

Акустические системы с повышенным КПД.

На этот раз мы знакомим Вас с конструкцией АС закрытого типа, разработанной нашим автором, которая позволяет более эффективно использовать головки громкоговорителей в области низких частот.

Уровень звукового давления, развиваемого АС, определяется ее чувствительностью (КПД) и подводимой электрической мощностью:

$$L=S+20\cdot 1g\sqrt{P}=S+10\cdot 1g\cdot P,$$

где: L - уровень звукового давления, дБ, относительно порога слухового восприятия - 2×10^5 н/м²; S - характеристическая чувствительность (звуковое давление, развиваемое АС на расстоянии 1 м от рабочего центра при подводимой электрической мощности, равной 1 Вт, выраженное в дБ*√Вт); P - подводимая мощность, Вт.

Основная масса отечественных АС имеет чувствительность около 86 дБ*√Вт ("Амфитон 50АС-022", "35АС-018", "25АС-027", "S-90" и др.) и лишь некоторые - "S-90В", "S-90D", "S-100В", "Кливер 75АС-001" - 89-91 дБ*√Вт. При большей (на 3-5 дБ) чувствительности требуется в 2-3 раза меньшая мощность для создания такого же уровня звукового давления, или уровень давления будет на столько же дБ выше при равной подводимой к АС мощности. Например, для получения уровня звукового давления - 100 дБ к "35АС-018" нужно подвести 25 Вт, к "S-90В" - 12,5 Вт, а к "75АС-001" - всего 8 Вт электрической мощности. При конструировании АС представляет интерес применение головок громкоговорителей с высоким КПД и чувствительностью - 90 дБ*√Вт и более, таких как 6ГД-2, 10ГДШ-1, 4А-32, 100ГДН-3 и др.

Головка 6ГД-2, а до нее головка 5ГД-3, разработанные на Рижском радиозаводе (РРЗ) более 35 лет назад, применялись в АС ламповых радиол "Симфония". Многие любители звука отмечают их приятное звучание и высокую "отдачу", однако в области самых низких частот ощущается явный спад.

