

И.Г. Дрейзен

Курс электроакустики

Часть 2

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
И11

И11 **И.Г. Дрейзен**
Курс электроакустики: Часть 2 / И.Г. Дрейзен – М.: Книга по Требованию, 2014. – 289 с.

ISBN 978-5-458-34337-4

Излагаются вопросы субъективного восприятия звуков и их искажений, физические основы акустики, вопросы расчета, проектирования, эксплуатации радиостудий. Нет 8, 9 страниц.

ISBN 978-5-458-34337-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2014

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2014

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ГЛАВА I

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЗВУКОФИКАЦИИ

§ 1. Классификация систем и качественные требования

Наряду с задачей обеспечения высококачественного индивидуального приема перед радиовещанием стоит задача озвучения (звукофикации) массовой коллективной аудитории. Сама постановка проблемы коллективного радиослушания стала реально возможной на основе тех успехов, которых достигла современная электроакустика в области аппаратостроения. Мощные и сверхмощные громкоговорители предназначены для озвучения больших пространств (в сотни и тысячи квадратных метров) на уровне громкости, достаточном для перекрытия акустических шумов, существующих в местах коллективного слушания (площадь, улица, театр, зал). Определенная направленность излучения громкоговорителей, достигаемая при помощи рупора, позволяет получить сравнительную равномерность уровня громкости на всей озвучаемой территории. Несмотря на большую мощность громкоговорящих устройств, часто представляется необходимым озвучать большие залы и открытые пространства, особенно улицы, аллеи парков и т. п., не из „одной точки“, а при помощи системы территориально-распределенных громкоговорителей. Применение системы громкоговорителей требует решения ряда проблем и преодоления некоторых трудностей, что составляет одну из задач техники озвучения. В число задач звукофикации в широком смысле этого слова входит не только воспроизведение звукового материала радиовещания, но и широкое оповещение населения, служба времени, информации, а в производственных предприятиях также и диспетчерская служба. Рядом специфических особенностей отличаются установки, предназначенные не для воспроизведения принимаемой по эфиру или по проволоке передачи, а для усиления звукового материала на месте его исполнения. Сюда относятся усиление речи оратора, усиление музыкально-вокальных и литературно-драматических исполнений в театре и на открытом воздухе (в „открытом театре“). Внешней отличительной чертой установки для звукоусиления является сосредоточение всего тракта (микрофон—усилитель—громкоговоритель) в пределах пространства,

доступных одновременно зрительному и слуховому восприятиям. С указанной внешней особенностью связана другая существенная особенность, состоящая в обратной акустической связи между громкоговорителями и микрофоном, связи, являющейся причиной определенных искажений. Преодоление трудностей, вызываемых обратной акустической связью, требует от инженера акустика не только известных практических и расчетных навыков, но и понимания акустической природы явления.

В этом параграфе мы установим:

1) общие и основные задачи, стоящие перед всеми видами звукофикации,

2) классификацию выработанных практикой систем распределения источников звука,

3) качественные требования к звукофикационным установкам для наружного вещания.

Перечислим стоящие перед звукофикацией общие задачи. Необходимо:

1) обеспечить требуемые качественные показатели для передачи вещания (см. ч. I, гл. I);

2) создать, по возможности, равные условия слушания на всех местах, подлежащих озвучению, или, как мы будем говорить, равномерное звукопокрытие („sound coverage“), одинаковый уровень громкости и вместе с ним динамический диапазон и одинаковую частотную характеристику передачи;

3) устранить факторы, мешающие слушанию, — шум, эхо от отражения и от других источников звука;

4) сочетать рационально акустические и архитектурно-эстетические и эксплуатационные требования, понимая под последними удобство обслуживания, безаварийность, устойчивость против атмосферных влияний и т. п.

В различных условиях практики приходится по-разному подходить к выбору не только типов громкоговорящей и микрофонной аппаратуры, но и системы распределения и расположения этой аппаратуры на озвучаемом пространстве.

