

АКУСТИКА ДЛЯ УСИЛИТЕЛЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

*Вариант доработки акустики типа «25АС»
для усилителя мощностью 6-10 Вт.*

1. ПРОБЛЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Усилители мощности (УМ) в бытовых стереоагрегатах имеют мощности, как правило, от 20 до 100 Вт. Часто существует такое мнение, что чем больше мощность усилителя, тем «круче» Клиент! Понятно, что у некоторых граждан такие понятия, как «корректное общение» с соседями, полностью отсутствует. Достаточно часто можно видеть, как музыку включают «на всю катушку», или как иногда акустические колонки выставляют в окошки зданий и на балконы, чтобы окружающие тоже могли слушать музыку – сам такое видел много раз...

Однако имеется некоторый процент (достаточно значительный) агрегатов с малой мощностью – от 6 до 10 Вт. Это вовсе не означает, что данные устройства низкого качества. Среди усилителей малой мощности есть усилители супервысокого класса, например, ламповые усилители класса Hi-End, и стоят такие усилители очень дорого (примерно 1.000 \$ и более) – но это «особая» аппаратура.

Тем не менее, в эксплуатации у наших радиолюбителей находится большое количество бытовых стереоустановок небольшой мощности, причем эти установки простые и дешевые. Как правило, такие устройства содержат транзисторные усилители мощности.

ПОСТАРАМЕМСЯ ОПТИМИЗИРОВАТЬ «ПРОСТУЮ БЫТОВУЮ АКУСТИКУ» под недорогой транзисторный УМ малой мощности с целью получения максимально бо'льшего звукового давления, а также по возможности с максимально низкой частотой среза (около 40 Гц) – **это и есть, своего рода, техническое задание на проект.**

В качестве исходного примера типового устройства с простым усилителем возьмем радиолу «Кантата-205 стерео», см. рис. 1. Усилитель мощности радиолы (транзисторный) имеет номинальную мощность 6 Вт (и максимальную – 11 Вт) на канал на нагрузке с сопротивлением 4 Ω . Радиола комплектуется малогабаритными колонками типа «15АС-220», которые имеют чувствительность 84 db и диапазон частот от 60 Гц до 20 кГц. Характеристики этой радиолы будут взяты за исходную точку.



Рис. 1. Внешний вид радиолы «Кантата-205».

Вообще то, именно '**Мощность УМ**' здесь не имеет решающего значения! Для акустики (динамика или акустического агрегата) эффективность определяется звуковым давлением, которое развивается при подводимой мощности к акустике. А звуковое

давление громкоговорителя, в конечном счете, зависит как от подводимой мощности, так и от характеристической чувствительности громкоговорителя (некий аналог КПД).

***Характеристическая чувствительность** – это среднее звуковое давление, развиваемое громкоговорителем в заданном диапазоне частот на рабочей оси, приведенное к расстоянию 1 метр и подводимой мощности 1 Вт, выраженное в децибелах (как правило, этот параметр указывается в паспортах на динамики или акустические системы).*

Если чувствительность АС составляет 84 db, то при подводимой мощности 6 Вт звуковое давление на расстоянии 1 м будет составлять :

$$N_p = S_L + 10 \lg(P_p) = 84 + 10 \lg(6) = 84 + 7,8 \approx 92(\text{db}) \quad (1)$$

где : N_p (db) – звуковое давление при расчетной мощности, S_L (db) – звуковое давление при подводимой мощности 1 вт (чувствительность), P_p (вт) – расчетная мощность (была взята номинальная мощность радиолы «Кантата-205»).

Совершенно очевидно, что для усилителей с малой мощностью требуется ОСОБАЯ акустика, а именно, акустика с высокой чувствительностью (или с высоким КПД).

Для справки приведем чувствительности и другие параметры некоторых бытовых акустических систем (АС) отечественного производства, см. табл. № 1 :

Таблица № 1

Параметры бытовых АС отечественного производства

Марка АС	Чувствит. (db)	Мощность ^{*)} (Вт)	Диапазон (Гц)	Сопротивление (Ω)	Размер басовика ^{**)}	N_n ^{****)} (db)
15АС-220	84	15	60-20.000	4	5"	95,5
15АС-109	85	15	50-25.000	4, 8 ^{***)}	5"	96,5
S-30, S-30B ^{****)}	84	10	60-18.000	4, 8 ^{***)}	5"	94
10МАС-1М	87	10	60-18.000	8	8"	97
25АС (S-50) ^{****)}	84	25	40-20.000	4, 8 ^{***)}	8"	98
35АС-1 (S-90) ^{****)}	86	35	30-25.000	4, 8 ^{***)}	10"	101
Кливер 75АС-001 (150АС-001, 150АС-009) ^{****)}	90	75	30-25.000	8	12"	108,5

^{*)} – приведена так называемая «номинальная» мощность АС;

^{**)} – габаритный размер низкочастотного динамика (басовика) указан в дюймах;

^{***)} – существуют модификации АС на сопротивление 4Ω и 8Ω;

^{****)} – указано обозначение АС по новому ГОСТ'у;

^{*****)} – звуковое давление при подводимой мощности к громкоговорителю, равной номинальной мощности АС, выраженное в [db] и рассчитанное по формуле (1).