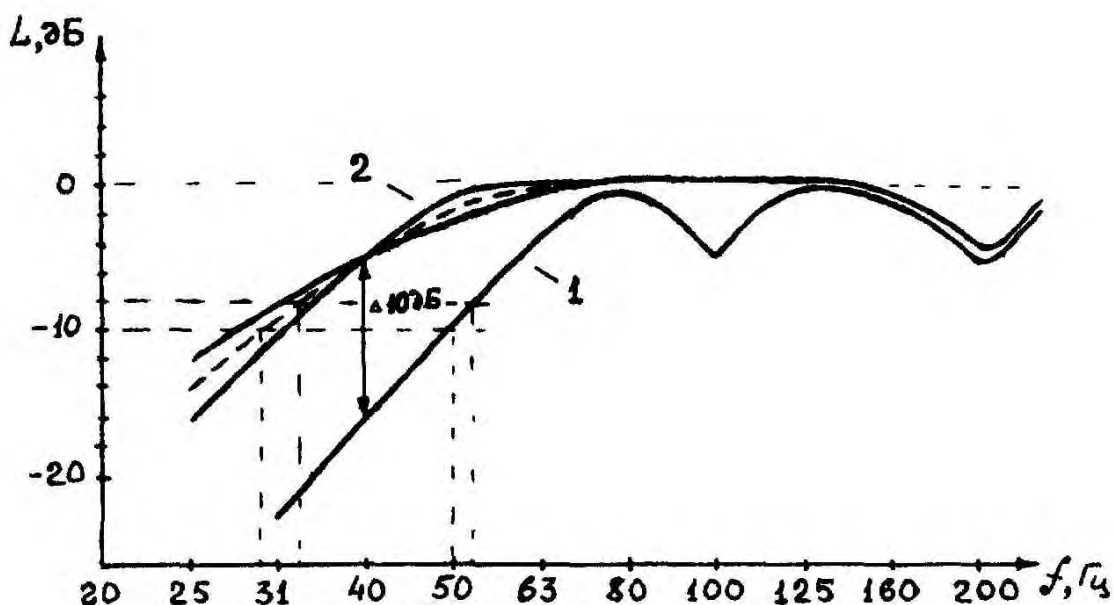


рис. 1

Усредненная АЧХ нескольких АС "Симфония" в диапазоне частот ниже 250 Гц показана на **рис.1** (кривая 1). Измерения проводились в "ближнем поле" с использованием микрофона МКЭ-3 с неравномерностью собственной АЧХ $\pm 0,5$ дБ в диапазоне частот 20-700 Гц. Из графика видно, что АЧХ АС имеет крутой спад ниже 70 Гц, минимумы на частоте 100 Гц (около 4-5 дБ) и в области частот 180-250 Гц (около 3-4 дБ). Анализ конструкции АС "Симфония" показал, что отдельный объем в нижней части корпуса с двумя отверстиями диаметрами 23 и 31 мм в горизонтальной перегородке, часто ошибочно принимаемый за конструкцию фазоинвертора (ФИ), на самом деле является низкодобротным двухчастотным режекторным акустическим фильтром (резонаторы Гельмгольца), настроенным на частоты 50 и 100 Гц для частичного подавления 1-й и 2-й гармоник сетевой частоты лампового усилительного тракта. Кроме того, такая конструкция ликвидирует неизбежный "горб" на АЧХ в области 60-80 Гц, образующийся из-за высокой (более единицы) добротности комплекса "усилитель-АС", вызванной малой гибкостью воздуха в объеме АС ($V = 60$ л), далеко не нулевым выходным импедансом УМ, а также активным сопротивлением соединительных проводов АС и разделительного фильтра НЧ, включенных последовательно с головкой. Спад АЧХ в области 180-250 Гц вызван особенностью конструкции БГД-2. Из-за недостаточной жесткости диффузоров "поршневой" диапазон работы головок (диффузор колеблется, как единое целое) простирается лишь до частот 140-160 Гц, а дальше начинается область изломанной АЧХ, типичной для этого типа головок. АЧХ АС закрытого типа в "поршневом" диапазоне горизонтальна на частотах выше резонансной (f_p), ниже f_p имеет спад около 12 дБ/окт, а на самой резонансной частоте имеет коэффициент передачи (относительно уровня горизонтального участка), численно равный полной добротности АС - Q_p на f_p .

Таблица 1.

№	$V = \infty$				ФИ	$V = 100\text{л}$	
	f_p , Гц	Q_p	$C \times 10^3$ м/н	$V_{\text{э}}$, л	$V_{\text{ф}}$, л	f_p , Гц	Q_p
1	25,5	0,35	2,43	165	90	41,3	0,56
2	31,5	0,38	1,5	105	75	45	0,57
3	35	0,48	1,46	100	170	49	0,7
4	39	0,6	1,24	80	260	52,6	0,81
5	40	0,65	1,02	70	300	52	0,86
6	42,5	0,75	0,92	60	200	53,1	0,93
7	44,5	0,78	0,73	50	220	54,3	0,95

