольного диффузора — 1 дюйм (2,5 см).

## 1.4. Широкополосные излучатели

Типичные характеристики широкополосных излучателей:

- диапазон воспроизводимых частот: 120–12000 Гц;
- мощность DIN: 5–100 Вт;
- диаметр диффузора: 10–50 см.

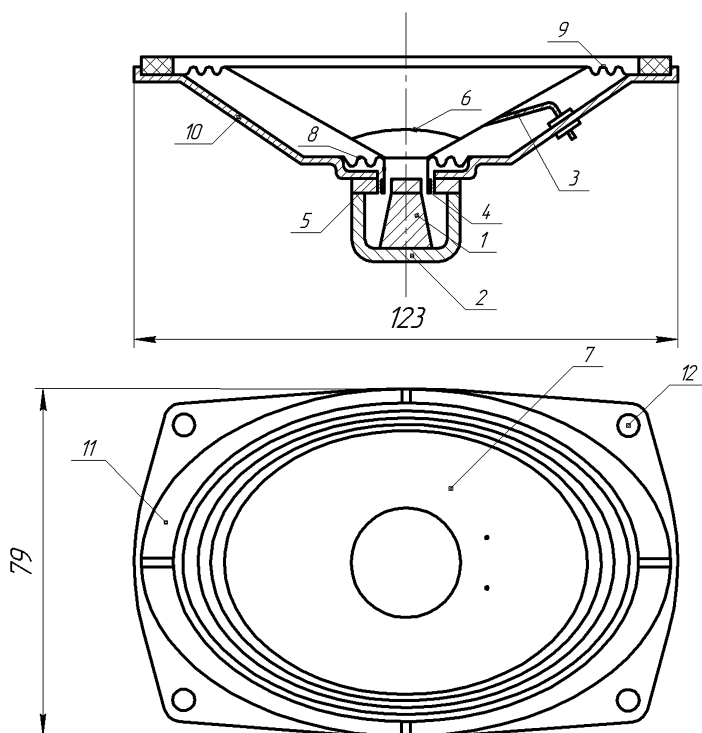
По конструкции широкополосные излучатели схожи с НЧ-головками, однако имеются некоторые отличия (рис. 1.5).

Диффузор широкополосного динамика изготавливается из тонкой бумаги и поэтому имеет небольшую массу. Подвес диффузора обычно выполнен в виде жесткого гофра, вследствие этого резонансная частота подвижной системы лежит в области 70–100 Гц, а добротность — больше 1. АЧХ и ФЧХ (фазочастотная характеристика) имеют большую неравномерность — это плата за широкий диапазон воспроизводимых частот.

Область применения — комбинированные гитарные усилители и эстрадная акустика. В высококачественной аппаратуре иногда применяются в качестве СЧ-излучателя.

Магнит выполнен из магнитотвердого материала и защищен магнитным экраном. Такая конструкция типична для маломощных СЧ- и широкополосных излучателей.

**Рис. 1.5.** Конструкция динамической головки 2ГДШ-4. 1 – магнит, 2 – магнитопровод (магнитный экран), 3 – гибкий токоподвод, 4 – звуковая катушка, 5 – каркас звуковой катушки, 6 – пылезащитный колпачок, 7 – диффузор, 8 – центрирующая шайба, 9 – подвес в виде гофра, 10 – диффузордержатель, 11 – уплотняющее кольцо, 12 – крепежное отверстие