Если пытаться классифицировать существующие системы звукофикации по признаку распределения источников звука, то можно указать три основных типа систем:

1) централизованная система для озвучения всей заданной территории из „одной точки“. В этой точке сосредоточивается вся звуковая мощность, излучаемая отсюда на звукофицируемую площадь. При этом безразлично, сосредоточена ли вся мощность в одном или в нескольких громкоговорителях, образующих „пучок“. Система применяется для озвучения как открытых площадей, так и зал;

2) распределенная система для озвучения заданной площади, состоящая из нескольких, известным образом распределенных источников звука. При этой системе вся территория, подлежащая озвучению, делится на зоны (в геометрическом смысле), каждая из которых обслуживается, по преимуществу,

одним громкоговорителем. Вся звуковая мощность, следовательно, распределяется между несколькими (хотя бы даже двумя) распределенными по территории источниками звука. Система применяется для озвучения, главным образом, улиц и реж зал;

3) система, которая является частным случаем распределенной системы и может быть названа общезональной. При этой системе все излучатели или их группы (пучки) обслуживают одну общую зону, так что зоны действия излучателей перекрываются. Система отличается, следовательно, от централизованной тем, что источники звука пространственно разделены, а от распределенной тем, что все они озвучают одну общую площадь. Система применяется для озвучения зал и особенно открытых театров;

4) системы комбинированные, включающие частично централизованные, частично распределенные источники. Рационально, чтобы вся такая сеть не действовала одновременно, а работали или централизованные источники (из одной высокой точки), или распределенные местные источники. Два элемента комбинированной системы выполняют по большей части различные функции, например, центральные сверхмощные громкоговорители служат для службы оповещения, распределенные менее мощные — для вещания.

По своему роду и характеру передачи на открытом воздухе можно разделить на три основных вида:

1) речевые передачи, имеющие целью широкое оповещение населения на территории улиц и площадей, а также передачу докладов и провозглашение лозунгов во время массовых шествий,

2) музыкальные передачи на площадях и улицах, идущие в дни народных празднеств, шествий и демонстраций,

3) музыкально-драматические передачи и звукоусиление в открытых театрах.

Качественные требования, предъявляемые к той или другой передаче, определяются условиями, в которых происходит слушание.

Уровень шумов на оживленной улице большого города (ч. I, стр. 288) равен $65 \div 75$ дб¹⁾. Во время большой демонстрации уровень громкости при игре местного оркестра, выступлении хоров, песнях и т. п. может подняться до 95 дб. Обращаясь к кривым, дающим зависимость артикуляции от уровня шумов (ч. I, стр. 36), можно видеть, что если подать средний уровень речевой передачи 95 дб на фоне такого же шума, то

¹⁾ На международной акустической конференции в Париже принято для децилогарифмической единицы, выражающей уровень громкости, название «фон». Название «децибел» сохранено только для уровней интенсивности (уровней силы звука). Мы придерживаемся во II части, как и в I части, обозначений уровня громкости в децибелах. Так как в наших дальнейших расчетах задаются высокие уровни интенсивности (порядка 80 дб и выше), то мы позволили себе во многих случаях отождествить уровни интенсивности с уровнями громкости.

а напротив предполагает, что для массовых передач музыкально-драматических произведений, выслушиваемых под открытым небом, должны быть оборудованы стационарные аудиторны площадки и открытые театры с высоким качеством приема и звукоусиления.

На основании изложенного наружная (уличная) звукофикация (кроме стационарных театров, аудиторий и площадок для коллективного слушания) должна отвечать следующим требованиям:

- 1) Пиковый уровень музыкально-речевой передачи (пиковый уровень номинальной громкости) 85 дб
- 2) Средний — по индикатору средних значений — уровень передачи (средний уровень номинальной громкости) 75 дб
- 3) Минимальный — по индикатору минимальных значений — уровень передачи (минимальный уровень номинальной громкости) . . . 65 ÷ 70 дб
- 4) Динамический диапазон передачи 15 ÷ 20 дб
- 5) Допуск на неравномерность уровня громкости на озвучаемой территории 6 ÷ 10 дб
- 6) Артикуляция не менее 60%
- 7) Диапазон воспроизводимых частот . . . 150 ÷ 4500 гц (для речи).
100 ÷ 5000 гц (для музыки¹⁾)
- 8) Нелинейные искажения — в соответствии с общепринятыми установками (ч. I, гл. I).