Конечно же АКУСТИКА, способная справиться со «сложными условиями», т.е. с низкой мощностью УМ, существует! Я имею в виду акустику, построенную на легендарных низкочастотных головках 6ГД-2 или 4ГД-5 Рижского радиозавода, чувствительность головок 93 db при сопротивлении 8 Ω. Но эти колонки будут иметь весьма внушительные габариты (объемы ящиков около 50-150 литров)!

Кроме этого, есть еще вариант применения отечественных эстрадных КИНАП'овских динамиков типа 4А-32 (и т.п.), которые имеют чувствительность более 95 db, и вполне подойдут для данного случая. Но и в этом случае акустика получается очень больших габаритов! Объемы ящиков при применении головок типа 4А-32 будут 80 литров и более.

Тем не менее, именно так и поступают владельцы дорогих усилителей класса Hi-End с небольшой мощностью – применяют акустику очень высокого класса с высокой чувствительностью. В Интернете можно найти много фотографий элитных АС шикарного вида...

К сожалению, в подавляющем большинстве, владельцы бытовых акустических агрегатов обладают простыми и дешевыми аппаратами, и у них имеется естественное желание улучшить качество звучания своей «простенькой» акустики! **Иначе говоря – усилители маломощные, ящики маленькие, а хочется, чтобы погромче и басов побольше!** Именно для этой категории страждущих я и постараюсь придумать что-нибудь обнадеживающее («малобюджетное», или недорогое, однако, трудоемкое, т.к. потребует серьезной доработки динамика).

Когда сталкиваешься с подобной системой («Кантата-205»), то самое первое, что приходит в голову, это заменить колонки «15АС-220» на «15АС-109», см. рис. 2. Последние колонки «построены» на тех же низкочастотных динамиках (15ГД-14-50 или по новому ГОСТу 25ГДН-3-4), но имеют более мощные высокочастотные динамики (10ГДВ-2-16), а также имеют увеличенный объем ящика, что обеспечивает нижнюю граничную частоту 50 Гц (у 15АС-220 – 60 Гц). Выигрыш, естественно, получается, но значительного эффекта нет...



Рис. 2. Внешний вид колонок «15АС-220» (слева) и «15АС-109» (справа).

Чтобы грамотно оптимизировать ‘параметры задачи’ первоначально нужно «разобраться» с низкочастотным динамиком. Каким же он должен быть? Для воспроизведения басов НЧ-динамик должен привести в движение большой объем воздуха, и чем больше этот объем, тем мощнее будут басы, и тем ниже будет нижняя граница частотного диапазона. Эти характеристики зависят, в первую очередь, от размера динамика и от осевого хода диффузора динамика. В первом приближении, нижнюю границу диапазона АС можно «связать» с габаритом НЧ-динамика (конечно, это не очень точно, но близко к истине). Целесообразно привести следующие ориентировочные данные, см. табл. № 2.

Таблица № 2

Приблизительная зависимость частоты среза АС от габарита НЧ-динамика

<p>динамик размером 5” (Ø125 мм) позволяет обеспечить нижнюю границу АС 50-60 Гц, динамик размером 8” (Ø200 мм) может обеспечить нижнюю границу 35-55 Гц, динамик размером 10” (Ø250 мм) может обеспечить нижнюю границу 25-40 Гц, динамик размером 12” (Ø300 мм) может обеспечить нижнюю границу 20-30 Гц.</p>
--

Очевидно также, что габариты ящика связаны с габаритом НЧ-динамика. Чем больше динамик, тем, как правило, больше и габарит ящика. Это определяется многими параметрами, в т.ч. отношением (V_{as}/V) и Q_t – последнее, скорее, для специалистов. В итоге получается уже известная истина – чем больше нужно басов, тем больше нужен и объем ящика!

Наверное, можно сказать, что нижняя граница диапазона АС, равная ‘40 Гц’, является неким эталоном (или даже «рубиконом»). Так, если послушать музыку с хорошим уровнем басов на колонках с частотой среза 60 Гц, а потом послушать ту же музыку на колонках с

частотой среза 40 Гц, то разница будет сразу очевидна! При прослушивании элементарно появятся «новые звуки», которых раньше не было слышно. На колонках с частотой среза 50 Гц такого эффекта не будет! К тому же акустика на 40 Гц может быть реализована в относительно небольших объемах ящиков (22-32 литра) – это еще не «монстры» на 30 Гц или 20 Гц...

В нашей задаче, если желаем получить АС с нижней частотой 40 Гц, кажется все ясно – нужен НЧ-динамик размером 8” и объем ящика около 22-32 литров (приблизительно). Это становится очевидным, если хотя бы раз послушать колонки типа «25АС» с басовиками 25ГД-26. Насчет низкой чувствительности у этих АС – нужно признать, что ЭТО проблема, и она будет исследована далее.