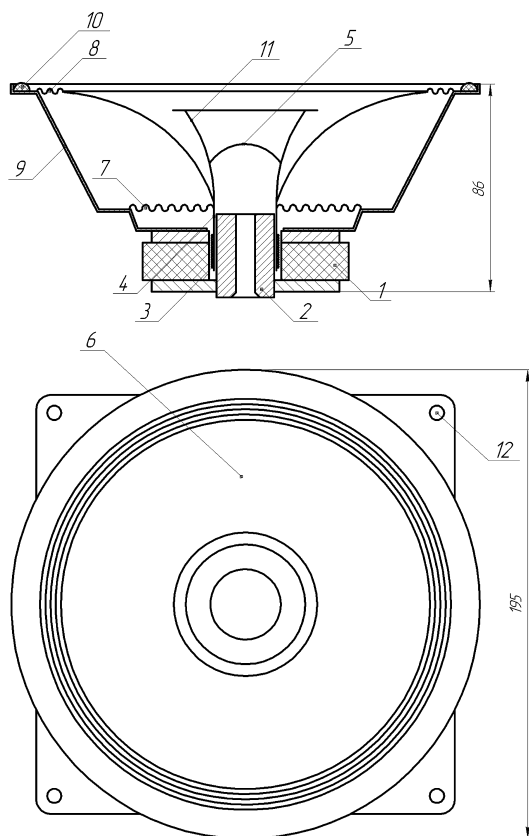
В конструкции, представленной на рис. 1.6, есть две особенности:

1. Отверстие в керне для охлаждения звуковой катушки.

2. Наличие дополнительного диффузора. Он обладает большей жесткостью, чем основной диффузор, и поэтому способен воспроизводить высокие частоты.

Пылезащитный колпачок может быть выполнен из бумаги или из ткани, как в 25ГДШ-12Д. Такое решение не только расширяет АЧХ в области высоких частот, но и позволяет катушке лучше охлаждаться.

При рассмотрении конструкции может возникнуть закономерный вопрос: если ВЧ-конус расположен на НЧ-диффузоре, не вызывает ли это модуляции высокочастотного сигнала низкочастотным? Конус как источник звука фактически закреплен на медленно движущемся основании, поэтому в нем возникает эффект Доплера, являющийся причиной интермодуляционных искажений. Однако величина этих искажений мала и практически неощутима на слух.



**Рис. 1.6.** Конструкция динамической головки 25ГДШ-12Д.  
 1 — магнит, 2 — kern с вентиляционным отверстием, 3 — звуковая катушка, 4 — каркас звуковой катушки, 5 — пылезащитный колпачок, 6 — диффузор, 7 — центрирующая шайба, 8 — подвес в виде гофра, 9 — диффузорордержатель, 10 — уплотняющее кольцо, 11 — дополнительный диффузор (дудка), 12 — крепежное отверстие

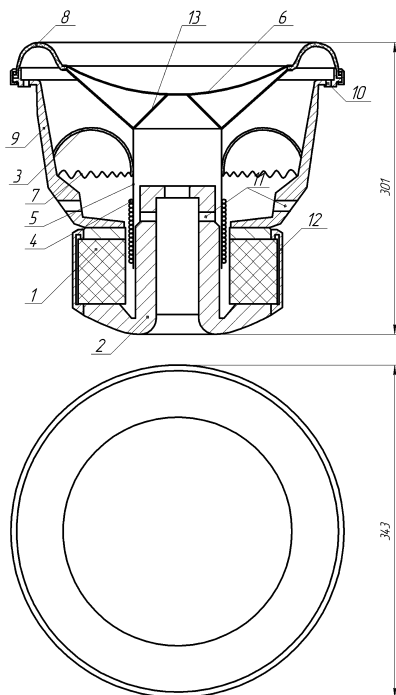
## 1.5. Головки для сабвуферов

Типичные характеристики:

- диапазон воспроизводимых частот: 20–200 Гц;
- мощность DIN: 30–200 Вт;
- мощность RMS: до 1000 Вт;
- диаметр диффузора: 20–50 см.

*Сабвуфер* — устройство, предназначенное для воспроизведения самых низких звуковых частот. Зачастую очень мощные сабвуферы способны воспроизводить даже инфразвук.

Устройство головки сабвуфера схоже с устройством НЧ-головки, однако подвижная система у нее крепче, так как она рассчитана на значительные механические и температурные перегрузки. Для лучшего охлаждения катушка часто наматывается с обеих сторон каркаса. Встречаются также головки с двумя катушками (одна намотана поверх другой, либо одна намотана на внешней стороне каркаса, а другая — на внутренней).



