



С.Д. Бать

Любительские громкоговорители-4

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2013

УДК 681.84
ББК 32.871
Б28

Б28 Бать С.Д.
Любительские громкоговорители-4

Москва: Техносфера, 2013. — 152 с. + 8 с. цв. вклейки
ISBN 978-5-94836-343-1

Цель написания книги – в популярной форме рассказать о построении громкоговорителей в любительских условиях. В книге содержится материал по параметрам динамических головок, рассмотрен подход к выбору динамических головок для любительских громкоговорителей, теория построения кроссоверов и методика их проектирования на основе компьютерной технологии. Изложение теории и методики по кроссоверам базируется на графическом материале, полученном в результате измерений и обработки характеристик реальных динамиков. Применение методики иллюстрируется примерами проектирования кроссоверов и описанием конструкций любительских громкоговорителей.

Книга рассчитана на широкий круг любителей техники звуковоспроизведения.

УДК 681.84
ББК 32.871

© 2013, Бать С.Д.
© 2013, ЗАО «РИЦ «Техносфера», оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-343-1

Содержание

| | |
|---|-----|
| Предисловие | 4 |
| Глава 1. Динамические головки | 5 |
| 1.1. Параметры динамических головок | 5 |
| 1.2. Выбор динамических головок для любительского громкоговорителя | 13 |
| Глава 2. Кроссоверы громкоговорителей | 29 |
| 2.1. Термины и понятия | 29 |
| 2.2. Фазовые соотношения | 32 |
| 2.3. Задержки | 35 |
| 2.4. Фильтры | 37 |
| 2.5. Корректирующие и компенсирующие цепи | 48 |
| 2.6. Схема коррекции фазы | 53 |
| 2.7. Взаимодействие фильтра нижних частот с басовой головкой | 57 |
| 2.8. Разработка кроссовера | 67 |
| Глава 3. Примеры разработок кроссоверов громкоговорителей | 70 |
| 3.1. Двухполосный кроссовер для динамических головок Audax HM170Z18, Morel MDT30 | 70 |
| 3.2. Трехполосный кроссовер для динамических головок Scanspeak 18W/8531G00, D2905/97000, Morel MDM55 | 82 |
| Глава 4. Конструкции любительских громкоговорителей | 91 |
| 4.1. Мини-монитор | 91 |
| 4.2. Двухполосный громкоговоритель на динамиках Morel | 96 |
| 4.3. Двухполосный громкоговоритель МТМ | 101 |
| 4.4. Монитор на динамиках Scanspeak 15M/4531G04, Morel ET338 | 106 |
| 4.5. Четырехполосный громкоговоритель | 111 |
| 4.6. Громкоговоритель MoScWa compact 3 way | 139 |
| Список литературы | 147 |

Предисловие

Целью написания этой работы является желание поделиться опытом построения громкоговорителей в любительских условиях. При написании этой работы использовался материал книги «Любительские громкоговорители 3», который был дополнен и переработан с учетом опыта построения громкоговорителей, приобретенного автором в последние четыре года. Кроме материала общего характера, касающегося выбора динамических головок и проектирования кроссоверов, в эту работу включены описания конструкций любительских громкоговорителей, разработанных для повторения в домашних условиях. Описания конструкций любительских громкоговорителей содержат как информацию технического характера, так и сведения о характере звучания громкоговорителей, полученные по результатам прослушивания громкоговорителей привлеченными экспертами. Автор благодарит любителей, которые потратили время на прослушивание и высказали мнение о качестве звучания, а также участников форума ВЕГАЛАБ за обсуждение конструкций громкоговорителей. Заранее благодарю читателей, которые пришлют замечания и вопросы по этой работе.

С. Бать
sdsbatti@mail.ru

ГЛАВА I

ДИНАМИЧЕСКИЕ ГОЛОВКИ

1.1. Параметры динамических головок

Информация по параметрам динамических головок приводится в каталогах фирм-производителей, торговых компаний и на сайтах в Интернете. Ниже будут рассмотрены параметры динамических головок, которые обычно содержатся в указанных источниках.

Мощность динамических головок характеризуется рядом параметров.

Short term maximum power (Pst) – кратковременная максимальная тепловая мощность. Это предельное значение мощности, при которой не разрушится звуковая катушка от импульса заданной длительности, например, 1 или 20 мс. Параметр по существу характеризует теплоемкость и механическую прочность звуковой катушки.