Мало того, транзисторный усилитель с небольшой мощностью (до 6-10 Вт на нагрузке 4 Ω) способен обеспечить относительно невысокое напряжение на выходе УМ. А мощность на нагрузке рассчитывается следующим образом :

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (2)$$

здесь : Р (Вт) – мощность на нагрузке, U (В) – напряжение на нагрузке, R (Ω) – сопротивление нагрузки.

Понятно, что если радиола «Кантата-205» обеспечивает номинальную мощность 6 Вт на нагрузке 4 Ω, то при подключении к выходу радиолы колонок с более высоким сопротивлением, например 8 Ω, мощность на колонках уменьшится вдвое! При этом регулятор громкости радиолы уже (почти) не сможет еще добавить громкость, т.к. мощность УМ ограничена!

Таким образом, для подобных усилителей нужно применять колонки не только с высокой чувствительностью, но также очень желательно, чтобы колонки имели бы низкое сопротивление (4 Ω) – *вот примерно такие должны быть исходные данные.*

2. ВЫБОР АКУСТИКИ И НИЗКОЧАСТОТНОГО ДИНАМИКА

Посмотрим, какие имеются самые распространенные НЧ-динамики отечественного производства размером 8” (Ø200 мм). Самые подходящие – это динамик 10ГД-30 (и его модификации : 10ГД-30А <очень редкий!>, 10ГД-30Е, 10ГД30Б, а по новому ГОСТу – 20ГДН-1-8) и 25ГД-26 (модификации : 25ГД-26Б, 35ГДН-1-4, 35ГДН-1-8).

Динамик типа 10ГД-30Е использовался в малогабаритных колонках «10МАС-1М», нижняя граница частотного диапазона колонок составляет 60 Гц, объем ящиков 18 литров (именно малым объемом ящика и можно объяснить низкий уровень басов у этих АС, хотя басовик 10ГД-30Е – с очень большим потенциалом). Передняя панель колонок закрыта так называемой радиотканью, дизайн в стиле «ретро».

Динамик типа 25ГД-26 применялся в многочисленных вариантах колонок типа «25АС» (по новому ГОСТу «S-50» или «S-50В»), нижняя граница – 40 Гц, объемы ящиков от 22 до 32 литров (в зависимости от модификации).

Одними из первых колонок этого типа были колонки «25АС-2», которыми комплектовался электрофон «Арктур-003», лицевая панель у них, как и у акустики «10МАС-1М», закрыта радиотканью, кроме этого, имеются кнопочные переключатели звукового давления среднечастотной головки.

В колонках «Электроника 25АС-126» динамики снаружи закрыты только декоративным обрамлением в виде декоративных накладок и металлических крупноячеистых сеток. С точки зрения качества звука это лучше, т.к. любая ткань впереди динамика, даже если это специальная ткань, ухудшает звук.

Колонки «Вега 25АС-109» имеют увеличенные объемы ящиков (32 литра), также отсутствует радиоткань. Выпускаются с сопротивлением 4 Ω («Вега 25АС-109-1») или 8 Ω («Вега 25АС-109-2»). Этот тип колонок более предпочтителен из семейства «25АС», т.к. имеет увеличенный объем и специальный резонатор (фазоинвертор). В результате – басы у этих АС получаются значительно «весомее».

Акустика «10МАС-1М», «25АС-2» и «Вега 25АС-109» полностью изготавливались на Бердском радиозаводе (БРЗ), г. Бердск, Новосибирская область. Системы «Электроника 25АС-126» изготавливались на ПО «Электрон», г. Казань, однако динамики были тоже БРЗ. Подробнее внешний вид и параметры этих колонок см. рис.3 и таблицу № 3.



Рис. 3. Внешний вид колонок (слева направо) : «10МАС-1М», «25АС-2», «Электроника 25АС-126» и «Вега 25АС-109».

Таблица № 3

Параметры колонок «10МАС-1М» и трех модификаций «25АС»

Марка колонок	«10МАС-1М»	«25АС-2»	«Электроника 25АС-126»	«Вега 25АС-109»
Номинальная мощность, Вт	10	25	25	25
Чувствительность, db	87	84	84	84
Частотный диапазон, Гц	60-18.000	40-18.000	40-18.000	40-25.000
Сопротивление, Ω	8	4	4	4 или 8
Габариты ящиков, мм	425x272x234	480x285x250	480x285x285	580x280x300
Объем ящиков, л	18	22	25	32
Тип оформления	Закрытый Ящик	Закрытый Ящик	Закрытый Ящик	Фазоинвертор

Первоначально может сложиться впечатление, что у головки 10ГД-30Е нет больших шансов – мощность вдвое меньше, басы в «10МАС-1М» – 60 Гц, и т.п. Но это большое заблуждение. Головка 10ГД-30Е одна из самых любимых у радиолюбителей (одна только резонансная частота ‘32 Гц’ – многое значит!) В журналах «Радио» и в Интернете можно найти огромное множество статей о самодельных АС на головках 10ГД-30Е, в которых нижняя граница колонок получалась на уровне 40 Гц. Я и сам (правда, давно) делал нечто подобное, и могу подтвердить, что басы в этом случае получаются очень приличные.