**Рис. 1.7.** Конструкция головки сабвуфера. 1 – магнит, 2 – kern, 3 – гибкий токоподвод, 4 – звуковая катушка, 5 – каркас звуковой катушки, 6 – диффузор, 7 – центрирующая шайба, 8 – подвес, 9 – диффузордержатель, 10 – крепежное отверстие, 11 – вентиляционные отверстия, 12 – магнитный экран, 13 – распорки

Для раскочки диффузора две катушки позволяют использовать два относительно маломощных усилителя вместо одного мощного.

Внешний вид головок, равно как и конструктивные особенности, сравним с произведениями искусства (рис. 1.7). Если в классических колонках динамики скрыты за фальшпанелью, то динамик сабвуфера часто специально выставляется напоказ как воплощение силы акустической системы. Хороший сабвуфер должен производить впечатление, даже когда он не включен!

С точки зрения принципа работы головки сабвуферов полностью идентичны обычным НЧ-излучателям, поэтому в рамках этой книги понятия «головка сабвуфера» и «НЧ-излучатель» следует воспринимать как синонимы, если не указано иное.

## 1.6. Критерии, по которым оценивается качество звучания акустических систем

Наиболее важный показатель качества звучания акустической системы – ширина полосы воспроизводимых частот (см. рис. 1.2). Считается идеальным, если она составляет от 20 Гц до 20 кГц. При этом обычно



указывается, по какому уровню определяется АЧХ — по уровню  $-3$  дБ (ослабление сигнала в 1,5 раза) или по уровню  $-6$  дБ (ослабление сигнала в два раза). Также существуют другие параметры, отражающие качество АС:

- **неравномерность АЧХ** — разница в амплитуде сигнала между самой низкой и самой высокой точкой на характеристике АЧХ;
- **коэффициент гармонических искажений** (КГИ,  $K_g$ , THD). Этот параметр показывает, какой процент мощности занимают гармоники основного сигнала. Считается, что усилитель мощности должен обладать КГИ менее 0,1 %;
- **КГИ+Шум** (THD+N). Данный параметр указывает, какой процент мощности занимают гармоники основного сигнала и другие посторонние сигналы;
- **фазовые искажения** (Phase response) — отклонение фазы выходного сигнала от фазы входного сигнала. Фазовые искажения влияют на передачу сцены;
- **групповая задержка** (Group delay) — время, на которое изменение выходного сигнала отстает от изменения входного сигнала;
- **верность воспроизведения** — комплексная оценка качества звучания АС путем экспертного прослушивания. Это субъективная оценка, результатом которой является письменное (реже — устное) резюме, отражающее основные критерии звучания.

В конечном итоге субъективное качество имеет большее значение, чем объективное, ведь акустические системы создаются для человека, а не для измерительных приборов. Более того, зачастую при экспертной оценке АС с худшими объективными показателями получают более высокие баллы, чем АС с идеальными характеристиками. О причинах этого до сих пор нет единого мнения.

## 1.7. Стандарты обозначения мощности

Отвлечемся немного от акустики. Представьте себе автомобиль. Что это? Мощный спорткар? Может быть, большой внедорожник или обычный легковой автомобиль? Какие параметры автомобиля нужно знать, чтобы полностью его охарактеризовать? Количество дверей, размер и тип кузова, мощность и объем двигателя, количество цилиндров, максимальную скорость. Можно назвать еще несколько. По этим параметрам мы довольно объективно сравниваем автомобили, не боясь, что под описание суперкара может попасть автомобиль, стоящий в гараже вашего пожилого соседа.

В акустике все происходит с точностью до наоборот. Что нам требуется от акустической системы? Большинство сформулирует ответ примерно так: «Чтобы колонки играли громко и качественно». Качество

можно выразить с помощью коэффициента гармонических искажений (КГИ), а громкость — той максимальной подводимой к динамику мощностью, при которой сохраняется приемлемое качество. Как же эту мощность измерить? Я предлагаю вашему вниманию мини-обзор трех отечественных и трех зарубежных стандартов обозначения мощности.

**Паспортная шумовая мощность** — мощность, при которой динамик не разрушится в течение 100 ч испытаний. В качестве испытательного сигнала выступает розовый шум.