Long term maximum power (Plt) – длительная максимальная тепловая мощность. Это предельное значение мощности, при котором температура звуковой катушки не превысит допустимого значения. Параметр характеризует тепловое сопротивление между звуковой катушкой и окружающей средой. В современных динамических головках звуковые катушки могут работать при достаточно высоких температурах, например 200 °С, если используются термостойкие материалы (Сартон, алюминий и т.п.). Если допустимая рабочая температура звуковой катушки составляет 200°, а изготовитель указывает величину $Plt = 100$ Вт, можно считать, что тепловое сопротивление между звуковой катушкой и окружающей средой равно примерно 1,8° на ватт. Это означает, что перегрев звуковой катушки относительно окружающей среды составит примерно 18°.

Plt измеряется на шумовом сигнале с использованием взвешивающего фильтра, который приближает спектральную мощность измерительного сигнала к музыкальному. Для СЧ и ВЧ головок дополнительно указываются частота среза и крутизна спада передаточной характеристики фильтра высоких частот, ограничиваю-

шего снизу полосу испытательного сигнала. Например, для ВЧ головки может оговариваться длительная тепловая мощность 90 Вт при условии использования фильтра с частотой среза 3000 Гц и крутизной спада 12 дБ на октаву.

При использовании подобного фильтра мощность, попадающая на головку, существенно меньше мощности на входе фильтра. В справочных данных изготовителей указывается мощность на входе фильтра, при этом фильтр может не упоминаться. Результатом такого способа указания мощности в справочных данных является частый выход из строя ВЧ головок из-за перегрузки частотами, для работы на которых они не предназначены.

Ознакомившись с каталогами, можно убедиться, что у многих изготовителей динамические головки разного размера, но с одинаковыми звуковыми катушками имеют одинаковые значения Plt .

Любителю, который подбирает головки для своей конструкции, интересно знать, какую мощность музыкальной программы он сможет подавать на динамическую головку при искажениях, не слишком сильно заметных на слух. К сожалению, эта величина слабо связана с Plt , она сильно зависит от конструкции динамической головки, акустического оформления и характера музыкальной программы. Ориентировочно можно считать, что в удачно выполненном акустическом оформлении на динамик высокого качества можно подавать $0,25Plt$.

В отдельных случаях изготовители динамических головок приводят график зависимости уровня звукового давления от мощности шумового сигнала, подобный показанному на рис. 1.1. На небольших мощностях этот график имеет вид прямой линии, выходящей из начала координат с некоторым наклоном. По мере увеличения мощности линейный прирост звукового давления прекращается, и график начинает постепенно загибаться, отклоняясь от прямой. Величина мощности, соответствующая границе линейного участка, является максимальной неискаженной мощностью.

Operating power — рабочая мощность. Этот параметр указывается для динамических головок, предназначенных для бытовой аппаратуры. Рабочая мощность соответствует звуковому давлению 96 дБ на расстоянии 1 м.

Characteristic sensitivity ($SENS$) — характеристическая чувствительность. Этот параметр показывает среднее по ряду частот звуковое давление в децибелах, которое создает динамическая головка вдоль оси на расстоянии 1 м при подводимой мощности 1 Вт. В некоторых каталогах торговых фирм, например, Madisound, ха-

характеристическая чувствительность указана при напряжении 2,83 В независимо от сопротивления головки. Для динамических головок, имеющих сопротивление меньше 8 Ом, значение характеристической чувствительности при таком подходе получается завышенным. Для низкочастотных головок чувствительность указывается, как правило, на средних частотах. На низких частотах, для воспроизведения которых предназначены такие головки, чувствительность оказывается значительно меньше. Изготовитель не может оговаривать чувствительность на низких частотах, поскольку она существенно зависит от акустического оформления. Для любителя важно знать, что НЧ головка, например, диаметром 200 мм за счет сужения диаграммы направленности на средних частотах способна концентрировать звуковое давление вдоль оси. На низких частотах, когда длина волны значительно больше диаметра диффузора, диаграмма направленности становится очень широкой, соответственно уровень звукового давления падает. Разница между чувствительностью, указанной в справочных данных, и чувствительностью, которую реально может обеспечить головка на низких частотах, может достигать 6 дБ.