Отличительной особенностью головки 10ГД-30Е является ее относительно высокая чувствительность по сравнению с головкой 25ГД-26. Постараемся разобраться, почему же это так?.. Приведем параметры самих НЧ-головок, см. таблицу № 4.

Таблица № 4

Параметры низкочастотных динамиков типа 10ГД-30Е и 25ГД-26

Тип НЧ-динамика	10ГД-30 (10ГД-30А, 10ГД-30Е, 10ГД-30Б) (по новому ГОСТу 20ГДН-1)	25ГД-26 (25ГД-26Б) (по новому ГОСТу 35ГДН-1)
Номинальная мощность, Вт	10	25
Чувствительность, db	87	84
Частотный диапазон, Гц	60-5.000	40-5.000
Резонансная частота, Гц	$32 \pm 10^{*)}$	30 ± 8
Сопротивление, Ω	8	4 или 8
Суммарный осевой ход диффузора, мм	5	8

^{*)} – у динамиков 10ГД-30 и 10ГД-30А резонансная частота равна 28 ± 8 Гц.

Если посмотреть на внешний вид динамиков 10ГД-30Е и 25ГД-26, то разницу сможет увидеть только специалист (если не смотреть на штемпель). У них одинаковые корзины, одинаковые диффузоры и резиновые подвесы, одинаковые конструкции магнитных систем. Отличаются эти динамики только намоточными данными звуковых катушек!!!

Вот еще наблюдение... У 10ГД-30 чувствительность 87 db (против 84 db у 25ГД-26), т.е. больше на 3 db, что соответствует разнице по КПД в 2 раза! Но при этом номинальная мощность у 10ГД-30Е меньше почти в 2 раза, а точнее в 2,5 раза (10 Вт против 25 Вт).

Получается так, что у 10ГД-30Е мощность (примерно) в 2 раза меньше, но зато КПД больше вдвое!.. В итоге звуковые давления у динамиков типа 10ГД-30Е и 25ГД-26 получаются почти одинаковые. Очень любопытный факт!

В книге Э.Л. Виноградовой «Конструирование громкоговорителей со сглаженными частотными характеристиками» приводится формула расчета КПД громкоговорителя :

$$\eta = \left(\frac{\rho}{4\pi c} \right) x \left(\frac{B^2 l^2 S_D^2}{R_E M_{AS}^2} \right) x \left[\frac{1}{1 + Y_1 \left(\frac{f_s}{f} \right)^2 + Y_2 \left(\frac{f_s}{f} \right)^4 + Y_3 \left(\frac{f_s}{f} \right)^6 + Y_4 \left(\frac{f_s}{f} \right)^8} \right] \quad (3)$$

Эта формула достаточно интересная, и ее следует рассмотреть подробнее. Здесь КПД громкоговорителя представляет собой произведение трех сомножителей.

Первый сомножитель – это константа и включает в себя некие постоянные величины : ρ – плотность воздуха, c – скорость звука в воздухе и $\pi=3,14$ – число «Пи». На этот сомножитель не следует обращать внимание.

Второй сомножитель, по сути, определяет КПД динамика (или его чувствительность) и содержит следующие параметры : B – магнитная индукция в воздушном зазоре магнитной системы динамика, l – длина провода звуковой катушки в магнитном зазоре, R_E – сопротивление постоянному току динамика, M_{AS} – акустическая масса (речь идет об общей массе подвижной системы динамика), S_D – площадь диффузора динамика.

Наконец, третий сомножитель в квадратных скобках. Это некая функция, зависящая от текущего значения частоты f (Гц) и описывающая форму амплитудно-частотной характеристики громкоговорителя. Виноградова называет эту функцию «нормированной частотной характеристикой КПД». В эту функцию входят : текущее значение частоты f , резонансная частота динамика в свободном пространстве f_s , коэффициенты Y_1 , Y_2 , Y_3 и Y_4 . Эти четыре коэффициента зависят от ТС-параметров динамика и от параметров акустического оформления (объема ящика и от частоты настройки ФИ, если он имеется). Формулы для расчета коэффициентов здесь не приводятся, т.к. они громоздкие. Полную информацию по этой теме можно найти в книге Виноградовой. Именно выражение в квадратных скобках и определяет форму амплитудно-частотной характеристики громкоговорителя в области низких частот (т.е. будет АЧХ – «гладкая» или «негладкая», будут на АЧХ «горбы» или «провалы»). И, как следствие, эта функция определяет нижнюю границу частотного диапазона громкоговорителя.

Если вернуться к динамикам 10ГД-30Е и 25ГД-26, то, как уже было сказано, отличаются они только намоточными данными звуковых катушек. Как же данный факт можно связать с разницей в КПД или чувствительности? Дело в том, что у этих динамиков разные осевые смещения диффузоров X_{\max} , есть такой параметр. У динамика 10ГД-30Е $X_{\max}=5$ мм, у 25ГД-26 $X_{\max}=8$ мм (это позволяет перемотать динамик 10ГД-30Е на вариант 25ГД-26, как на сопротивление 4 Ω , так и на 8 Ω ; я этим часто пользовался в т.ч. в «опытах» с кевларом). Однако в формуле расчета КПД громкоговорителя параметра « X_{\max} » нет, но он входит в эту формулу опосредовано – в виде длины провода звуковой катушки в магнитном зазоре (l) и сопротивления постоянному току динамика (R_E).