Типичные поломки — обрыв токоподводов, разрушение подвеса, перегорание катушки или сползание ее витков. О качестве не сказано ни слова. Паспортная мощность хорошо отражает надежность динамической головки, при этом не упоминая о том, будет ли вообще эта головка работать с такой мощностью и насколько данная мощность будет выше постоянной рабочей мощности.

**Максимальная долговременная мощность** — мощность, при которой динамик не разрушится в течение 1 мин испытаний. В качестве испытательного сигнала выступает розовый шум. Очевидно, эта мощность будет выше паспортной. Что полезное несет нам знание этого параметра? Кроме эффективности охлаждения катушки и крепости подвеса — ничего.

**Максимальная кратковременная мощность** — мощность, при которой динамик не разрушится в течение 2 с испытаний. В качестве испытательного сигнала, как и в двух предыдущих случаях, выступает розовый шум. По идее, следует измерять максимальную перегрузочную мощность испытуемого динамика, опять же ничего не сказано про то, на какой же нормальной мощности должен работать этот динамик.

**DIN power** — электрическая мощность сигнала на частоте 1 кГц, при которой КГИ не превышает 1%. Этот параметр уже учитывает качество сигнала. КГИ в 1% практически не воспринимаются на слух. Измерение мощности в DIN подходит для СЧ, широкополосных и — с натяжкой — для ВЧ-головок.

НЧ-головки помимо волнового режима, при котором снимаются параметры DIN, работают и в поршневом, где смещение диффузора намного больше. Поэтому максимальная мощность при измерениях на частоте 1 кГц окажется губительной при частоте в 20 Гц.

Сабвуферы тестировать сигналом в 1 кГц вообще не имеет смысла, так как на такой частоте они просто не работают. Зачем кормить динамик тем, что он не ест?

**RMS (Root Mean Squared)** — среднеквадратическая мощность. Измерения аналогичны DIN, однако КГИ принимается в 10%. Музыка с такими искажениями слушать не захочется. 1 RMS ~ 3 DIN.

**PMPO (Peak Music Power Output)** — пиковая музыкальная мощность. Испытания проводятся сигналом частотой около 250 Гц и длятся не бо-

лее 2 с. За это время динамик не должен выйти из строя. Что измеряется — снова не ясно. 1 PMPO ~ 16 DIN.

Это только официально признанные стандарты. Производители АС в погоне за красивыми цифрами могут написать суммарную мощность всех динамиков, мощность, потребляемую усилителем, или же придумать собственную систему испытаний.

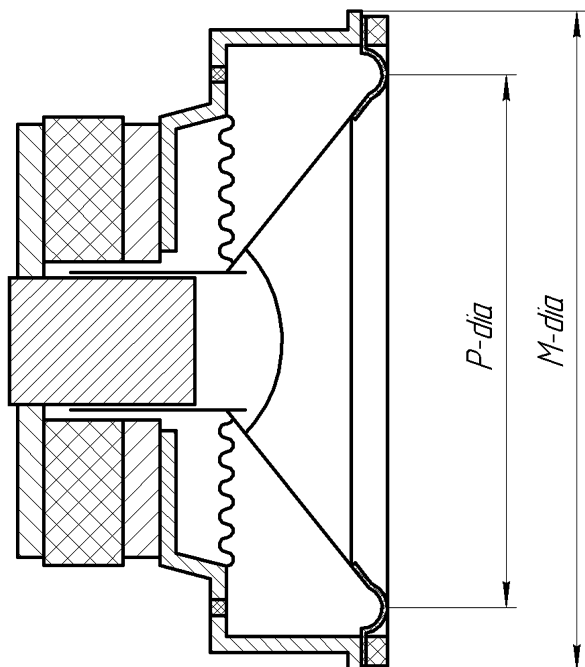
## 1.8. Основные характеристики динамических головок

Чтобы получить первое представление о динамической головке, достаточно знать 3–4 ее параметра (тип головки, размер диффузора, мощность, диапазон воспроизводимых частот). Для более глубокого ознакомления нужно оперировать большим числом параметров — электро-механическими характеристиками и параметрами Тилля—Смолла (Т—С).