Условия воспроизведения и звукоусиления в открытом театре благоприятствуют получению высокого качества передачи. В отличие от зала, в открытом театре легко применить достаточно высокую подвеску громкоговорителей и лестничное расположение мест (постепенное повышение рядов), чем предупреждаются потери вдоль абсорбента (публики) и связанные с этим частотные искажения. Уровни шума в открытом театре значительно меньше и приближаются к уровню шума в концертном зале, благодаря чему динамический диапазон передачи может быть расширен. В связи с сравнительно небольшим протяжением зрительной площадки отпадают в значительной степени опасения, вызываемые потерями энергии в воздухе и происходящими по этой причине частотными искажениями.

Самая идея и форма открытого театра (прямоугольная или амфитеатр), акцентирующая сцену, как центральное место всей площадки, позволяет компактно расположить у сцены одну или несколько групп (пучков) мощных громкоговорителей. Такая компактность в расположении громкоговорителей улучшает условия в отношении помех типа эхо от повторений звука.

Устройство многоканальной системы с числом каналов не меньше трех, дающее лучший результат в условиях открытого

¹⁾ Если музыкальное наружное вещание рассматривать как побочную функцию системы, то можно принять диапазон 150 ÷ 4500 гц для всей наружной системы.

театра, воссоздает звуковую перспективу, теряемую при наличии одного канала, и лишено почти в полной мере упомянутых выше помех.

Сосредоточение всей звукоусилительной базы в одном месте, что имеет место в открытом театре, избавляет от линейных помех и потерь и позволяет получить лучший качественный эффект при большом запасе установленной мощности.

По той же причине сосредоточенности и самостоятельности всего звукоусилительного хозяйства в открытом театре могут быть успешно применены всякого рода искусственные приемы регулирования акустики: искусственная реверберация, шумовые эффекты, ширящийся и возходящий звук и т. п.

Все перечисленные особенности воспроизведения и усиления в условиях открытого театра дают основания для предъявления к этим установкам более жестких качественных требований.

Формулируем качественные требования к открытому театру:

1) диапазон частот $50 \div 10\,000$ гц (для больших театров допускаема верхняя граница 8000 гц),

2) динамический диапазон $50 \div 55$ дб,

3) минимальный уровень на 10 дб выше уровня шума (порядок последнего около 40 дб),

4) пиковый уровень громкости музыкальной передачи (номинальный) не ниже 105 дб, для речи порядка 85 дб,

5) допуск на неравномерность громкости в театре не должен превышать 5 дб, так что на местах с максимальной громкостью уровень не должен быть больше 110 дб,

6) нелинейные искажения—в соответствии с общепринятыми нормами,

7) должна быть осуществлена многоканальная (по крайней мере двух, а лучше трехканальная) передача, местное микширование и, по возможности, искусственная реверберация.

Приведенные показатели следует считать ориентировочными. Разумеется, что их вариация в тех или других пределах зависит от местных условий, аппаратуры, преимущественно ожидаемого вида передач, вместимости театра и от особых акустических заданий, предъявляемых к театру.

Задание определенных качественных требований в соединении с знанием характеристик аппаратуры и методом ее использования служит достаточной предпосылкой к выбору аппаратуры проектировщиком. В самом же выборе может и должна быть проявлена известная инициатива и ориентировка в заданных проектных условиях.

§ 2. Обзор основных типов громкоговорителей

Основными движущими моментами в развитии электроакустической аппаратуры были и остаются:

1) расширение полосы частот, воспроизводимых аппаратом,

2) получение в необходимой степени направленной и частотно-независимой полярной диаграммы,

3) получение возможно большего кпд и отдачи по звуковому давлению. Само собой разумеется, что другие, не менее важные требования, как минимальность нелинейных искажений, запас мощности в громкоговорителях, малые габариты не могли быть принесены в жертву трем вышеперечисленным целям.