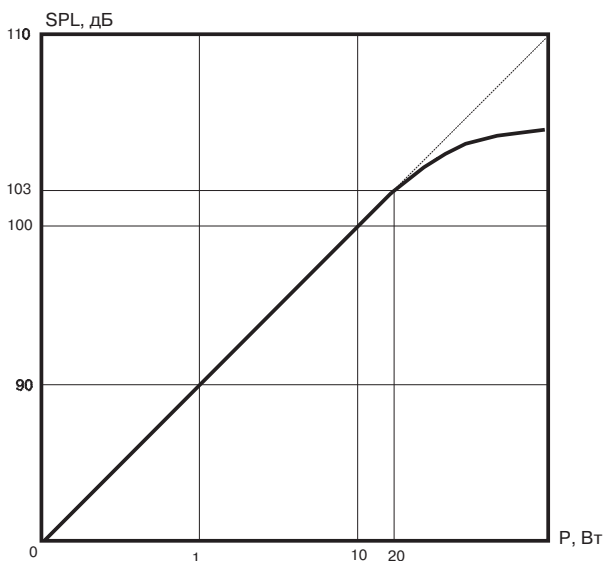


Рис. 1.1. Зависимость звукового давления от мощности шумового сигнала

Полное сопротивление динамических головок характеризуется рядом параметров, которые указываются в справочных данных.

Nominal impedance (Z_n) – номинальное сопротивление. Обычно Z_n указывается изготовителями в соответствии с принятым рядом значений, т.е. 4, 6, 8, 16 Ом. Номинальный импеданс является некоторой усредненной величиной, используемой для оценочных расчетов.

Voice coil resistance (R_{vc}) – активное сопротивление звуковой катушки.

Фактический импеданс динамической головки Z всегда больше R_{vc} . Это связано с тем, что R_{vc} измеряется на постоянном токе, когда звуковая катушка неподвижна.

Z измеряется на переменном напряжении, обычно на частоте 1000 Гц. В этом случае в величину модуля полного импеданса вносят вклад ЭДС, возникающая в звуковой катушке за счет ее движения в магнитном поле, и индуктивность звуковой катушки.

Voice coil inductance (L_{vc}) – индуктивность звуковой катушки изготовители обычно указывают в справочных данных на частоте 1000 Гц. Кроме того, в справочных данных приводится зависимость от частоты модуля полного сопротивления динамической головки в графическом виде подобно изображенной на рис. 1.2.

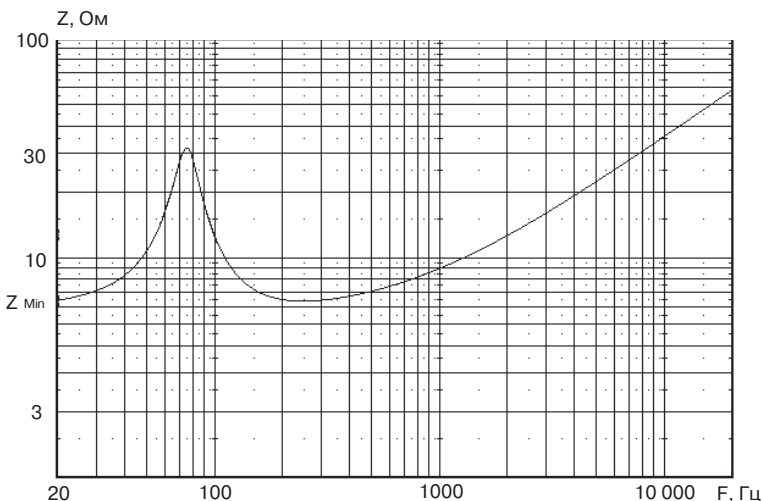


Рис. 1.2. Зависимость от частоты модуля полного сопротивления динамической головки

Величина индуктивности звуковой катушки зависит от частоты и положения звуковой катушки относительно магнитной системы. Свойство *Levc* изменять величину в зависимости от частоты и амплитуды сигнала является нелинейностью, приводящей к возникновению линейных (фазовых) и нелинейных (гармонических и интермодуляционных) искажений. Влияние нелинейности индуктивности звуковой катушки на качество воспроизведения звука особенно заметно на средних частотах.

Читателям, заинтересовавшимся этим вопросом, рекомендую ознакомиться со статьей С. Агеева «Должен ли УМЗЧ иметь малое выходное сопротивление?», опубликованной в журнале «Радио» (№ 4, 1997).