**M-dia** (mounting diameter) — монтажный размер головки. Обычно соответствует внешнему диаметру головки (рис. 1.8).

**P-dia** (piston diameter) — эквивалентный диаметр излучающей поверхности. Подвес, как и диффузор, принимает участие в воспроизведении звука, поэтому в данном параметре учитывается  $1/2$  его ширины.

Рис. 1.8. Размеры динамической головки



**Re** (Resistance) – сопротивление звуковой катушки постоянному току. Если динамическая головка содержит две катушки, указывается сопротивление только одной.

**Z** (Impedance) – импеданс, то есть полное комплексное сопротивление звуковой катушки. Для НЧ-излучателей значение лежит в пределах 4–8 Ом. Для СЧ и ВЧ может достигать 16 Ом.

**Le** (Inductance) – индуктивность звуковой катушки. Обычно измеряется в миллигенри (мГн) и лежит в пределах 0,4–1,5.

**Pe** (Power limit) – максимальная долговременная подводимая мощность, не способная повредить динамик.

**Fs** (Resonance) – частота основного резонанса. Чем ниже эта частота, тем ниже частоты, которые способен воспроизводить динамик. У сабвуферов  $F_s$  лежит в пределах 20–45 Гц, у НЧ-излучателей – 30–60 Гц, у широкополосных – 50–150 Гц, у СЧ – 300–600 Гц, у ВЧ – 1–2 кГц.

**Qms** (Mechanical quality) – добротность динамика на резонансной частоте, обусловленная только механическими потерями в магнитной системе и демпфированием.

**Qes** (Electrical quality) – добротность динамика на резонансной частоте, обусловленная только электромагнитными потерями и демпфированием.

**Qts** (Total quality) – полная добротность, учитывающая механические и электромагнитные потери. Этот параметр определяет наиболее подходящее акустическое оформление для динамика. НЧ-динамики имеют добротность от 0,2 до 0,7, широкополосные, СЧ и ВЧ – до 2.

**SPL** (Sensitivity) – чувствительность динамической головки. Измерения проводят при подаче на динамическую головку сигнала мощностью 1 Вт или измеряют звуковое давление при напряжении 2,83 В на расстоянии 1 м. Полученное значение сравнивается с давлением *порога слышимости* (SPL) и выражается в децибелах. Если сравнивать громкость звучания двух динамиков с разной чувствительностью, то при одной и той же мощности громче будет звучать динамик с большей чувствительностью. Типичное значение 94–98 дБ.

Следующие параметры используются только для НЧ-динамиков:

**Mms** (Moving mass) – масса подвижной системы динамика;

**Xmax** (Excursion) – максимальное смещение подвижной системы в одну сторону от положения равновесия. У НЧ-излучателей лежит в пределах 10–20 мм. НЧ-излучатели с меньшим максимальным смещением обычно обладают высокой резонансной частотой и имеют жесткий подвес;

**Vas** (Equivalent volume) – эквивалентный объем. Этот параметр учитывает жесткость подвеса диффузора и выражается в литрах. Подвес диффузора имеет такую же жесткость, какую имеет воздух в емкости объема  $V_{as}$ . Физический смысл  $V_{as}$  представить очень просто: если на диффузор динамика положить груз, то смещение подвижной систе-

мы будет равно смещению поршня в цилиндре диаметром  $P\text{-dia}$  и объемом  $V_{as}$ .

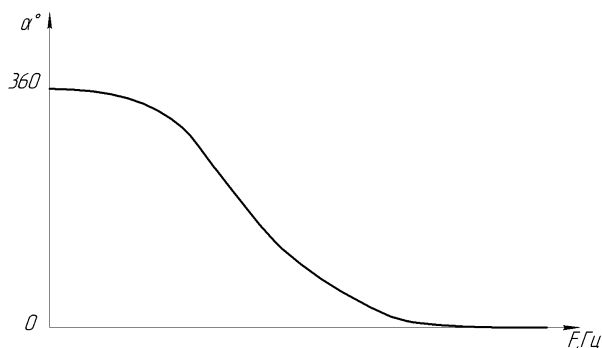
Кроме электромеханических параметров и параметров  $T-S$ , которые в основном определяют работу динамика в поршневом режиме, существуют и обобщенные характеристики, отражающие качество работы динамика в целом.