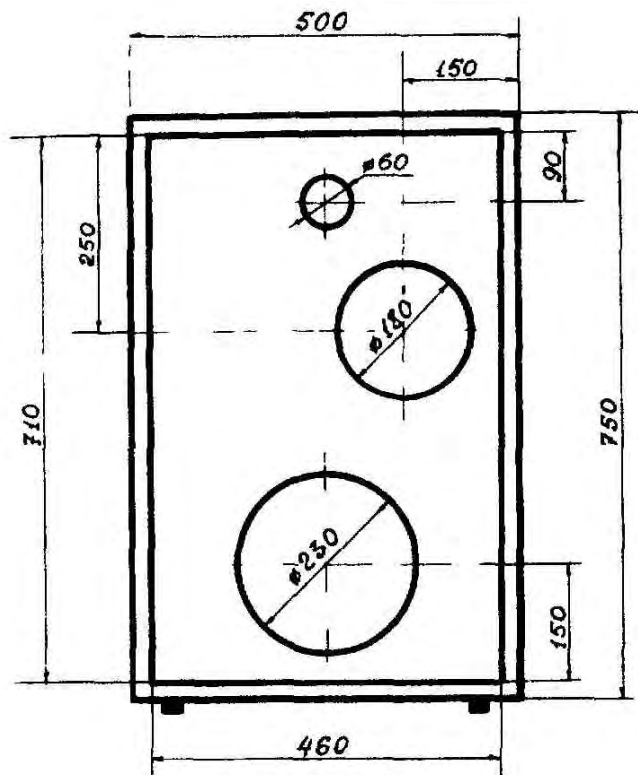


рис. 2

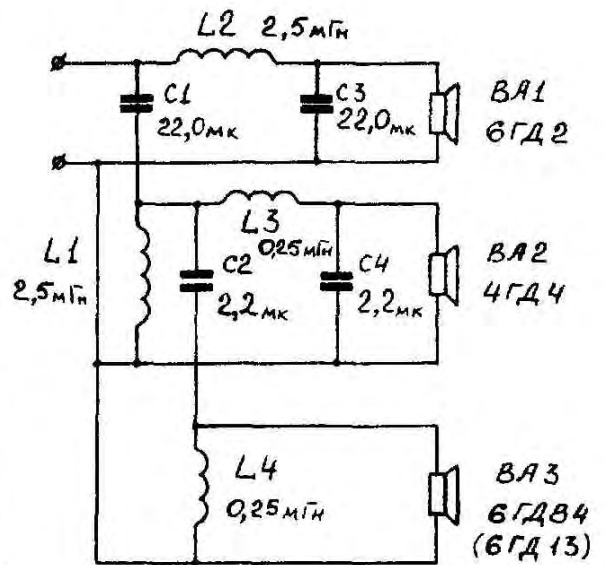


рис. 3

Когда $Q_p < 1$, АЧХ "гладкая", при $Q_p > 1$, на АЧХ имеется "горб" на f_p . Если значение Q_p близко к единице и лежит в пределах 0,95 - 1,0; то наблюдается небольшой подъем АЧХ (0,5-1,3 дБ) в области частот выше f_p . Вышесказанное относится к случаю, когда внутри АС отсутствует звукопоглощающий материал (ЗПМ). Для проектирования улучшенного акустического оформления были проведены измерения основных электроакустических параметров семи экземпляров 6ГД-2: резонансной частоты f_p , полной добротности Q_p , гибкости подвижной системы S и эквивалентного объема $V_э$. Полученные значения приведены в **табл.1**, колонки " $V = \infty$ ". Значения f_p и Q_p измерены по методике, приведенной в [1]; S и $V_э$ - по методике, приведенной в [2, 3]. Затем по методикам, приведенным в [2, 4, 6, 7], были определены объемы фазоинверторов для получения максимально "гладкой" АЧХ, которые приведены в колонке "ФИ", **табл.1**. Как видно из **табл.1**, параметры головок имеют значительный разброс. В очень редких случаях любители звука могут позволить себе АС объемом 200-300 л каждая, а для конструкции ФИ с приемлемым объемом требуется специальный отбор головок или применение акустического демпфирования для уменьшения Q_p , что снижает КПД. Таким образом, конструкцию акустического оформления для 6ГД-2 в виде фазоинвертора нельзя считать оптимальной для повторения. Поэтому было решено выполнить АС в виде закрытого корпуса такого объема, чтобы полная добротность системы не превышала единицы. Такому условию в подавляющем большинстве случаев удовлетворяет $V = 100$ л. Такой же объем имеют промышленные АС "100АС-063" и "50АС-061М". При размещении головки громкоговорителя в закрытом объеме значения f_p и Q_p увеличиваются. Их можно определить по формулам:

$$f'_p = f_p \sqrt{1 + V_э/V}$$

$$\text{и } Q'_p = Q_p \sqrt{1 + V_э/V},$$

где: f'_p и Q'_p - новые значения параметров головки в объеме V .