Очевидно, что увеличение высоты намотки звуковой катушки НЧ-динамика (и, как следствие, его X_{\max}) приводит к существенному снижению чувствительности динамика (при прочих равных условиях). Однако на это идут ОСОЗНАННО (и в ущерб чувствительности!),

чтобы увеличить максимально возможное осевое смещение диффузора. В результате диффузор НЧ-динамика сможет «привести в движение» бо́льший объем воздуха.

В нашем же случае поставлена совершенно другая задача (противоположная задача) – **добиться увеличения чувствительности!** И если уменьшить X_{max} с 8 мм до 5 мм, то (при использовании динамика типа 25ГД-26) это даст прирост в чувствительности примерно +3 db. При этом «басов» останется вполне достаточно. Многочисленные варианты самодельных АС на динамиках 10ГД-30Е это только подтверждают.

В бывшем СССР была не совсем понятная «ценовая политика» на динамики (и акустические системы). Главным критерием в цене на динамик была его номинальная мощность. Так, цена примерно была равна номинальной мощности с коэффициентом от 1,0 до 1,5. Например, динамик 10ГД-30Е стоил 15 рублей (мощность 10 Вт – цена 15 рублей), а динамик 25ГД-26 стоил 30 рублей (мощность 25 Вт – 30 рублей). Хотя оба этих динамика отличались только намоточными данными звуковых катушек!..

Понятно, что радиозаводу было ОЧЕНЬ выгодно делать «мощные» динамики, точнее мотать им звуковые катушки толстым проводом. Мощность динамика (потребляемая мощность) становилась больше – цена выше! А то, что при этом КПД динамика уменьшался в 1,5...2 раза – это уже никого не интересовало...

Кстати, легендарный динамик Рижского радиозавода 6ГД-2 (10", Ø250 мм, звуковое давление при номинальной мощности, равной 6 Вт, составляло 100,5 db), который по качеству звука был «на голову» выше 25ГД-26, стоил всего 6 рублей (мощность 6 Вт – 6 рублей). Парадокс!..

В моих экспериментах по доработке динамиков 25ГД-26 (35ГДН-1), при которой бумажные диффузоры были заменены на диффузоры из тонкого кевлара, было отмечено увеличение чувствительности на +3 db за счет существенного снижения массы диффузоров. Так, «родные» прототипы 25ГД-26 имеют чувствительность 84 db, аналогичные на тонком кевларе – 87 db (для сравнения : масса «родного» бумажного диффузора у 25ГД-26 около 11 грамм, аналогичный диффузор из тонкого кевлара весит всего 4,5 грамма).

Динамики типа 10ГД-30Е я никогда на тонкий кевлар не переделывал (как-то даже в голову не приходило!!!) Но по аналогии – чувствительность тоже должна возрасти примерно на такую же величину (+3 db), т.е. поднимется с 87 db до 90 db. Кстати, совсем не обязательно применять диффузор из кевлара, он может быть и бумажным; главное, чтобы масса диффузора была бы в районе 4,5-5,0 грамм.

ИТАК, для транзисторного усилителя малой мощности (6 – 10 Вт), потребуется акустика, построенная на доработанном динамике типа 10ГД-30Е. Следует перемотать звуковую катушку на сопротивление 4 Ω и заменить «родной» диффузор на диффузор с уменьшенной массой (4,5 – 5,0 грамм). При отборе динамиков для доработки следует отдавать предпочтение динамикам с керновыми кобальтовыми магнитами и с мягкими резиновыми подвесами.

Расчеты показывают, что после указанных доработок динамик будет иметь сопротивление 4 Ω и чувствительность около 90 db. При подводимой мощности 6 Вт звуковое давление на расстоянии 1 метр будет составлять :

$$Np = S_L + 10 \lg(Pp) = 90 + 10 \lg(6) = 90 + 7,8 \approx 98(db)$$

Сравните со звуковым давлением 92 db у «Кантаты-205» со штатной акустикой «15АС-220»!

Для справки : разница по звуковому давлению 6 db соответствует разнице в звуковой мощности в 4 раза... **Что называется – почувствуйте разницу!** Можно уточнить, что +3 db «прироста» чувствительности дает уменьшение высоты намотки до 12 мм (по сравнению с 25ГД-26), и еще +3 db – дает снижение массы диффузора до 4,5-5,0 грамм.

Остается только с конструкцией ящика «разобраться», чтобы нижнюю границу диапазона получить в районе 40 Гц...

3. ДОРАБОТКА КОЛОНОК ТИПА «25АС» ИЛИ: «ЧТО ДЕЛАТЬ?»