Основной характеристикой динамика является амплитудно-частотная характеристика (АЧХ, **Amplitude response**), то есть зависимость амплитуды изменения звукового давления от частоты подаваемого на динамик сигнала. По АЧХ судят о полосе воспроизводимых частот и неравномерности АЧХ в полосе воспроизведения. Чем ровнее АЧХ, тем выше качество акустической системы. Обычно чем шире АЧХ, тем она менее равномерна.

Говоря об АЧХ, обычно указывают, в каком акустическом оформлении находился динамик во время испытаний. Как правило, это свободное пространство, закрытый ящик или «бесконечный экран». О методах снятия АЧХ написано в соответствующем разделе этой книги.

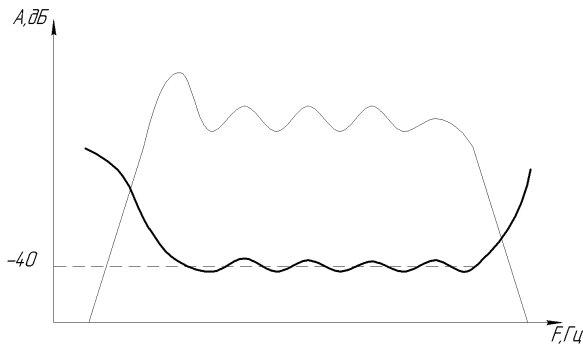
Фазочастотная характеристика (ФЧХ, **Phase response** – рис. 1.9) показывает зависимость фазы волны, возбуждаемой диффузором, от фазы подаваемого на динамик сигнала. Из-за инерционных свойств подвижной системы динамика и особенностей работы диффузора в волновом режиме ФЧХ динамика изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  во всем диапазоне воспроизведения. Если АЧХ влияет на *верность* воспроизведения, то от ФЧХ зависит ощущение сцены и пространственности звучания. Чем меньше сдвиг фазы, тем точнее передается сцена.

Рис. 1.9. Типичная ФЧХ динамической головки



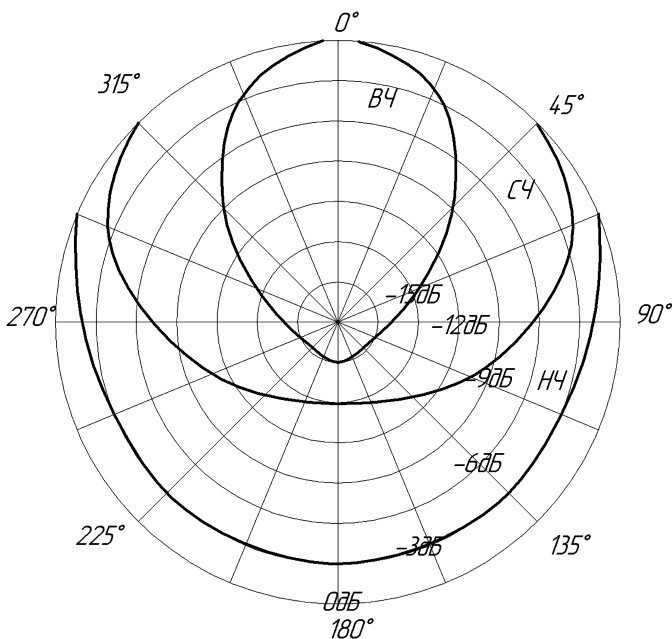
Одним из немаловажных параметров является зависимость КГИ (Total harmonic distortion – THD) от частоты. Чем ниже КГИ, тем выше *верность* воспроизведения. Искажения ниже 1% практически неуловимы на слух (рис. 1.10).