Задача неискаженного воспроизведения полосы от 50 до $(10 \div 12) \cdot 10^3$ гц с помощью одного элемента — конусного (диффузорного) или рупорного динамического громкоговорителя с узким горлом, несмотря на целый ряд усовершенствований, пока не нашла разрешения.

Лучшие конусные динамики с гофрированной литой диафрагмой и магнитной системой из высококачественных сталей дают полосу не шире $70 \div 6000$ гц при неравномерности частотной характеристики отдачи в 6 дб и при очень незначительном кпд порядка 2%.

Еще хуже показатели качества звука рупорного узкогорлового элемента. Несмотря на успехи, достигнутые в магнитостроении (индукция в зазоре 22 000 гс и больше), в технологии изготовления звуковых катушек и мембран (алюминиевая

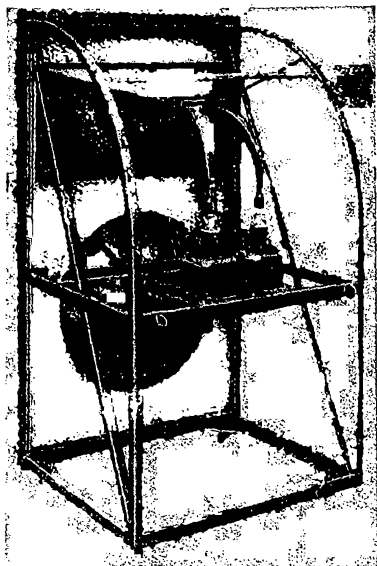


Рис. 1.1. Агрегат 2-полосный фирмы Телефункей (1935 — 36 г.)

небольшую часть общей массы подвижной системы;

3) для передачи рупорным элементом верхних частот все требования прямо противоположны, т. е. нужна малая диафрагма, узкое горло, малая камера, очень сильное магнитное поле в зазоре и звуковая катушка, обладающая по весу в общей подвижной массе громкоговорителя.

Всякая одноэлементная, всечастотная рупорная система, следовательно, представляет собой компромиссное решение, в котором обычно с малым успехом примиряются вышеперечисленные требования. Так например, для пропускания больших амплитуд в области нижних частот габариты камеры приходится брать большими, чем это желательно с точки зрения верхнего диапазона. Предоставление одного общего горла для нижних и верхних частот приводит при прохождении последних к недопустимым нелинейным искажениям и т. д.

катушка и бумажная литая бакелизованная диафрагма) и применение усовершенствованного экспоненциального рупора достичь высокой отдачи при широкой полосе воспроизводимых частот не представилось возможным. В стремлении конструировать узкогорлые рупорные динамики на большую мощность с охватом нижнего диапазона частот (с низкой граничной частотой) встретились не только с вопросом больших габаритов, но и с большими нелинейными искажениями за счет перенапряженного режима звукового давления в горловой части рупора.

Франк Масса на основании сделанного им анализа вопроса о возможности извлечь из одного рупорного элемента наибольшую полосу при сохранении мощности и качественных показателей пришел к следующим выводам:

1) для передачи рупорным элементом нижних частот требования существенно отличаются от тех, которые предъявляются к верхнечастотному рупорному элементу;

2) для передачи нижних частот требуется относительно большая диафрагма, большое горло рупора, сравнительно большая предрупорная камера (рассчитанная на большие амплитуды) и опраивленная индукция в зазоре; вес звуковой катушки может составлять

Вместе с успешным развитием конусного механизма, позволяющего расширить полосу до $6 \div 7$ кГц, указанные трудности стимулировали переход к широкополосным рупорным системам.

Получается аппарат, выгодно отличающийся от конусного динамика высоким КПД (до нескольких десятков процентов), лучшей частотной характеристикой за счет большого полезного затухания диафрагмы, и довольно благоприятной полярной диаграммой.