Как именно следует доработать НЧ-динамик, я в общих чертах уже рассказал. Главное – это перемотать динамик 10ГД-30Е на сопротивление 4 Ω . В «родном» исполнении звуковая катушка этого динамика намотана проводом ПЭЛ \varnothing 0,20 мм, высота намотки около 12 мм. При перемотке на сопротивление 4 Ω следует применить провод \varnothing 0,25 мм, оставив высоту намотки прежней (лучше использовать провод типа ПЭВ, ПЭВ-2, ПЭТВ или ПЭТ-155). Если же использовать для модернизации динамик 25ГД-26, то следует уменьшить высоту намотки до 12 мм, и также намотать катушку проводом \varnothing 0,25 мм.

Второе важное обстоятельство – нужно уменьшить массу диффузора до 4,5-5,0 грамм. Очевидно, что диффузор из тонкого кевлара массой 4,5 грамма предпочтительней. Однако кевлар – это, конечно, проблема для радиолюбителя... Можно использовать и бумажный диффузор, только с уменьшенной массой, своего рода – вариант решения проблемы. Есть питерская фирма «Диффузор», которая поставляет запчасти к динамикам, в т.ч. и по почте. У них можно заказать нужный диффузор, а при поставке особо оговорить его массу. Также в Питере есть фирма «АИЕ», которая тоже поставляет бумажные диффузоры «под заказ».

Понятно, что сделать такую модернизацию динамика грамотно сможет только мастер, или радиолюбитель «с опытом». Новичку в этом случае следует искать специалиста по ремонту динамиков, и желательно хорошего. Без мастера здесь, по любому, не обойтись – нужен намоточный станок, нужны оправки разные, эмалированные провода желательно разных диаметров, ну и опыт, само собой.

Если «аппетиты» радиолюбителя (меломана) ограничиваются на уровне 50 Гц и небольшим звуковым давлением (92-93 db), то достаточно остановить свой выбор на промышленной системе «15АС-109». Но если амбиции серьезнее, то из вышеизложенного ясно, что для получения частоты среза около 40 Гц потребуется динамик размером 8” (10ГД-30Е) и объем ящика от 22 до 32 литров. Кстати, при увеличении объема ящика линейные размеры ящика увеличиваются незначительно, т.к. объем зависит от ‘размеров в кубе’.

Как вариант можно сделать самодельную АС, в этом случае можно гарантированно получить нужные характеристики! Только хлопотное это дело (делать «с нуля» ящики, декоративным шпоном отделывать, среднечастотные и высокочастотные динамики подбирать, и т.п.)

Целесообразно использовать готовые промышленные колонки типа «25АС» с дальнейшей их доработкой. Это, кстати, самый дешевый вариант! Так, например, на сайте <http://www.avito.ru> можно найти предложения о продаже акустических систем, в т.ч. и нужных из ряда : «25АС-2», «Электроника 25АС-126» или «Вега 25АС-109». Указанные колонки можно приобрести относительно дешево, от 1.000 рублей до 3.000 рублей. А если покупать сгоревшие, но не битые колонки (динамики все равно менять), то цена вообще может быть порядка 500 рублей.

В паспортах на все упомянутые колонки типа «25АС» («25АС-2», «Электроника 25АС-126» и «Вега 25АС-109») нижняя граница диапазона указана: 40 Гц. Но при этом ящики имеют различные объемы (22, 25 и 32 литра, кроме того, последние еще и с фазоинвертором).

Теоретически «частота среза» – это частота, на которой уровень звукового давления снижается на 3 db, т.е. это расчетная величина. Когда же в паспорте на колонки, особенно старого типа, указана нижняя граница, то это вовсе не означает, что данная частота определена по уровню -3db! Чаще всего данная граница определяется неравномерностью АЧХ, как правило, от 6 до 10 db (читай: на нижней частоте завал звукового давления будет от -6 db до -10 db, иногда и более – зависит от конкретного случая). Грамотно будет, если на нижней частоте указать в паспорте неравномерность АЧХ, но этого почти никогда не делают.

Из трех представленных здесь колонок типа «25АС» («25АС-2», «Электроника 25АС-126» и «Вега 25АС-109») лучшими возможностями обладают последние – «Вега

25АС-109», т.к. объем ящика самый большой (32 литра), да и фазоинвертор уже «вмонтирован» в переднюю панель – данные колонки обладают самыми «серьезными возможностями» по части басов, однако, они и самые крупногабаритные.

«Реликтовые» колонки от «Арктура-003», я имею в виду системы «25АС-2» – это скорее для коллекционеров, хотя еще и могут «дать жару».

Я бы остановил свой выбор на акустике «Электроника 25АС-126» – система закрытого типа, относительно компактная – с минимально возможным объемом, динамики не закрыты радиотканью, т.е. динамики визуально видны (и кевларовый басовик будет очень хорошо смотреться). Впрочем, для теоретического анализа задачи не имеет значения, какую именно АС выбрать за исходную. Поэтому для решения задачи и анализа результатов, выберем акустику «Электроника 25АС-126» с объемом ящика 25 литров.

Также для примера я взял среднестатистические ТС-параметры динамика типа 25ГД-26 (этим динамиком укомплектованы колонки типа «25АС»). Вот эти параметры : резонанс $f_s=29$ Гц, эквивалентный объем $V_{as}=50$ л, полная добротность $Q_t=0,40$.