Рис. 1.10. Типичная характеристика КГИ. Тонкая линия — АЧХ динамика, толстая линия — КГИ



Еще один параметр, характеризующий физическую ширину зоны оптимального звучания АС, — *диаграмма направленности*. Она показывает, насколько изменяется интенсивность звука в зависимости от расположения слушателя относительно *оси излучения*. Обычно чем выше частота излучения, тем уже диаграмма направленности, и если для сабвуфера она представляет собой практически круг, то для ВЧ-излучателя это сектор с углом около  $90^\circ$  (рис. 1.11).

Рис. 1.11. Типичная диаграмма направленности излучателей



## 1.9. Как выбрать динамическую головку

Итак, настал момент, когда вы решили начать работу над созданием акустической системы. В магазинах представлены тысячи наименований динамических головок разных типов, размеров и мощности. Как же выбрать среди такого изобилия то, что нужно?

Сначала следует определиться, для каких целей вы создаете акустику. Будут ли эти колонки озвучивать стадион, небольшой зал, или вы делаете систему для домашнего кинотеатра? После этого необходимо определиться с топологией системы (пара колонок, колонки с сабвуфером или система для домашнего кинотеатра) и бюджетом (сколько денег вы готовы в нее вложить). Если все это известно, можно приступить к выбору динамиков.

Существует два подхода к выбору динамических головок — поиск лучшего из возможного и поиск лучшего из доступного. Первый способ хорош, если вы не ограничены бюджетом и хотите собрать действительно отличную систему. Его можно рекомендовать радиолюбителям, имеющим большой опыт в конструировании акустических систем. Такой способ заключается в поиске информации о зарекомендовавших себя моделях динамических головок (обычно — в Интернете) и способов их приобретения.

Плюсы этого метода: вы получите динамики с известными характеристиками и сможете использовать чужие наработки. Часто выгоднее повторить удачную конструкцию другого автора, чем городить свою. В конце концов, готовую АС проще доработать, чем заново рассчитывать.

Минусы: продолжительное время поиска и доставки динамиков заказчику. Кроме того, при пересылке динамики могут повредиться.

При поиске «лучшего из доступного» ваша задача упрощается. Достаточно пройтись по магазинам, торгующим динамиками, посмотреть на ассортимент и цены, запомнить или записать названия понравившихся образцов. Если вы смогли выбрать шесть или более образцов, значит, работа не пропадет зря. Зайдите в Интернет и попробуйте найти официальную документацию к этим динамикам (например, на официальном сайте компании-производителя). Для НЧ-динамиков обязательно нужно найти параметры Т—С. Если для каких-то моделей этого сделать не удалось, откажитесь от их покупки — скорее всего, это дешевая китайская продукция.

Определив параметры Т—С, смоделируйте работу динамиков в программе **JBL SpeakerShop**. Найдите оптимальные размеры и конструкцию ящиков и сравните их. После этого вам станет ясно, какие динамики покупать, а какие — нет.

Следующий этап — поиск информации о практическом применении понравившегося динамика. Вы должны искать и положительные, и

отрицательные отзывы. Интернет — практически незаменимый помощник в решении подобных вопросов.

Итак, вы убедились в серьезности производителя (есть сайт производителя и документация на продукцию с указанием характеристик), смоделировали работу динамика и «выслушали» мнения людей относительно него. Только после этого можно идти в магазин за покупкой. Постарайтесь договориться с продавцом о возможности возврата покупки, если динамик вас не устроит.

После того как вы принесете динамик домой, снимите с него параметры Т—С и АЧХ. В большинстве случаев они отличаются от заявленных производителем, причем, как правило, в худшую сторону. Заново смоделируйте работу динамика в программе JBL SpeakerShop. Теперь вы обладаете более-менее реальной характеристикой купленной вами динамической головки.

**Замечание.** Методика выбора СЧ- и ВЧ-динамиков такая же, что и НЧ, за исключением того, что для них не требуются параметры Т—С.