Решительный шаг в сторону расширения полосы мощных громкоговорителей был сделан разработкой и освоением широкополосных или лучше сказать многополосных агрегатов. Многополосный агрегат представляет собой комбинацию нижнечастотного элемента, воспроизводящего нижнюю полосу частот — раньше до 600, теперь обычно до 300 Гц и высокочастотного элемента (или элементов), на долю которого приходится верхний диапазон от 300 Гц до 10 и даже 12 кГц. Разделение частот по каналам производится с помощью разделительного фильтра¹⁾. Первоначально нижнечастотные элементы выполнялись с помощью обычных одного или больше конусных динамиков, заделанных в переднюю стенку оформительного ящика агрегата; в качестве высокочастотных элементов брались узкогорлые рупорные динамики с рупором сплошного неэкранированного сечения. Примером тому могут служить две приводимые здесь конструкции. На рис. 1.1 показан двухполосный агрегат, на рис. 1.2 трехполосный (I полоса до 300 Гц, II — 300 ÷ 3000 Гц и III — выше 3000 Гц).

Вскоре, однако, стало несомненным, что и нижнечастотный и высокочастотные элементы должны быть переработаны, главным образом, с целью улучшения поля направленности того и другого элементов. В агрегатах большой мощности нижнечастотный элемент стал выполняться с помощью широкогорлых рупорных конструкций (США). С целью излучения самых нижних частот (от 50 Гц) даже и при широком горле длина рупора берется значительной. Остроумное решение проблемы габаритов заключается в устройстве змеевикового рупора или лабиринта, образованного системой перегородок и имеющего экспоненциально (или почти экспоненциально) расширяющееся сечение.

Лабиринт в чистом виде, как он описан Олнеем, представляет собой длинный, прямоугольного постоянного сечения змеевик, выложенный по всей длине абсорбентом.

К входу лабиринта примыкает задняя сторона конусной диафрагмы или двух диафрагм. Рис. 1.3 изображает внутреннюю часть ящика лабиринта с снятой задней стенкой. Входные каналы, примыкающие к диафрагмам, видны наверху. Звук с тыльной части диафрагмы последовательно обтекает горизонтальные ходы и уходит в дно (вниз ящика). Назначение всей системы со-

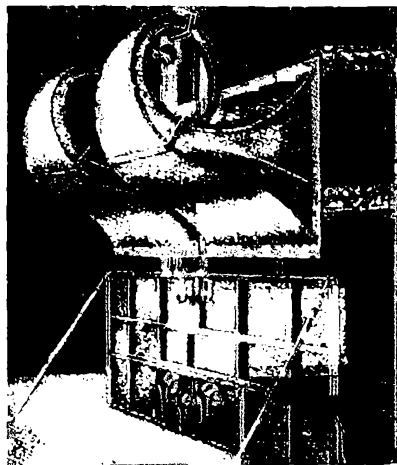


Рис. 1.2. Агрегат 3-полосный США (1935 г.).

¹⁾ Кроме разделительного фильтра, распределяющего нижнюю и верхнюю части спектра между двумя элементами, электрическая схема содержит также уравнительное устройство в одном из каналов для выравнивания уровней и корректирующее устройство для регулирования частотной характеристики. Наличие разделительного фильтра связано с поворотом фаз, различным при разных частотах, и с некоторыми особенностями прохождения переходных режимов. Следует стремиться к тому, чтобы в области, близкой к граничной частоте, питание звуковых катушек происходило по возможности синфазно.

стоит в том, чтобы устранить резонанс ящика, выявляемый вследствие обратного излучения диафрагмы.



Рис. 1.3. Лабиринтное оформление для громкоговорителя.