В справочных материалах изготовители указывают ряд параметров, характеризующих положение звуковой катушки относительно магнитной системы.

Voice coil height – длина намотки звуковой катушки.

Air gap height – длина воздушного зазора магнитной системы.

Linear coil travel – линейный размах движения звуковой катушки.

Предполагается, что в пределах линейного размаха магнитное поле, взаимодействующее со звуковой катушкой, остается постоянным.

Многие изготовители указывают половину линейного размаха, обозначая этот параметр *Xmax*. По существу *Xmax* является максимальной амплитудой колебаний звуковой катушки, при которой сохраняется линейный характер взаимодействия с магнитным потоком, т.е. равные приращения тока вызывают равные приращения силы, действующей на катушку.

Рассмотренные параметры связаны простым соотношением:

$$X_{max} = 0,5(H_{vc} - H_{ag}).$$

Это соотношение справедливо для динамических головок, у которых длина звуковой катушки больше длины зазора магнитной системы. *Xmax* является весьма важным параметром, характеризующим перегрузочную способность динамической головки.

Как показывает практика, перегрузка динамической головки в большинстве случаев происходит в результате выхода амплитуды колебаний звуковой катушки из линейного участка, т.е. в результате превышения величины *Xmax*. В большинстве случаев такой режим наступает гораздо раньше, чем происходит превышение мощностных и тепловых параметров. В первую очередь это связано с тем, что амплитуда колебаний звуковой катушки имеет тенденцию возрастать обратно пропорционально квадрату частоты.

Возможность перегрузки по X_{max} важно иметь в виду применительно к СЧ и ВЧ головкам, поскольку они имеют, как правило, малую величину линейного участка хода звуковой катушки. Выход амплитуды колебаний звуковой катушки за пределы линейного участка сопровождается значительным ростом искажений. В связи с этим мне представляется разумным следовать рекомендациям изготовителей по использованию ВЧ головок с фильтрами не ниже второго порядка так, как это оговаривается в мощностных параметрах. Кроме обеспечения эксплуатационной надежности подобные рекомендации способствуют снижению искажений на повышенных мощностях сигнала.

Maximum coil travel – максимальный размах движения звуковой катушки, не вызывающий ее повреждения. Он превышает линейный размах движения, следовательно, искажения при максимальном размахе могут быть весьма велики. Музыкальная программа содержит широкий спектр частот. Если, предположим, СЧ головка вышла в режим максимального размаха под воздействием частоты 200 Гц, скорее всего искажения на частоте 200 Гц заметны на слух не будут из-за маскировки неискаженным сигналом НЧ головки, но на частотах более высоких, где излучение НЧ головки сильно ослаблено, искажения за счет нелинейного режима будут весьма заметны.

Effective piston area (S_d) – эффективная площадь диффузора; вычисляется как площадь окружности, диаметр которой включает диаметр диффузора и часть ширины подвеса. Этот параметр обычно имеется в справочных данных изготовителей. Эффективная площадь диффузора совместно с X_{max} характеризует способность динамика смещать объем воздуха в пределах линейного участка движения звуковой катушки. Смещаемый объем воздуха является важным предельным показателем низкочастотной головки, поскольку он определяет максимальное значение звукового давления, которое может обеспечить динамическая головка на низких частотах при нормированных искажениях.

Например, динамическая головка Peerless 850432 имеет линейно смещаемый объем 0,000441 куб. м, что позволяет получить на частоте 30 Гц амплитудное значение звукового давления 99,6 дБ на расстоянии 1 м.

Moving mass (M_{ms}) – подвижная масса динамической головки; включает массу диффузора, массу звуковой катушки, часть массы подвеса и присоединенную к диффузору массу воздуха. Без присоединенной массы воздуха подвижная масса обозначается M_{md} . Это полезно знать при использовании компьютерных программ, когда



при построении модели динамической головки неточность в указании массы приводит к дополнительной погрешности результатов расчета.

Suspension compliance (Cms) — гибкость подвеса. Cms показывает, насколько сместится диффузор при воздействии на него единичной силы, приложенной в направлении движения звуковой катушки. Являясь отношением смещения к силе, Cms измеряется в миллиметрах на ньютон.