### 1.9.1. Можно ли применять автомобильные головки в домашней аппаратуре

Можно, но следует учесть, что автомобильная акустика имеет ряд особенностей. Материалы, применяемые в автомобильных АС, приспособлены для работы в экстремальных условиях — при высокой влажности и в широком диапазоне температур. Типичные материалы — полимеры и металл, а они далеко не самые «музыкальные». Автомобильная акустика не разрабатывается для высококачественного воспроизведения, ее основная задача — создавать высокий уровень громкости, способный «перекричать» уличный шум и гул двигателя. И последнее — параметр добротности ( $Q_{ts}$ ) у автомобильной акустики часто бывает очень высоким, так как она приспособлена для работы без акустического оформления. Такой динамик, помещенный в ящик, будет сильно резонировать, вызывая «эффект бочки».

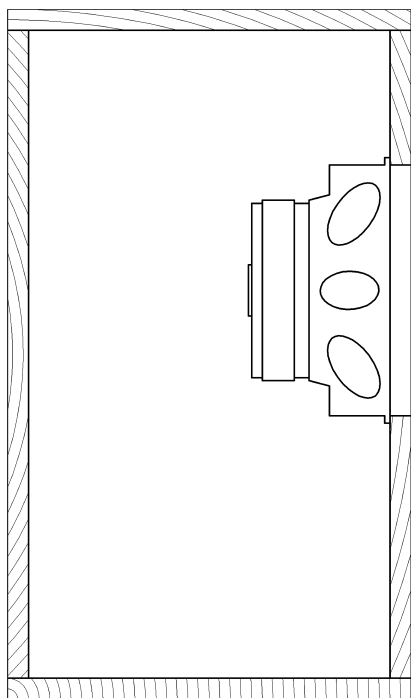
Отдельно нужно сказать про автомобильные сабвуферы. Они также выпускаются для работы без ящика (*free air*) и в ящике. И те и другие с успехом могут применяться в домашних сабвуферах. Использовать их даже предпочтительнее, чем мощный НЧ-излучатель, так как автомобильные сабвуферы более надежны.

## 1.10. Типы акустического оформления

Как говорилось выше, для предотвращения АКЗ используют разные типы акустического оформления НЧ-излучателей. Наиболее простое — закрытый ящик (ЗЯ, *closed box* — рис. 1.12). В таком случае ящик про-



Рис. 1.12. Закрытый ящик



сто изолирует заднюю часть диффузора от передней для предотвращения АКЗ. Воздух, содержащийся в ящике, обладает определенной упругостью, которая добавляется к упругости подвеса динамика, увеличивая его добротность и резонансную частоту.

Для определения оптимального объема ящика целесообразно использовать специальные программы моделирования, упрощающие процесс разработки акустических систем. В рамках этой книги рассматривается одна из самых распространенных программ — **JBL SpeakerShop**. Подробное описание ее работы и пример расчета акустической системы будут приведены позже.

Оформление типа ЗЯ является наиболее простым в расчете, так как мы оперируем только одним параметром — объемом ящика. К тому же этот тип акустического оформления менее

критичен к отклонениям параметров динамика от номинальных. Другими словами, вероятность неудачного исхода при расчете минимальна.

Типичные характеристики колонки, выполненной в виде ЗЯ, показаны на рис. 1.13. Они построены на примере динамика Kenwood KFC-NQW300 в ящике объемом 20 л.

Как видно из графика АЧХ, частота среза на уровне  $-3$  дБ составляет 60 Гц, то есть начиная именно с этой частоты колонка уверенно воспроизводит звук. Фазовый сдвиг во всем диапазоне частот составляет  $180^\circ$ , но в рабочем диапазоне (60–2000 Гц) — только  $100^\circ$ . Время групповой задержки — 4 мс. По графику импеданса можно качественно судить об амплитуде колебания диффузора. Чем импеданс выше, тем больше амплитуда.

Несколько слов о том, как анализировать эти графики. АЧХ — главный по значимости график, который показывает интенсивность звука в зависимости от частоты подаваемого сигнала. При проектировании АС нужно стремиться расширять АЧХ в область низких и высоких частот и добиваться ее равномерности. В идеальном случае АЧХ должна представлять ровную горизонтальную линию.

ФЧХ показывает, насколько отличается фаза колебания диффузора (как и возбуждаемой им волны) от фазы подаваемого на динамик сиг-