При уменьшении массы подвижной системы чувствительность увеличивается (см. выше), но при этом резонансная частота динамика возрастает в соответствии с формулой :

$$f_s = \sqrt{\frac{G}{M_{AS}}} \quad (4)$$

здесь: f_s – резонансная частота динамика, G – суммарная жесткость подвеса и центрирующей шайбы (жесткость обратно противоположна гибкости подвеса), M_{AS} – общая масса подвижной системы, (все размерности в системе СИ).

Методом математического моделирования я рассчитал ТС-параметры, для случая модернизации динамика типа 10ГД-30Е (имеется в виду : уменьшение массы диффузора до 4,5 грамм, перемотка звуковой катушки на сопротивление 4 Ω , но при сохранении высоты намотки, соответствующей динамику 10ГД-30Е). У меня получились следующие параметры : резонансная частота динамика $f_s=35$ Гц, эквивалентный объем динамика $V_{as}=50$ л, полная добротность $Q_t=0,32$.

Теперь решим две задачи... Первая – это «Закрытый Ящик» от колонок «Электроника 25АС-126» со среднестатистическим НЧ-динамиком типа 25ГД-26. Вторая – это модернизированный динамик на базе 10ГД-30Е в том же ящике, но с фазоинвертором. Выяснилось, что если ФИ настроить на частоту $f_b=41$ Гц, то АЧХ громкоговорителя станет значительно благоприятнее, см. табл. № 5, № 6 и рис. 4. Расчет АЧХ осуществлен по методике, изложенной в книге Виноградовой.

Таблица № 5

Расчетные параметры динамиков для анализа акустического оформления

№	f_s (Гц)	V_{as} (л)	Q_t	V (л)	f_b (Гц)
1	29	50	0,4	25	0
2	35	50	0,32	25	41

№1 – среднестатистические параметры динамика типа 25ГД-26 с мягким подвесом, №2 – среднестатистические теоретические (расчетные) параметры динамика типа 10ГД-30Е с сопротивлением 4 Ω , с мягким подвесом и с уменьшенной массой диффузора до 4,5 грамм.

Таблица № 6

Расчетные АЧХ колонок «25АС-126» и модернизированной системы (неравномерность АЧХ указана в [db])

№	ЧАСТОТА (f, Гц)												
	20	25	30	35	40	45	50	60	80	100	120	150	200
1	-16,2	-12,5	-9,6	-7,3	-5,6	-4,2	-3,2	-1,9	-0,7	-0,4	-0,2	-0,1	0,0
2	-24,9	-17,8	-12,0	-7,3	-3,8	-1,7	-0,7	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1

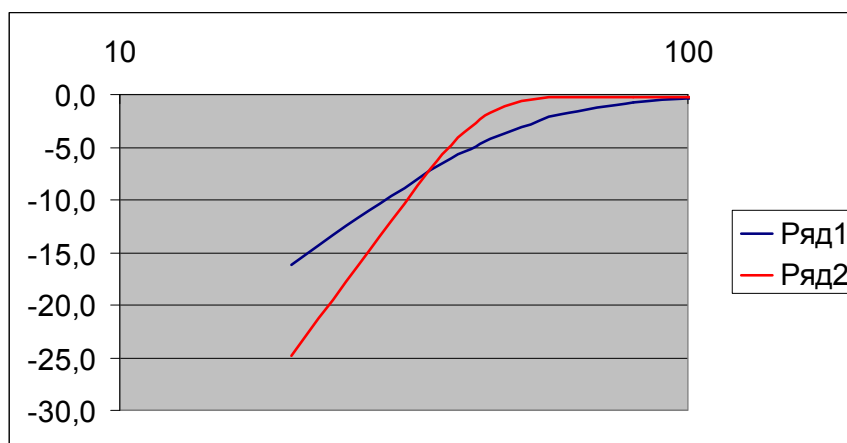


Рис. 4. Графики АЧХ колонок типа «Электроника 25АС-126» с типовыми динамиками 26ГД-26 (ряд 1) и та же АС с модернизированным динамиком типа 10ГД-30Е и с ФИ (ряд 2).

Из представленных расчетов видно, что промышленные колонки «Электроника 25АС-126» со среднестатистическим динамиком 25ГД-26 имеют частоту среза 51 Гц по уровню -3db (на указанной в паспорте на колонки нижней частоте диапазона 40 Гц завал АЧХ по расчету составляет около -6db). Тот же ящик, но с ФИ и с доработанным динамиком 10ГД-30Е, имеет частоту среза по уровню -3db около 41 Гц – выигрыш очевиден!..

Конструкция указанных колонок не позволяет установить фазоинвертор на лицевой панели, поэтому ФИ рекомендуется разместить в днище ящиков. Доработанные таким способом колонки невозможно устанавливать на полку или какое-либо другое основание, придется эти колонки вешать на стены, чтобы выход туннеля ФИ не упирался в препятствие, см. рис. 5.