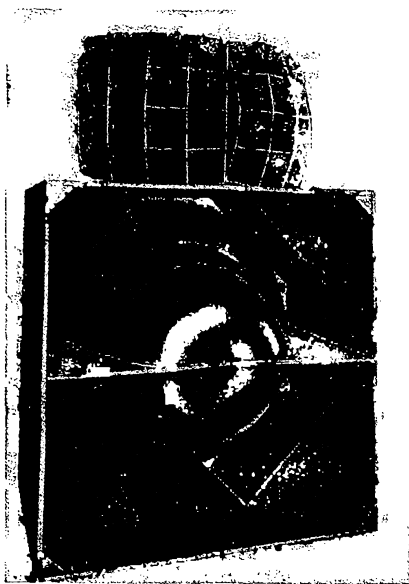


Рис. 1.4. Конструкция громкоговорителя с рупором-змеёвиком.

Представленное на рис. 1.4 устройство с круглым змеевиком-рупором, видимым внутри ящика, имеет некоторый исторический интерес: с ним в апреле 1933 г. была осуществлена первые стереофоническая передача музыки по трем каналам из Филадельфии в Вашингтон (США).

Две конструкции говорителей с лабиринтными нижнечастотными рупорами показаны на рис. 1.4 и 1.5.

Рис. 1.6 изображает пример разреза лабиринта. В аппаратах рис. 1.4 и 1.5 верхнечастотная часть осуществляется посредством одного или двух, работающих в один рупор (рис. 1.7), узкогорлых механизмов (головок); в этой конструкции применен многоканальный рупор. Такой тип рупора применяется для получения широкой и в известной степени частотно-независимой полярной диаграммы (ч. I, стр. 126). Хотя габариты такого агрегата получаются внушительными, однако, высокие качественные показатели, большая эффективность (кпд порядка 20%) и изящное



Рис. 1.5. Внешний вид агрегата „дифоник“.

внешнее оформление обуславливают его широкое применение при озвучении зал и кинотеатров.

Агрегат, показанный на рис. 1.8, выпускается у нас в СССР заводом Ленкинап в Ленинграде. Нижнечастотная часть агрегата пропускает полосу частот $65 \div 250$ гц; два широкогорлых громкоговорителя с конусными механизмами (ГДВ-1) видны сверху агрегата. Она должны пропускать полосу $200 \div 10\,000$ гц. Агрегат рассчитан на обслуживание кинозала до 4000 мест. Мощность его 50 вт, кпд порядка 25%.

Дальнейшим развитием идеи агрегата в сторону его упрощения и улучшения является использование обеих сторон диафрагмы громкоговорителя. Одна сторона работает на нижнечастотный рупор лабиринтного типа, другая — через предрупорную камеру на один или два верхнечастотных рупора.

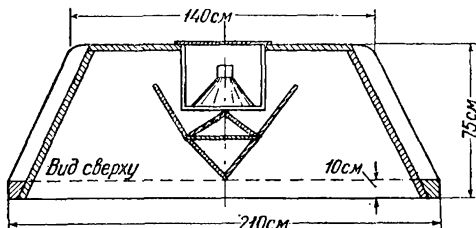


Рис. 1.6. Разрез лабиринтного рупора.

Рис. 1.9 изображает разрез одной из описываемых компаундных систем. Система является образцом максимального использования внутреннего объема для создания двух необходимых звукопроводов. Один из них представляет обычный экспоненциальный узкогорлый рупор квадратного сечения, нагружаю-

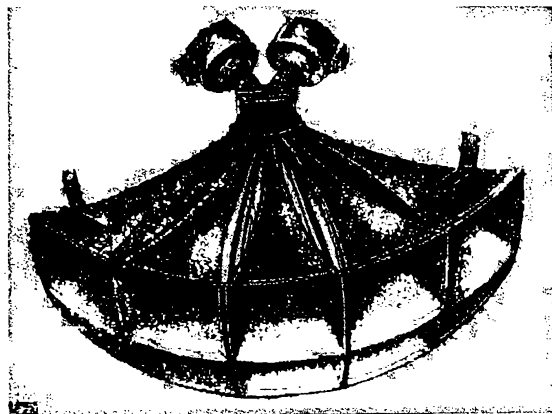


Рис. 1.7. Многоканальный рупор с двумя механизмами.