В колонках " $V = 100$ л" **табл.1** приведены расчетные значения f_p и Q_p , и видно, что разброс параметров значительно уменьшился, а максимальная добротность АС меньше единицы. Измеренные значения в реальных конструкциях оказались на 5-10% меньше из-за наличия рыхлого звукопоглощающего материала (хлопчатобумажная вата) внутри оформления, который служит не только для уменьшения паразитных резонансных явлений в области средних и высоких частот, но и увеличивает гибкость воздуха внутри корпуса АС, что эквивалентно увеличению объема, а также повышает активные акустические потери. Для того чтобы эти потери не были чрезмерными, количество ЗПМ не должно превышать 10-15 г/л (1 - 1,5 кг на 100 л).

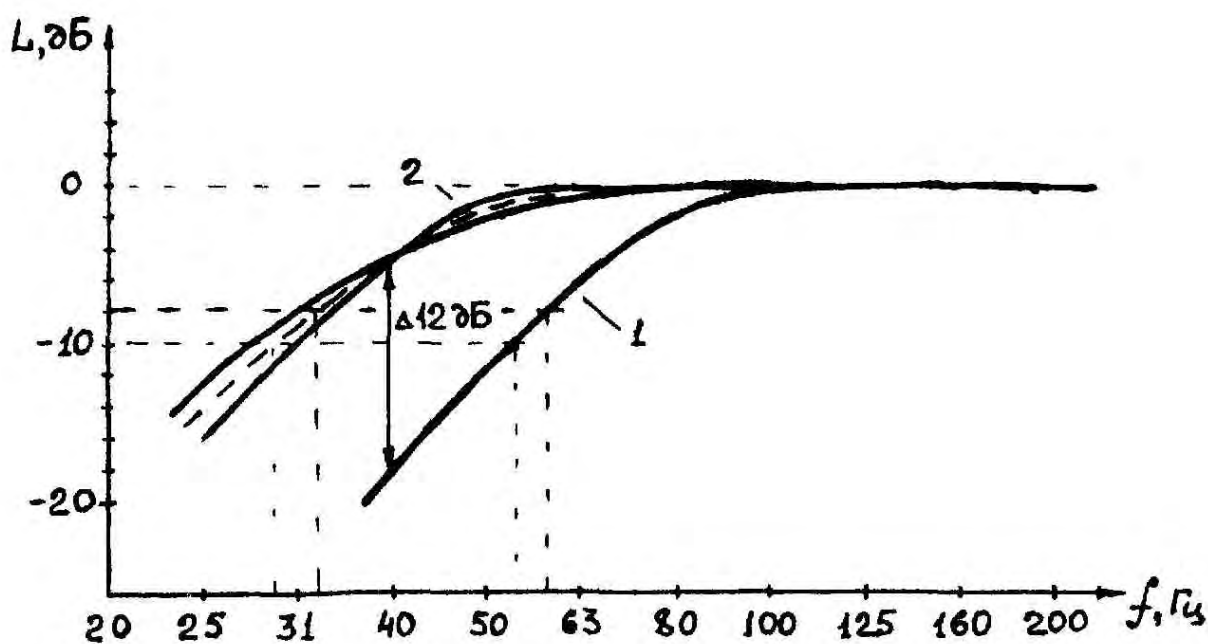


рис. 4

Вариант размещения головок в трехполосной АС с внутренними размерами 710x460x320 мм и с использованием 6ГД-2 на НЧ показан на **рис.2**. Корпус можно выполнить из фанеры или ДСП толщиной 18-20 мм. Головка СЧ-4ГД-4 закрыта с внутренней стороны пластмассовым колпаком ($V = 4$ л) с ЗПМ. Электрическая схема разделительных фильтров показана на **рис.3**, в качестве СЧ головки можно применить недефицитную 5ГДШ-1 (3ГД-38Е), включив последовательно с ней резистор $R = 2,2$ Ом (5 Вт). Катушки $L1$ и $L2$ фильтров намотаны проводом ПЭВ-1 диам. 1,3 мм на деревянных каркасах диам. 85 мм с высотой намотки 20 мм, количество витков 150; катушки $L3$ и $L4$ - проводом ПЭВ-1 диам. 1,0 мм на каркасах диам. 14 мм с высотой намотки 15 мм, количество витков 97. Конденсаторы $C1-C4$ типов К73-16, К73-17 на напряжение 63 В или других типов с отклонением 5% от номинала. Можно применить схему фильтров, приведенную в [8].