В рабочем режиме динамической головки сила, прикладываемая к звуковой катушке, образуется в результате взаимодействия тока, протекающего через звуковую катушку с магнитным полем в зазоре. Это взаимодействие характеризуется параметром, который носит название «силовой фактор — Force factor (BL)». BL измеряется либо в ньютонах на ампер, показывая силу действующую на звуковую катушку, приведенную к единице тока, либо в тесла метрах, показывая произведение эффективной длины провода на индукцию в зазоре магнитной системы. Оба варианта равноценны, цифры при этом тоже совпадают.

Некоторые производители, например, Audax и Scaaning, в справочных данных приводят параметр под названием Acceleration factor (A) — фактор ускорения. Этот параметр является мерой ускорения, сообщаемого подвижной массе единицей тока в звуковой катушке, и вычисляется по формуле:

$$A = \frac{BL}{Mms},$$

размерность фактора ускорения $\frac{M}{\text{сек}^2 A}$.

Ускорение звуковой катушки, совершающей синусоидальные колебания, имеет тенденцию роста пропорционально квадрату частоты, если амплитуда колебаний остается постоянной. В связи с этим фактор ускорения НЧ, СЧ и ВЧ головок сильно отличается.

Например, НЧ головки диаметром 260 мм SESAS W26FX 001 и W26FX002 имеют фактор ускорения соответственно 180 и 236. НЧ головки W22NY 001 и H1288 имеют фактор ускорения 440 и 334, СЧ-НЧ головка H1215 — 480. Величина фактора ускорения среднечастотных головок диаметром 100 мм может лежать в пределах от 800 до 1500.

Для ВЧ головок требуется фактор ускорения существенно выше. Например, ВЧ головки Morel MDT30 и MDT 33 имеют фактор ус-

корения соответственно 7950 и 14 300. Величину фактора ускорения полезно учитывать при подборе комплекта динамиков для громкоговорителя. В двухполосных системах СЧ-НЧ головку приходится выбирать по совокупности параметров, при этом фактор ускорения не является приоритетным параметром. При выборе СЧ и ВЧ головок фактор ускорения играет более существенную роль. С увеличением фактора ускорения возрастает детальность звучания, в звуковой картине большого оркестра лучше дифференцируются отдельные инструменты.

Thiele-Small parameters (*T-S*) – параметры Тиле–Смолла. Группа параметров Тиле–Смолла обычно приводится в справочных данных и для расчета акустического оформления НЧ и СЧ головок.

Free air resonance (*Fs*) – резонансная частота динамической головки в свободном пространстве. Для НЧ головок *Fs* определяет частоту среза в нижней части звукового диапазона, которая может быть получена для данной головки в выбранном типе акустического оформления.

Equivalent volume (*Vas*) – объем, эквивалентный гибкости подвеса. Физический смысл этого параметра легче понять, если представить себе поршень с площадью *Sd*, который может двигаться, сжимая воздух в цилиндре. Под действием единичной силы смещение поршня будет зависеть от объема воздуха в цилиндре. С увеличением объема воздуха в цилиндре смещение поршня под действием единичной силы будет возрастать. Если объем воздуха подобрать так, чтобы смещение поршня от единичной силы было бы равно смещению диффузора от этой же силы, то этот подобранный объем и есть *Vas*. Эквивалентный объем пропорционален площади диффузора и гибкости подвеса. При прочих равных условиях объем акустического оформления динамической головки типа «закрытый корпус» или фазоинвертор пропорционален *Vas*.

Mechanical Q factor (*Qms*) – механическая добротность. *Qms* характеризует потери энергии в динамической головке, как в механической колебательной системе. Механические колебания на резонансной частоте динамической головки связаны с переходом кинетической энергии подвижной массы в потенциальную энергию деформированного подвеса и наоборот. Колебательный процесс сопровождается потерями энергии на трение в подвесе и рядом других потерь, в том числе и на излучение звука. Механическая добротность есть отношение запасенной энергии (реактивной) к энергии рассеянной (активной). Отношение берется за один период колебаний. Для многих современных НЧ динамических голо-

вок это отношение, т.е. Q_{ms} , лежит в пределах от 2 до 10. Добротность, как отношение двух величин с одинаковой размерностью, является безразмерной величиной.

Electrical Q factor (Q_{es}) – электрическая добротность. Этот параметр характеризует потери энергии при колебательном процессе, которые имеют место за счет протекания тока в цепи звуковой катушки. При движении звуковой катушки в магнитном поле на ее выводах возникает ЭДС. Если выводы разомкнуты, ЭДС не оказывает влияния на потери энергии в колебательном процессе. Ситуация меняется, если выводы звуковой катушки замкнуты, в катушке по воздействию ЭДС протекает ток. Ток, протекающий через катушку, создает магнитное поле, взаимодействующее с магнитным полем в зазоре.