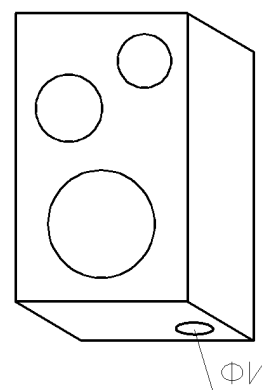


Рис. 5. Размещение ФИ в днище ящика.

При такой доработке низкочастотного звена НЕцелесообразно оставлять прежними СЧ- и ВЧ-динамики в указанных колонках. Эти динамики (15ГД-11А и 3ГД-31) не отличаются высоким качеством звучания, да и при использовании нового басовика (с сопротивлением 4 Ω и чувствительностью 90db) они просто не подойдут!

Исходя из параметров доработанного басовика, в новую АС можно рекомендовать в качестве СЧ-головки широкополосный динамик 4ГД-8Е, по новому ГОСТу 4ГДШ-1-4 (4 Ω и 93 db), а в качестве ВЧ-головки – 6ГД-13, по новому ГОСТу 6ГДВ-4-8 (8 Ω и 93 db). Во-первых, это хорошие динамики с качественным звуком. Во-вторых, они относительно дешевые. В-третьих, и главное, они идеально подходят по чувствительности! Наконец, в-четвертых, указанные динамики взаимозаменяемы по установочным размерам с прежними динамиками. Но, разделительные фильтры в АС придется переделать...

При желании можно подобрать и другие варианты по комплектации динамиков. Например, в качестве ВЧ-звена можно рекомендовать параллельное включение двух пищалок 2ГД-36 (в этом случае придется немного поработать напильником). Или можно поискать подходящие динамики среди новых моделей фирм АСА, НОЭМА и т.д. Но это уже «детали»...

Предложенное здесь решение может быть использовано не только с транзисторным усилителем мощности, но также и с ламповым УМ. Нужно будет только скорректировать частоту настройки ФИ. С ламповым УМ сопротивление колонок может быть как 4 Ω , так и 8 Ω .

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная здесь работа – чисто теоретическая. Дело в том, что для решения поставленной задачи использовались параметры не реального, а математически смоделированного динамика («гипотетического»). Т.е, если изначально известны ТС-параметры реального динамика, то можно пересчитать эти параметры на случай изменения в ту или иную сторону таких параметров, как масса подвижной системы, магнитную индукцию, намоточные данные и т.п. – и это будет достаточно верно! Кстати, точность методики подобных расчетов уже проверена мною на конкретных образцах.

Разумеется, возможны некоторые отклонения от расчетных характеристик, но это как неизбежная погрешность в любом проекте. Именно поэтому я не стал давать окончательные рекомендации по конструкции ящиков. Самое правильное – это изготовить экспериментальный НЧ-динамик, и уже после измерения его реальных ТС-параметров следует конструировать акустическое оформление. В случае использования готовых корпусов промышленных АС речь идет о доработке ящиков. Здесь, при заданном объеме ящика, в первую очередь нужно решить вопрос о грамотной настройке ФИ.

По этой же причине здесь не приведены схемы разделительных фильтров, это простая задача, которую сможет решить (почти) любой радиолюбитель, а мастер – тем более.

В статье показан путь, как можно увеличить чувствительность динамика (и как результат – звуковое давление). Доработанная таким способом система типа «25АС» может применяться в комплекте с маломощным усилителем (6-10 Вт). **Будет иметь место примерно 4х-кратное увеличение звуковой мощности (по сравнению с исходными колонками «15АС-220»), нижняя граница понизится до величины около 40 Гц.**

Как только у меня появится возможность реализовать подобный проект «в железе», я непременно такое сделаю и проинформирую об этом. Тем же радиолюбителям, кто, прочитав эту статью, захочет подобное осуществить раньше меня – могу только пожелать удачи! И если это возможно, отпишитесь потом, пожалуйста, в Интернете о полученных результатах.

В заключение еще пару слов...
Прошу не понимать меня «буквально». Я вовсе не призываю делать НЧ-динамики с уменьшенным осевым ходом! К решению проблемы (или задачи) нужно подходить творчески. В случае, когда УМ имеет мощность 20-30 Вт (или более), то при НЧ-динамике размером 8" надлежит «делать» осевой ход диффузора не менее $X_{\max}=8\text{мм}$. Разумеется, и в этом случае легкий диффузор приветствуется! В качестве примера можно привести мою самодельную АС на динамике 25ГД-26 на тонком кевларе (объем ящиков 42 литра, частота среза 32 Гц), см. рис. 6.

Рис. 6. Самодельная АС с динамиком 25ГД-26 на тонком кевларе.



Предложенное же в этой статье решение имеет смысл только при использовании УМ малой мощности (6-10 Вт)! Речь идет об уменьшении высоты намотки звуковой катушки и об уменьшении массы диффузора – как о реальных способах увеличения чувствительности громкоговорителя, разумеется, в разумных пределах. Но это вынужденная мера(!), когда усилитель «слабый». Другими словами, в статье предложен некий компромисс в конструкции низкочастотного динамика, на мой взгляд, удачный...

С. Зотов
2013 г.

zotoff@inbox.ru