Параметры разработанной АС

Рабочий диапазон частот.....	35-20000 Гц
Уровень характеристической чувствительности.....	93 дБ/Вт
Номинальное электрическое сопротивление	8 Ом
Предельная шумовая (паспортная) мощность.....	16 Вт
Максимальный уровень звукового давления на расстояния 1 м.....	105 дБ

Для сравнения, чтобы получить уровень звукового давления, равный 105 дБ, к АС "S-90" нужно подвести около 90 Вт электрической мощности. Семейство АЧХ с использованием различных экземпляров БГД-2 в НЧ диапазоне показано на рис.1 (кривые 2). Как видно, разброс АЧХ в области частот выше 30 Гц и до конца "поршневого" диапазона оказался менее 2 дБ, что свидетельствует о хорошей повторяемости параметров в предложенном акустическом оформлении. Выигрыш по звуковому давлению в области самых низких частот (по сравнению с "родным" применением головок в АС "Симфония") не менее 10 дБ, а расширение рабочего диапазона по уровню - 8...-10 дБ от величины среднего звукового давления - более чем на 2/3 октавы вниз.

Головка громкоговорителя 10ГДШ-1 (10ГДЗ6К) разработана более 20 лет назад во ВНИИРПА им.А.С.Попова и многие годы выпускается заводом "Акустика" в г. Знаменке (Украина). Она предназначена для применения в однополосных АС, которые дешевле и проще двух- и трехполосных и имеют меньшие фазовые искажения из-за отсутствия разделительных фильтров. Головка 10ГДШ-1 одна способна воспроизвести практически весь звуковой диапазон частот. Эффективная работа в области НЧ обеспечивается применением специального гибкого подвеса из пенополиуретана и жесткого диффузора с криволинейной образующей, а в области ВЧ - вторым диффузором. Применение этих головок в малогабаритных АС типа 15АС-223 и им подобным с внутренним объемом около 14 л не позволяет в полной мере реализовать возможности 10ГДШ-1 в области самых низких частот. На **рис.4** (кривая 1) изображена типовая АЧХ 15АС-223 в области частот до 250 Гц. На частотах выше 80 Гц АЧХ практически линейна ("поршневой" диапазон данного типа головок простирается до 400-500 Гц и выше), ниже частоты 75 Гц (-3 дБ) - крутой спад, достигающий -12 дБ на частоте 50 Гц. В **табл.2** приведены параметры нескольких головок 10ГДШ-1 (колонки "V = ∞"), а также головок в корпусе объемом 60 л, вычисленном из условия получения полной добротности системы меньше единицы (колонки "V = 60 л").

Таблица 2.

№ головок	V = ∞				V = 60 л	
	f _p , Гц	Q _п	C x 10 ⁻³ м/н	V _э , л	f'p, Гц	Q'п
1	40	0,67	1,1	22,5	54,5	0,9
2	44	0,77	0,7	15	49,5	0,86
3	45	0,75	0,75	16	50,4	0,84
4	50,5	0,8	0,9	19	58	0,92

Разброс параметров оказался меньше, чем у БГД-2, значения Q_п ("V = ∞") в среднем находятся в пределах 0,7-0,8, т.е. вычисленный объем АС в 3-4 раза больше V_э. В качестве корпусов были использованы ящики от АС "Симфония" с подходящим объемом (V = 60 л), внутренними размерами 710x325x260 мм и удаленной перегородкой с отверстиями резонаторов. Количество использованного ЗПМ 0,6-1 кг на весь объем. Размещение головки на передней панели показано на **рис.5**. На **рис.4** (кривые 2) приведено семейство АЧХ нескольких АС. Разброс в области частот выше 30 Гц менее 2 дБ (как и в предыдущей кон-

струкции), выигрыш по звуковому давлению в области самых низких частот более 12 дБ, а расширение рабочего диапазона по уровню - 8...-10 дБ почти на октаву (в два раза) вниз.