Результатом взаимодействия является сила, тормозящая движение звуковой катушки. Энергия, которая тратится на торможение движения, в конечном счете рассеивается в виде выделения тепла от протекания тока. Происходит нагрев звуковой катушки. Q_{es} для динамических головок, пригодных для работы в закрытом акустическом оформлении или в фазоинверторе, лежит в пределах 0,25–0,8. По определению, Q_{es} предполагает нулевое сопротивление в цепи звуковой катушки. Включение активного сопротивления в цепь звуковой катушки приводит к увеличению Q_{es} . Нагрев звуковой катушки от мощности входного сигнала приводит к увеличению активного сопротивления и, соответственно, к увеличению электрической добротности головки.

Total Q factor (Q_{ts}) – добротность. Полная добротность характеризует суммарные потери в колебательной системе, вызванные как механическими, так и электрическими процессами. Полная добротность вычисляется по формуле:

$$Q_{ts} = \frac{Q_{ms} Q_{es}}{Q_{ms} + Q_{es}}.$$

1.2. Выбор динамических головок для любительского громкоговорителя

Разработка и изготовление громкоговорителей в любительских условиях представляет собой интересное и увлекательное занятие. Первые шаги на этом пути нередко начинаются с повторения готовых конструкций, но, как мне кажется, в любом случае у любителя присутствует желание построить громкоговоритель, звучание

которого в максимальной степени отвечало бы его индивидуальным предпочтениям. Индивидуальные предпочтения любителей характеризуются весьма широким разнообразием как специфических требований к особенностям звучания, так и способов описания этих требований, которые в большинстве случаев не имеют ничего общего с инженерно-технической терминологией. Такая ситуация вполне понятна, поскольку прослушивание музыки связано с эмоциональным восприятием, индивидуальные особенности которого предмет весьма деликатный и плохо поддается формализации.

Возможно, что желание построить собственный мостик между эмоциональным миром музыки и техническими средствами системы звуковоспроизведения приводит любителей на путь создания собственными силами усилителей, громкоговорителей и других аудиокомпонентов. Создание громкоговорителей — это движение по пути достижения заведомо недостижимого идеала. Трудно иначе оценить стремление заставить один или несколько кусочков бумаги (кевлара, полипропилена, фольги) звучать, как симфонический оркестр. Тот факт, что многим взыскательным меломанам и аудиофилам удается получать удовлетворение от прослушивания музыки в домашних условиях, является, я полагаю, результатом создания музыкальной иллюзии, адекватной индивидуальным предпочтениям. В связи с этим для выбора динамических головок весьма желательно иметь представление о характере их звучания. Многие модели динамических головок Seas, Morel, Scanspeak, Vifa используются в промышленных громкоговорителях Sonus Faber, Proac, BC Acoustic, Opera и других производителей. Прослушивание динамических головок в промышленных громкоговорителях позволяет получить весьма ценную информацию в виде сущностного опыта, что для многих любителей значительно важнее при выборе комплекта динамических головок, чем инженерный анализ параметров.

К сожалению, большинство компаний, которые разрабатывают и изготавливают динамические головки для собственного производства громкоговорителей, отдельно динамические головки не продают.

Возможности приобретения любителями динамических головок ограничены, с одной стороны, номенклатурой компаний, которые производят динамики для продажи, с другой стороны, наличием в России дистрибьюторов или дилеров этих компаний, но последнее ограничение постепенно устраняется по мере освоения

любителями платежей через Интернет. На российском рынке самую широкую номенклатуру динамиков и других комплектующих изделий для изготовления громкоговорителей в любительских условиях предлагает компания «Аудиомания». Сайт «Аудиомании» позволяет получить исчерпывающую информацию по всем вопросам, связанным с приобретением комплектующих изделий, как в части цен, так и технических характеристик.

Сайт компания «Аркада» предлагает любителям динамики Scanspeak, Eton, Peerless, Seas, Morel, Fountek и конденсаторы Mundorf. Московское представительство компании «Аркада» возглавляет к.т.н. Г. Крылов, который сумел не только организовать оперативное обеспечение любителей динамическими головками и другими комплектующими для громкоговорителей, но и разработал немало интересных моделей любительских громкоговорителей. Компания АВ Центр поставляет на российский рынок динамики и комплектующие изделия немецкой фирмы Visaton. Фирма Visaton разработала множество конструкций громкоговорителей, ориентированных на изготовление в любительских условиях, информация по которым помещена на сайте компании.