щий одну сторону диафрагмы. Его устье находится в центре передней панели. Другой нижнечастотный звукопровод выполнен в виде лабиринта и имеет более значительную площадь горла. Таким образом, задача разгрузки нижнечастотного горла от верхних частот находит в этой конструкции довольно удачное решение.

Однако, система, показанная на рис. 1.9, имеет и недостатки. Во-первых, соотношение уровней передачи через один и другой канал раз навсегда фиксировано самой конструкцией и габаритами каналов, нагружающих обе стороны диафрагмы. Здесь отпадает вопрос об электрическом регулировании отдачи или частотной коррекции каждого из каналов в отдельности, так как система

является всечастотной. Во-вторых, предусматривая большие амплитуды на нижних частотах, необходимо предусмотреть для камеры на верхнечастотной стороне диафрагмы большие габариты, чем это требовалось бы для воспроизведения одних верхних частот.

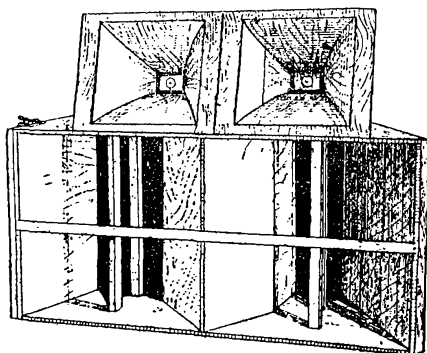


Рис. 1.8. Общий внешний эскизный вид 50 вт агрегата Ленкииап.

цилиндрическом кожухе). Нижнечастотная на лабиринтный рупор. Верхнечастотная на небольших экзотических рупоров, помещенных в центральной части ящичного оформления. Осн этих рупоров находятся под некоторым углом друг к другу для расширения поля. В этой конструкции удалось достичь высоких магнитных индукций в воздушных зазорах; в нижнечастотном элементе 14 000 гс, в верхнечастотном — 18 000 гс¹⁾.

(Работа по улучшению и облегчению компаунда обещает дать звукофикации и особенно кинофикации, которая в основном стимулирует развитие таких систем, весьма интересные конструктивные решения. Образцом последних может служить описанная только что система, но в другом, более изящном и совершенном оформлении (рис. 1.12). В центральной фронтальной части видны верхнечастотные рупоры. Размеры аппарата около 1,5 м в диаметре и всего 60 см в глубину.

Этот дефект взаимозависимости двух акустических цепей устраняется в более сложной, но и более совершенной компаундной конструкции, разрез которой изображен на рис. 1.10. Характерной особенностью здесь является наличие двух отдельных подвижных систем, связанных с одной общей магнитной цепью (катушки возбуждения показаны на рисунке двумя пересекающимися линиями).

Движущий механизм (головка) показан отдельно на рис. 1.11. Он имеет одну обычную бумажную конусную диафрагму и другую верхнечастотную, помещенную в другой зазор той же магнитной системы (она видна на рисунке правее электромагнита в закрытом конусная диафрагма нагружается диафрагма излучает в горла двух

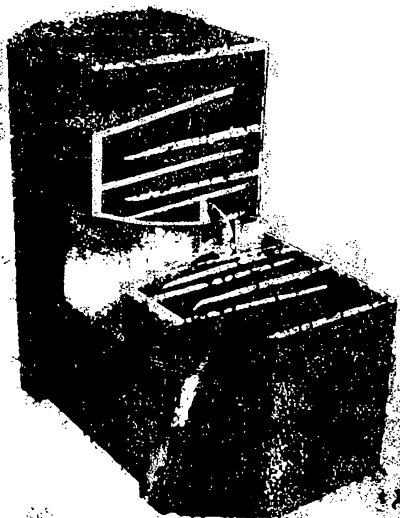


Рис. 1.9. Разрез компаундной громкоговорящей системы.

1) Небезинтересны некоторые конструктивные детали: медная звуковая катушка в зазоре нижнечастотного элемента весит 8 г; верхнечастотная алюминиевая катушка имеет массу 1 г. При всей своей сложности магнитная цепь имеет утечку 45% по отношению к потоку в нижнечастотном зазоре.