Параметры АС с использованием 10ГДШ-1

Рабочий диапазон частот.....	31,5-20000 Гц
Уровень характеристической чувствительности	90 дБ/Вт
Номинальное электрическое сопротивление.....	4 Ом
Предельная шумовая (паспортная) мощность.....	10 Вт
Максимальный уровень звукового давления на расстоянии 1 м....	100 дБ

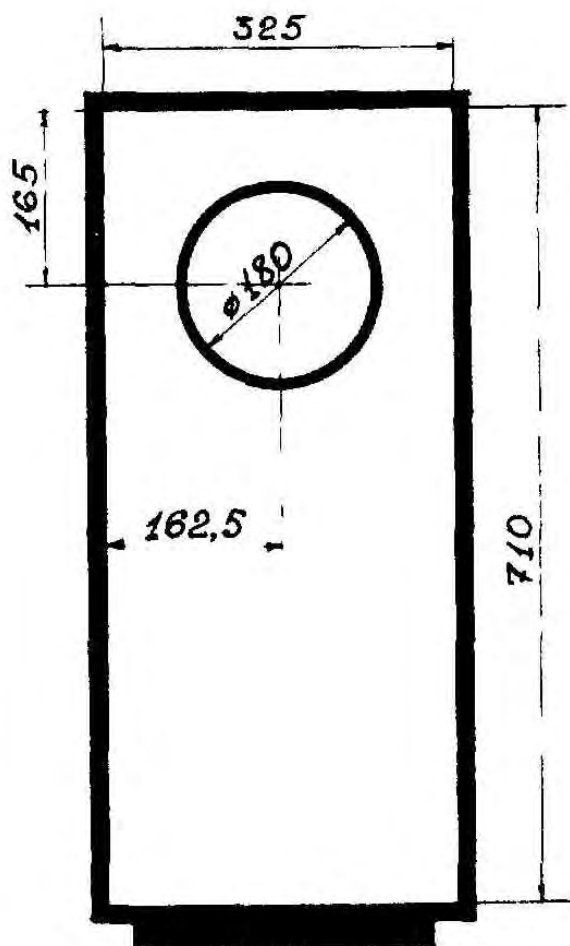


рис. 5

Головки 10ГДШ-1 имеют хороший запас по линейному перемещению подвижной системы. Радиолюбителям, имеющим опыт ремонта головок громкоговорителей, можно рекомендовать перемотку звуковых катушек термостойким проводом ПЭТ-155 на каркасах из тонкого (расслоенного) стеклотекстолита, а также замену полиуретанового подвеса диффузора резиновым, что позволит увеличить пиковую мощность до 30 Вт, предельную шумовую - до 20 Вт, а максимальный уровень звукового давления - до 103 дБ. Для уменьшения объема АС можно рассчитать акустическое оформление в виде ФИ по методикам, приведенным в [6, 7] для $Q_{п} = 0,707$. Ориентировочные результаты: $V_{ф} = 40 - 45$ л; диаметр туннеля - не менее 60 мм, длина его определяется частотой настройки ФИ $f = 25 - 30$ Гц. Разработанные конструкции подтверждают возможность более эффективного использования головок громкоговорителей в области самых низких частот (ниже резонансной частоты АС) даже в простом акустическом оформлении - закрытой АС.

Литература:

1. Алдошина И.А. и др. Бытовая электроакустическая аппаратура. Справ.-М.: КУБК-а, 1996.
2. Акустика. Справ./ Под ред. М- А. Сапожково.-2-е изд.-М.: Радио и связь, 1989.
3. Эфрусси М. Расчет громкоговорителей//Радио -1977.-№3-4.
4. Эфрусси М. Еще о расчете и изготовлении громкого-ворителя//Радио. - 1984.-№10,
5. Салтыков О. Расчет характеристик громкоговорите-ля//Радио.- 1981.-№10.
6. Терещук Р.М. и др. Полупроводниковые приемно-уси-лительные устройства. Справ,-К.: Наук. думка, 1989.
7. Иоффе В.К., Лизунков М.В. Бытовые акустические си-стемы.-М.: Радио и связь, 1998.
8. Дли Ю, Трехполосный громкоговоритель//Радио.-1989-№3.

П. А. Борщ, г. Киев

РАДИОАМАТОР № 9, 2001