Многие любители из России приобретают динамики и комплектующие изделия для построения громкоговорителей в США у компаний Madisound и Parts Express, считая цены этих компаний более привлекательными, чем российских, несмотря на расходы по доставке. Не остаются без внимания и европейские интернет-магазины.

При выборе динамических головок можно воспользоваться сравнительным анализом технических характеристик. К сожалению, в технических характеристиках не содержится информация об окраске и характере звучания динамических головок, а сведений о материале диффузора, которые имеются в справочных данных, для выяснения этого важного вопроса явно недостаточно. Несмотря на все недостатки анализа технических характеристик в сравнении с сущностным опытом, инженерный подход представляет определенный интерес, поскольку позволяет, по крайней мере, выявить и отбросить заведомо неприемлемые варианты.

В любительской практике двухполосные системы с двумя динамиками, как правило, являются первыми конструкциями, с которых все начинается. Выбор НЧ-СЧ динамика для двухполосного громкоговорителя связан с поиском компромисса между качеством воспроизведения низких и средних частот. Для воспроизведения низких частот желательно иметь более низкую резонансную час-

тоту F_s и по возможности большой линейный участок хода звуковой катушки X_{max} . Качественное воспроизведение средних частот требует снижения подвижной массы M_{ms} и снижения величины индуктивности звуковой катушки L_{vc} . Параметры динамика взаимосвязаны так, что улучшение одних неизбежно приводит к ухудшению других. Например, уменьшение подвижной массы приводит к повышению резонансной частоты. В табл. 1 приведены параметры десяти динамиков, используемых в популярных любительских разработках. Цены в таблице в долларах США взяты с сайтов компаний Madisound и Parts Express.

Таблица 1

| Тип динамика | Цена | F_s | SPL | L_{vc} | M_{ms} | BL | BL/M_{ms} | Q_{ts} | V_{as} | X_{max} |
|--------------------------|------|-------|-------|----------|----------|------|-------------|----------|----------|-----------|
| Dayton RS180S | 35 | 43,7 | 87,6 | 0,45 | 13,5 | 6,42 | 475 | 0,45 | 21,5 | 6,0 |
| SB Acoustics SB17NRX35-8 | 62,4 | 32 | 89,0 | 0,15 | 11,0 | 5,9 | 536 | 0,34 | 44,5 | 5,5 |
| Seas H1215 | 86,5 | 35 | 88,5 | 1,2 | 14 | 7,2 | 514 | 0,31 | 33 | 6,0 |
| Seas H1456 | 92 | 37 | 88,5 | 0,67 | 14 | 7,2 | 514 | 0,32 | 32 | 6,0 |
| Wavacor WF182BD04 | 130 | 34 | 88,0 | 0,28 | 16,1 | 5,27 | 527 | 0,28 | 32 | 5,5 |
| Scanspeak 18W/8535 | 182 | 26 | 86,5 | 0,30 | 15,5 | 5,7 | 367 | 0,38 | 72,0 | 5,0 |
| Scanspeak 18W/8542 | 194 | 30 | 89 | 0,20 | 15 | 7,8 | 520 | 0,22 | 49 | 6,5 |
| Seas Excel E0042 | 220 | 40 | 87,5 | 0,43 | 13,7 | 7,0 | 510 | 0,34 | 24 | 7,0 |
| Scanspeak 18W/8531 | 237 | 28 | 87,0 | 0,35 | 17,5 | 6,8 | 388 | 0,36 | 58,2 | 6,5 |
| Morel SCW636 | 328 | 40 | 87 | 0,29 | 16 | 7,2 | 450 | 0,29 | 18,5 | 5,5 |

В табл. 1 используются следующие обозначения:

F_s – резонансная частота в Гц,

SPL – характеристическая чувствительность в дБ на расстоянии 1 м при мощности 1 Вт,

L_{vc} – индуктивность звуковой катушки в мГн, измеренная на частоте 1 кГц,

M_{ms} – подвижная масса в г,

BL/M_{ms} – фактор ускорения в М/с² А,

Q_{ts} – полная добротность,